

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**



Titulo

**Evaluación de un equipo de laboreo variable con cincel vibratorio,  
para la reducción de consumo de energía**

Por:

**CÉSAR ALVARADO PLASCENCIA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Título

**Evaluación de un equipo de laboreo variable con cincel vibratorio,  
para la reducción de consumo de energía**

Por:

**CÉSAR ALVARADO PLASCENCIA**

Tesis

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

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Santos G. Campos Magaña  
Asesor principal

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Héctor Uriel Serna Fernández  
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Rosendo González Garza  
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Samaniego Moreno  
Coordinador de la División de Ingeniería



Coordinación de  
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2016

## **Agradecimientos**

**A Dios** por darme la vida y confianza de que aun estando en los peores momentos nunca dejaste de estar a mi lado, por guiarme en el buen camino, por mandarme a una familia maravillosa, por tomar las mejores decisiones y bendiciones recibidas.

**A MI ALMA TERRA MATER Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**-por darme la oportunidad de cumplir mis sueños y metas, por darme una nueva familia como institución lo que considero un privilegio y me siento orgulloso, por brindarme sus instalaciones y recursos en cuanto al desarrollo personal y profesional.

**A LA FAMILIA ALVARADO PLASCENCIA** por brindarme su apoyo, consejos y confianza que no ser por ellos no tuviera mis sueños hechos realidad.

**A TODO EL PERSONAL ACADEMICO** por el tiempo que me apoyaron en cuanto fuese necesario.

**A MIS MAESTROS** por transmitir sus conocimientos y darme su confianza.

MC. Juan Antonio Guerrero Hernández.

ING. Rosendo Gonzalez Garza

DR. Martín Cadena Zapata.

M.C. Genaro Demuner Molina

M.C. Blanca Elizabeth De La Peña Casas.

M.C. Tomas Gaytán Muñiz

M.C. Gerardo Sánchez Martínez

A mi camarada Amaury Arreola Cruz que a pesar de todos los obstáculos de la vida y preparación académica siempre me acompaño, junto con mis demás compañeros de clase, menciono también de mi compa Johnny que me apoyo en cuanto a mi trabajo.

A los Ing. Gilbert Fresh López López y Diego Cruz Hernández por su apoyo y disposición de enseñarme cuanto más fuese necesario

**AL M.C. HÉCTOR URIEL SERNA FERNÁNDEZ**- por ser un excelente profesor y persona, por su confianza, amabilidad y paciencia por el apoyo en todo momento, por su amistad y por sus buenos consejos que ahora he tomado decisiones correctas en el transcurso de mi formación académica y de mi vida personal. GRACIAS!!!

Y menciono.

**AL DR. SANTOS GABRIEL CAMPOS MAGAÑA-** por ser un excelente profesor y asesor, por aceptarme en su grupo de tesis y brindarme su confianza, por su paciencia y tiempo dedicado en transmitirme sus conocimientos, que ahora con su experiencia he aprendido a manejar nuevas herramientas que han sido parte fundamental y me seguirán siendo útiles en el proceso de mi vida profesional.

***El éxito es aprender a ir de fracaso en fracaso sin desesperarse.***

***Winston Churchill (1874-1965)***

## **Dedicatoria**

### **A MIS PADRES**

**Javier Alvarado Silvestre**

**Alfonsina Plascencia Silvestre**

Este trabajo se los quiero dedicar a ustedes mis jefecitos que siempre estuvieron conmigo en todo momento, gracias por esas palabras de aliento que me fortalecieron poco a poco, por tus sabios consejos mami espero llenarlos de orgullo, por haberme dado la vida, gracias por darme la oportunidad de terminar y seguir en mis estudios cuando pensaba ya no haber cumplido mis sueños recuerden que los quiero y los amare siempre. Me siento tan feliz de ser su hijo y que ustedes sean mis padres.

### **A MI HIJA**

**Keyli Alvarado Amacende**

Por darme la fuerza, suspiro y aliento de ser ese motor que me impulsa a continuar a donde no hay barreras ni limites gracias por la motivación y amor de poder cumplir esta meta, a ti hija que llegaste a mi vida, gracias por ocupar ese espacio dentro de mí que guardaba para ti y que ahora lo has llenado de felicidad. Te Amo hija, siempre luchare por ti. Y recuerda que siempre te llevare en mi corazón.

### **A MIS HERMANOS Y HERMANAS**

**Marco Antonio Alvarado Plascencia**

**Francisco Javier Alvarado Plascencia**

**Juan Carlos Alvarado Plascencia**

**Luis Enrique Alvarado Plascencia**

**Mauricio Alvarado Plascencia**

**Lisbeth Alvarado Plascencia**

**Rocío Isabel Alvarado Plascencia**

Gracias por demostrarme su apoyo de manera incondicional en todos los aspectos en las buenas y malas por aguantarme como el hermano regañón, por sus consejos y por su amistad. Mis mejores deseos para ustedes los quiero y que Dios los bendiga estén donde estén.

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	4
1.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 Hipótesis .....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1 Labranza .....	5
2.1.1 Labranza primaria.....	6
2.1.2 Labranza secundaria .....	6
2.1.3 Sistema de labranza .....	7
2.1.4 Labranza vertical .....	8
2.1.5 Uso de implementos para labranza vertical.....	9
2.1.6 Ventajas de labranza vertical.....	10
2.1.7 Cinceles, su modo de acción y formas .....	11
2.1.8 El subsolado .....	12
2.1.9 Labranza vibratoria inducida.....	12
2.2 Mecanismo de retorno rápido .....	15
2.3 Lastrado del tractor .....	16
2.3.1 Lastrado con contrapesos .....	16

2.3.2	Lastrado con agua.....	16
2.3.3	Resistencia por rodadura .....	17
2.3.4	Patinaje .....	18
2.3.5	Resistencia a la penetración .....	20
2.4	Consumo de combustible en la agricultura .....	22
2.4.1	Medición de consumo de combustible.....	22
2.5	Diseño y evaluación de herramientas de labranza.....	23
2.5.1	Transductores de fuerza.....	23
2.5.2	Sensor de anillo extendido .....	25
2.5.3	Galgas extensométricas .....	25
2.5.4	Puente de Wheatstone .....	28
2.6	Sistema de adquisición de datos .....	29
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
3.1	Fase I: Laboratorio .....	30
3.1.1	Calibración TOE .....	30
3.1.2	Proceso de calibración al transductor octagonal .....	31
3.1.3	Posiciones de calibración.....	32
3.1.4	Acondicionamiento del equipo de adquisición .....	32
3.1.5	Adquisición de datos .....	33
3.1.6	Calibración del torquímetro .....	33
3.1.7	Análisis de datos .....	34
3.1.8	Medidor de velocidad angular.....	35
3.1.9	Medidor de flujo de combustible .....	36
3.1.10.	Calibración del sensor de combustible .....	36
3.2	Fase de campo .....	37

3.2.1 Evaluación de los sensores.....	37
3.2.2 Sensor encoder .....	38
3.2.3 Chasis de patinaje .....	38
3.2.4 Rediseño de bastidor en la rueda de patinaje .....	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1 Calibración del octagonal.....	40
4.1.1 Calibración del octagonal extendido para la fuerza horizontal .....	40
4.1.2 Calibración del octagonal extendido para la fuerza vertical.....	42
4.1.3 Calibración de torquímetro .....	44
4.1.4 Calibración del sensor de velocidad .....	46
4.2 Pruebas de campo .....	48
4.2.1 Constante para la determinación de potencia .....	48
4.2.2 Frecuencia determinada por la válvula reguladora de flujo .....	49
4.3 Resultados de las fuerzas aplicadas con la frecuencia de (4 Hz) separando los datos positivos de los negativos que demandan.....	49
4.3.1 Análisis para el arreglo (A50VSA) con una frecuencia de 4 Hz.....	51
4.3.2 Análisis para el arreglo de (A40VSA) con una frecuencia de 4 Hz..	54
4.3.3 Fuerzas finales para cada arreglo y potencia del torque .....	55
4.3.4 Resultados de los análisis para la potencia de cada arreglo.....	56
4.4 Análisis para la amplitud (40 y 50) mm con aletas y sin aletas 2 repeticiones por arreglo con una frecuencia de 8.75 Hz .....	58
4.4 Consumo de combustible para los arreglos de frecuencia (4 Hz) .....	63
4.5 Consumo de combustible para los arreglos de frecuencia (8.75 Hz) .....	67
V. CONCLUSIONES.....	69
5.1. Conclusiones .....	69

5.2. Recomendaciones .....	69
VI. LITERATURA CITADA .....	70
ANEXOS.....	74
A. Procedimiento para la calibración de TOE para Fx y Fy, también el torquimetro 74	
B. Hoja de datos del microcontrolador HEF401068P .....	75
C. Hoja de datos de un sensor magnético tipo Hall DN6851 .....	77
D. Circuito del sensor modificado .....	79
E. Pantalla medidora del consumo de combustible .....	79
F. Explicación para convertir los datos ya obtenidos y convertidos por medio del Logbook/360 a señal digital representados en grafica posición cero .....	80
G. Obtención de las constantes de calibración para el consumo de combustible y el % de patinaje. ....	81
H. Procedimiento para el análisis espectral y su logaritmo.....	84
I. Graficas de fuerzas verticales, horizontales y potencia en el torque .....	85
J. Presentación del equipo de trabajo .....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Labranza vertical. ....	8
Figura 2.2 Grafica de retorno rápido con la excentricidad 40-30mm (GeoGebra, 2016). ....	15
Figura 2.3 Tipos de lastras con contrapesos (Arnal y Laguna, 2015). ....	16
Figura 2.4 Lastrado con agua en los neumáticos (Arnal y Laguna, 2005). ....	17
Figura 2.5 Resistencia a la rodadura. ....	18
Figura 2.6 Patinaje en los tractores.....	18
Figura 2.7 Consumo de combustible l Ha <sup>-1</sup> . ....	22
Figura 2.8 Transductores tipo anillo: (a) liso extendido;(b) anillo octagonal extendido “EOR” (Chen <i>et al.</i> , 2005). ....	25
Figura 2.9 Galgas extensométricas para una y múltiples direcciones. ....	26
Figura 2.10 Puente de Wheatstone (Godwin, 1993) ....	28
Figura 2.11 Amplificador DBK43A y el convertidor analógico-digital LogBook/360.....	29
Figura 3.1 Diagrama Metodológico.....	31
Figura 3.2 a) Posición vertical, b) posición horizontal. ....	32
Figura 3.3 Brazo de palanca con dos distancias (0.85 y 0.65) m acoplado al torquímetro. ....	33
Figura 3.4 a) Tarjeta medidor de pulsos y frecuencia, b) sensor magnético. ....	35
Figura 3.5 Calibración de consumo de energía.....	36
Figura 3.6 Carro Portasensores utilizado para identificación de las capas compactadas del suelo. ....	38
Figura 3.7 Rediseño de bastidor. ....	39
Figura 3.8 Vista aérea de la ubicación de trabajo en la UAAAN. ....	39
Figura 4.1 a) posición cargas para determinar la constante en la fuerza horizontal. b) posición cargas para determinar la constante en la fuerza vertical. ....	40
Figura 4.2 Gráfica escalonada de voltajes ( mV ) de la fuerza horizontal. ....	41
Figura 4.3 Gráfica de línea ajustada y ecuación de respuesta. ....	42
Figura 4.4 Gráfica escalonada de voltaje ( mV ) del eje vertical. ....	43
Figura 4.5 Gráfica de línea ajustada y ecuación de respuesta. ....	44
Figura 4.6 Gráfica escalonada generada con voltajes mV del torquímetro. ....	45
Figura 4.7 Gráfica de línea ajustada y ecuación de respuesta ....	46
Figura 4.8 Válvula reguladora de flujo de aceite (0, 5, 7,100) %. ....	47
Figura 4.9 Gráfica de la fuerza de tiro con datos positivos y negativos. ....	50
Figura 4.10 Gráfica de fuerza de tiro trasladada a cero.....	50
Figura 4.11 Análisis en la fuerza horizontal positivas.....	51
Figura 4.12 Arreglo A50V con y sin aletas. ....	53

Figura 4.13 Arreglo A50NV con y sin aletas.....	53
Figura 4.14 Fuerzas de tiro vibrando y no vibrando son y sin aletas. ....	54
Figura 4.15 Arreglo para las amplitudes (50 y 40) vibrando y sin aletas. ....	55
Figura 4.16 Gráfica de las fuerzas de tiro por arreglo.....	56
Figura 4.17 Gráfica de las fuerza de penetración por arreglo. ....	57
Figura 4.18 Gráfica de la potencia requerida para cada arreglo con una frecuencia de 4 Hz y con 2000 rev/min. .....	57
Figura 4.19 Fuerza de tiro para los arreglos A50V con aletas y sin aletas. ....	60
Figura 4.20 Fuerza de tiro para los arreglos A40V con y sin aletas. ....	60
Figura 4.21 Fuerzas para ambas amplitudes usando aletas y sin aletas. ....	61
Figura 4.22 Gráfica de fuerza de tiro por arreglo. ....	62
Figura 4.23 Fuerza de penetración por arreglo. ....	62
Figura 4.24 Potencia por arreglo con una frecuencia utiliza de (8.75 Hz). ....	63
Figura 4.25 Gráfica de consumo mediante la entrada y el retorno del combustible. ....	64

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Comparación entre sistemas de labranza para la medición de diferentes parámetros (Cook y Lewis, 1989). .....	10
Cuadro 3.1 Magnitudes de pesos para la aplicación de fuerzas. ....	31
Cuadro 3.2 Valores de voltaje para calibrar el octagonal. ....	32
Cuadro 3.3 Valores de voltaje para calibrar el torquímetro. ....	34
Cuadro 3.4 Factores a evaluar con sus variables. ....	37
Cuadro 4.1 Relación de pesos contra medias de voltajes y sus 5 repeticiones de calibración. ....	41
Cuadro 4.2 Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerza (Fx). ....	42
Cuadro 4.3 Relación de peso contra medias de voltaje con 5 repeticiones. ....	43
Cuadro 4.4 Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerzas (Fy). ....	44
Cuadro 4.5 Torque ( Nm ) vs. Voltaje ( mV ) para el torquímetro. ....	45
Cuadro 4.6 Datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerzas de torque. ....	46
Cuadro 4.7 Calibración del sensor de velocidad empleando tres diferentes aperturas a la válvula y 4 imanes por revolución. ....	47
Cuadro 4.8 Voltajes de calibración para el TOE. ....	48
Cuadro 4.9 Voltajes de calibración para el torquimetro. ....	48
Cuadro 4.10 Arreglo para (A50VSA) con respectivas fuerzas y potencias. ....	51
Cuadro 4.11 Arreglo para (A50VCA) con una frecuencia de 4 Hz. ....	52
Cuadro 4.12 Arreglo para (A50NVCA) con una frecuencia de 4 Hz. ....	52
Cuadro 4.13 Arreglo para (A50NVSA) con una frecuencia de 4 Hz. ....	52
Cuadro 4.14 Arreglo para (A40VSA) con una frecuencia de 4Hz. ....	54
Cuadro 4.15 Fuerzas finales para cada arreglo posición fx y fy y potencia en el torque. ....	55
Cuadro 4.16 Resultados de las potencias en (kW). ....	56
Cuadro 4.17 Arreglo para (A50VCA) vibrando y con aleta con una frecuencia de 8.75 Hz. ....	58
Cuadro 4.18 Arreglo para (A50VSA) vibrando y sin aleta con una frecuencia de 8.75 Hz. ....	58
Cuadro 4.19 Arreglo para (A40VCA) con una frecuencia de 8.75 Hz. ....	59
Cuadro 4.20 Arreglo para (A40VSA) con una frecuencia de 8.75 Hz. ....	59
Cuadro 4.21 Fuerzas finales para cada arreglo. ....	61
Cuadro 4.22 Potencia requerida por cada arreglo usando aletas y sin aletas. ....	63
Cuadro 4.23 Consumo de combustible para la frecuencia de (4 Hz). ....	65
Cuadro 4.24 % de patinaje por arreglo para una frecuencia de 4 Hz. ....	67
Cuadro 4.25 Consumo de combustible por arreglo para la frecuencia (8.75 Hz). ....	67
Cuadro 4.26 Porcentaje de patinaje usando una frecuencia de 8.75 Hz. ....	68

## RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado dentro de las instalaciones de la UAAAN que ha formado parte de los siguientes proyectos a investigar. A) "Caracterización de la fuerza de inercia de un sistema de masa desbalanceada: aplicado en un subsolador-vibratorio-inteligente" (Guillén, 2012). B) "Sensores para la evaluación de parámetros de funcionamiento de un equipo de labranza vibratoria inducida" (Murguía, 2015). C) "Evaluación de sensores en campo en el funcionamiento de un equipo de labranza vibratoria inducida" (Cantorio, 2016). D) "Determinación de la potencia aplicada en la labranza vibratoria inducida bajo dos diferentes frecuencias de trabajo" (Montalvo, 2016). Todas tienen como objetivo reducir el consumo de energía en su operación de labranza primaria integrando las tecnologías de labranza vibratoria, profundidad crítica y la labranza inteligente. El propósito a desarrollar en esta investigación fue "la evaluación de un equipo de laboreo variable con cincel vibratorio para la reducción de consumo de energía" utilizando lo antes ya mencionado (tecnologías de labranza), con dos amplitudes para diferenciar la fuerza ejercida en cada una de ellas con los parámetros: profundidad, velocidad de trabajo y frecuencia evaluando las fases de laboratorio y campo utilizando (TOE) para la fuerza horizontal, fuerza vertical, medición de par en un torquimetro y velocidad angular.

Para contrastar con los objetivos se calculó también su porcentaje de patinaje con un sensor (encoder), consumo de combustible con sensores magnéticos midiendo la salida y retorno del combustible.

Obtenido las ecuaciones de calibración en laboratorio por (Murguía, 2015) para la fuerza de tiro  $47.74 mVN^{-1}$  con una correlación de 99.7%, fuerza de penetración  $75.00 mVN^{-1}$  con una correlación de 99.8% y la constante de calibración por (Montalvo y Cantorio., 2016) el torque de  $0.1206 mV(Nm)^{-1}$  con una correlación de 98.8% mostrando alta confiabilidad de los sensores. Utilizando en las condiciones de campo dos amplitudes de 50 y 40 mm, velocidad de avance de  $3.0 kmh^{-1}$  con una

profundidad de trabajo de 0.30 m tomando algunas referencias de la utilización de aletas para contrastar la disturbación del suelo sin y con aletas en la operación de vibración. Los parámetros cuantificados ya mencionados fueron fuerza de tiro, penetración, momento, patinaje y combustible. Registrados en un sistema de adquisición de datos LogBook/360. El uso de vibraciones mecánicas en labranza vibratoria inducida disminuye su fuerza de tiro en comparación del sistema rígido y utilizando aletas.

El sistema de labranza vibratoria mostro un mejor desempeño comparado con la labranza no vibratoria. Reduciéndose la potencia aplicada de 7.95 kW a 6.70 kW. Para una amplitud de 50 mm consumiendo menor gasto de combustible de 10.81 a 8.85 l m<sup>-1</sup> En los análisis realizados se demuestra que la amplitud de 50 mm ejerce menor fuerza de tiro que la amplitud de 40-30 mm en un 34.8 %. Así mismo para una frecuencia de 4 Hz su consumo de combustible es mayor en 10 % en comparación con la frecuencia 8.75 Hz.

**Palabras clave:** *torquimetro, velocidad angular, octagonal, consumo de energía, cincel con aletas, amplitudes.*

Correo electrónico; César Alvarado Plascencia, [cesar\\_90alvarado@outlook.es](mailto:cesar_90alvarado@outlook.es)

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se ha incrementado el interés por el uso eficiente de la energía, la conservación de los recursos del suelo y agua, principalmente donde es escasa, lo que ha traído un cambio en actitudes con respecto a las prácticas de manejo del suelo y los residuos. Por otra parte, el costo creciente de los combustibles, la reducción de los precios de los productos agrícolas y aspectos medio ambientales, son factores que pueden limitar la actividad agrícola pues reduce la relación costo-beneficio del sistema de producción (Kichler *et al.*, 2007). Cada año se da más énfasis al uso de las labranzas mínimas y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura de temporal (FAO, 2003).

La labranza primaria adquiere gran importancia en la preparación del suelo debido a que provoca cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas en el mismo. Esta labor debe favorecer la producción de los cultivos y mantener la calidad del suelo, pero debido al uso inadecuado de los implementos de labranza se provoca la degradación de este. La búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implementación de labranza de conservación (no inversión del suelo), incluyendo a la labranza vertical, con el fin de disminuir el impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo. Por lo anterior es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo (Camacho y Rodríguez, 2007).

De acuerdo con Aluko y Seig (2000) la movilización del suelo es causada por cizallamiento, donde las partículas se someten a compresión por tensión, situación en que el suelo se agrieta, y por deformación plástica, situación indeseada ya que el suelo sólo se deforma en la superficie de contacto con la herramienta, lo cual puede conllevar a la compactación. Por otra parte, McKyes (1985) describe que para el trabajo con cinceles existe una profundidad crítica, en la cual no existe remoción

lateral de suelo, y que esta depende del ancho de trabajo del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo.

Para trabajar a profundidades mayores a la profundidad crítica, es recomendable el uso de alas laterales acopladas a los cinceles en la punta de ellos, lo cual reduce también la resistencia específica y favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo. Por otra parte, es la actividad agrícola que demanda la mayor cantidad de combustible fósil (IDAE, 2006).

Raper y Bergtold (2007), menciona que se puede hacer mucho para disminuir el costo de las operaciones con labranza vertical, vía a reducción de uso de energía, seleccionando la adecuada geometría de los implementos, la adecuada profundidad de trabajo y humedad en el perfil del suelo. Diferentes estudios realizados muestran que en el manejo apropiado de una labor agrícola, puede conseguirse una disminución en el consumo de combustible de hasta un 30 por ciento (IDAE, 2006).

Los escarificadores son implementos de labranza vertical que han alcanzado gran utilización en las tecnologías actuales de preparación de suelos, los mismos pueden ser de brazos rígidos, semirrígidos o flexibles y vibratorios (Leyva, 2009).

Marín *et al.*, (2011) compararon escarificadores rígidos, flexibles y vibratorios, encontrando que el modo de vibración es el único que contribuye a la variabilidad de la resistencia traccional. No hallaron contribuciones de la velocidad en la variabilidad de la resistencia traccional para un rango de velocidades de trabajo de 1,044 a 3,96 km.h<sup>-1</sup> y que el empleo de vibraciones forzadas durante el escarificado profundo del suelo posibilita una reducción del 9 % de la resistencia traccional demandada cuando se emplean vibraciones libres.

Para los análisis anteriores, hasta el momento en nuestro país, no se cuenta con información acerca del desempeño, en términos de eficiencia de la demanda de fuerza de tiro de implementos agrícolas de labranza vertical. Por otro lado se desconoce la maquinaria e implementos más apropiados para los diferentes

sistemas de siembra y tipos de suelo y cómo estos pueden incrementar la producción agrícola, a su vez, reducir los costos de producción y energía, optimizando sistemas de labranza de conservación y/o convencionales (Campos, 2000).

(Gun & Tramontini, 1955; Sakai *et al.*, 1993; Bandalan *et al.*, 1999) citados por Shahgoli G. *et al.* (2010), han reportado que la oscilación inducida de una herramienta de labranza en las direcciones longitudinal y/o vertical puede disminuir significativamente los requerimientos de fuerza de tiro. La frecuencia oscilatoria, amplitud de oscilación, ángulo de oscilación, velocidad de avance del tractor, diseño de la herramienta y propiedades del suelo son factores importantes que afectan el funcionamiento de la herramienta oscilatoria.

El contar con los instrumentos antes mencionados servirá para dar servicio a fabricantes de equipo agrícola, así como generar información para desarrollar nuevas tecnologías donde no se pierda o consuma demasiada potencia y combustible, que en un momento determinado reduce en gastos para el productor agropecuario y disminuya por un lado su capacidad económica, por aumento en su capacidad de producción del mismo (Campos, 2000).

Con relación a esta problemática, el propósito del presente proyecto es la evaluación de un sistema de laboreo variable utilizando un cincel vibratorio para la reducción del consumo de energía, a través de la aplicación del principio de la profundidad crítica, labranza inteligente y el uso de labranza vibratoria. Al utilizar un transductor octagonal medidor de fuerzas con galgas extensométricas, también aplicando un arreglo de variación de amplitud, la utilización de sensores que miden el consumo de combustible y el porcentaje de patinaje en las ruedas.

### **1.1 Objetivo general**

Reducir el consumo de energía en la operación de la labranza primaria integrando la tecnología de labranza vibratoria.

### **1.2 Objetivos específicos**

Determinar el consumo de combustible en el laboreo variable empleando un cincel vibratorio a diferentes frecuencias y amplitudes.

Determinar la potencia integrada al sistema de laboreo vibratorio a diferentes frecuencias y amplitudes

### **1.3 Hipótesis**

Mediante el uso de diferentes tecnologías y la labranza primaria es posible reducir el consumo de energía de laboreo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Labranza

Durante miles de años de historia, la humanidad ha labrado la tierra con el fin de aumentar la producción de alimentos. La labranza del suelo, en general, es una de las operaciones de campo fundamentales en la agricultura, debido a su influencia en las propiedades del suelo, medio ambiente y la producción de cultivos. Para asegurar el crecimiento normal de la planta, el suelo debe estar preparado en tales condiciones que las raíces pueden tener suficiente aire, el agua y los nutrientes. (Gill y McCreery, 1960; Gill y Vandenberg, 1967; Mckyes, 1985a; Boydas y Turgut, 2007).

La labranza es la manipulación mecánica del suelo, para la producción de cultivos en la agricultura (ASAE standarts, 2002). Sin embargo, existen efectos directos e indirectos que se logran con la labranza, entre los cuales se encuentran: facilitar la producción de los cultivos, el control de malezas, acondicionar la superficie del suelo para permitir una buena irrigación y una cosecha más fácil, además de facilitar la incorporación de materia orgánica, fertilizantes, pesticidas, entre otros (Hoogmoed, 1999).

El hombre incorpora la labranza cuando intenta controlar la vegetación natural, con el fin de poder desarrollar especies de su interés. Los principales objetivos de la labranza son el control de malezas, preparación de la cama de siembra y el acondicionamiento de las propiedades físicas del suelo (FAO<sup>a</sup>, 2003).

La labranza es un proceso dinámico que causa profundos cambios en las propiedades físicas de los suelos, las cuales persisten por tiempo variable, dependiendo del suelo y del clima y pueden afectar fuertemente a los cultivos. Para describir estos cambios, pueden utilizarse propiedades dinámicas que reflejan la reacción del suelo a la aplicación de fuerzas como la resistencia a la penetración y densidad aparente. (Venialgo *et al.*, 2002).

### **2.1.1 Labranza primaria**

La labranza primaria, es la labranza tradicional que se extiende a toda la capa arable. Estas sirven para eliminar compactaciones superficiales, abrir el suelo y crear una estructura grumosa para acumular agua y muchas veces también incorporar, a través de la arada, plagas, malezas y semillas de malezas. La profundidad de la labranza primaria depende de la fuerza de tracción disponible. Con tracción animal es normalmente entre 10 y 20 cm, con el tractor especialmente con el aumento de potencia de los tractores modernos, se llega en algunos países hasta 40 cm. Existe una amplia polémica sobre la profundidad de la labranza primaria. En general no se debería aumentar la profundidad de labranza sólo porque se dispone de la potencia necesaria. En suelos con una capa de suelo delgada, esto puede literalmente destruir el suelo, lo que ocurre frecuentemente cuando se usan tractores. El incremento de cosecha que coincide a veces con una profundización de la capa arable, sólo en pocos casos es sostenible. Esto depende mucho de la fertilidad y la profundidad del suelo. Por otro lado, con una buena estructura del suelo las raíces de las plantas llegarán a las partes más profundas sin necesidad de una labranza profunda. A largo plazo, la labranza profunda consume más combustible mientras que los beneficios no están asegurados. (Friedrich, 1997).

### **2.1.2 Labranza secundaria**

La labranza secundaria sirve para preparar el suelo para la siembra. Esto incluye la formación de la superficie, la nivelación, la formación de camellones o surcos para irrigación y para establecer la cama de siembra. La cama de semilla debería extenderse solamente sobre un horizonte muy delgado hasta la profundidad prevista de la siembra. Normalmente la labranza secundaria nivela y pulveriza el suelo y una profundización de la misma solamente llevaría a una pérdida innecesaria de humedad. Cuando el suelo está todavía suelto hay que incluir también una recompactación en la labranza secundaria. La creación de una cama de siembra tradicional surge a consecuencia de la insuficiencia de la técnica para sembrar en un terreno virgen. Hoy en día esta tecnología está suficientemente avanzada para permitir la siembra de la mayoría de los cultivos sin ninguna labranza, se debe

considerar que la labranza secundaria deja en un clima tropical, una superficie pulverizada en condiciones críticas con gran peligro de erosión. (Friedrich, 1997).

### **2.1.3 Sistema de labranza**

Dentro de los sistemas de labranza están aquellos que hacen una remoción completa del suelo y en ocasiones una fragmentación excesiva de las partículas y no consideran la compactación del suelo, y que se conoce comúnmente como labranza tradicional. Existe también el sistema de labranza de conservación, que se define como cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de labranza convencional (Allen y Fenster, 1986; Lal, 1995).

Steiner (1998) menciona que, para muchos agricultores, antes de una conciencia conservacionista, la principal razón de adopción de los sistemas de labranza de conservación es la posibilidad de reducción de costos. Vivero (1998), señala que la escasa y fluctuante producción agrícola frente a un consumo creciente de alimentos obliga al productor agrícola a incrementar su producción con cultivos intensivos cada vez más mecanizados, con implementos inadecuados y en momentos inoportunos.

Para disminuir los efectos de compactación, remoción completa del suelo y para un ahorro adecuado de energía se implementa la labranza vertical, que es parte de la labranza de conservación y ésta se puede realizar con implementos tales como los arados de cinceles, la cultivadora de campo, el vibro cultivador y el multi-arado. El sistema de labranza a seleccionar debe además de incrementar los rendimientos del cultivo, reducir los riesgos de producción, facilitar la conservación de suelos y agua, mejorar el desarrollo del sistema radicular, mantener niveles adecuados de materia orgánica, y controlar o revertir procesos de degradación. Para ello es fundamental conocer los efectos de cada sistema de labranza, los cuales dependerán de factores climáticos, de suelos, y de cultivos. Un adecuado conocimiento de los suelos, clima y sistemas de cultivo utilizados por el agricultor, es indispensable para el desarrollo y selección de sistemas de labranza para cada situación (Boone, 1988).

#### 2.1.4 Labranza vertical

La labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación (FAO, 2000). Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30 % sobre la superficie, es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación (Agamennoni, 1996; Velázquez, 2011). La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobre todo debido a que el vibro-cultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por lo que es posible preparar entre 50 hasta 80 % más de superficie por día con labranza vertical, si se la compara con labranza convencional.

La principal característica de la labranza vertical es que utiliza brazos o cinceles equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo, dejando en la superficie una cobertura protectora formada por los residuos del cultivo anterior y por las malezas arrancadas (Barber *et al.*,1993). En los Estados Unidos durante los años 1950 el arado convencional (vertedera y discos) empezó a ser reemplazado por el arado a cincel, (Phillips y Young, 1973).



Figura 2.1 Labranza vertical.

### **2.1.5 Uso de implementos para labranza vertical**

Los implementos para labranza primaria son principalmente de tres tipos básicos: arados de vertedera, de puntas estrechas e implementos de disco (Arvidsson *et al.*, 2004).

Los implementos de labranza vertical de puntas estrechas demandan una menor cantidad de energía que los sistemas de labranza convencional (Hoogmoed, 1999; Camacho Tamayo, 2007). De acuerdo con Raper y Bergtold (2007), se puede hacer mucho para disminuir el costo de operaciones con labranza vertical vía reducción de uso de energía, seleccionando la adecuada geometría de los implementos, la adecuada profundidad de trabajo y humedad en el perfil del suelo.

Entre los factores que inciden para que una herramienta de labranza requiera una menor o mayor fuerza de arrastre están, la humedad en el suelo al momento de la labor, el ángulo de inclinación entre la punta de la herramienta y el plano horizontal del suelo, el filo de la punta, el tipo de suelo, la profundidad y la velocidad de trabajo, así como la geometría de las partes y aditamentos del implemento y la configuración cuando se trata de una combinación de herramientas como en la siembra directa (Godwin y O'Dogherty *et al.*, 2007).

Para cinceles y subsoladores es importante considerar el ángulo de ataque, ya que para un valor cercano a 0.436 rad se presentan bajos valores de fuerza de tracción Aluko y Seig, (2000), así como la menor resistencia específica Magalhães y Souza, (1990).

Por otra parte, McKyes (1985) describe que para cinceles existe una profundidad de trabajo crítica, en la cual no existe remoción lateral de suelo, y que esta depende del ancho del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo. Para trabajar en profundidades mayores a la crítica, es recomendable el uso de aletas laterales en la punta del cincel, lo cual reduce también la resistencia específica y favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo (McKyes, 1985).

### 2.1.6 Ventajas de labranza vertical

La labranza vertical sostiene mejor la productividad de los suelos debido a la presencia de los rastrojos en la superficie que protegen el suelo contra los procesos de erosión. Esta cobertura de rastrojos también impide la formación de costras superficiales (planchado) que pueden provocar una baja emergencia de los cultivos. Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir no forman una capa dura en el subsuelo (piso de arado) que limita la profundización de las raíces. Los discos de la branza convencional ocasionan capas duras, debido a que la labranza vertical no invierte el suelo, hay menos descomposición de la materia orgánica y menos pérdida de humedad, que es muy importante para la siembra (Barber, 1997).

Ver (Cuadro 2.1) un ejemplo de los efectos de la labranza vertical sobre el contenido de humedad en el suelo, la cobertura de rastrojo y el rendimiento de maíz en comparación con otros sistemas de labranza.

**Cuadro 2.1 Comparación entre sistemas de labranza para la medición de diferentes parámetros (Cook y Lewis, 1989).**

Sistema de labranza	Humedad (%)	Cobertura de rastrojo (%)	Rendimiento de maíz ( $tHa^{-1}$ )
Labranza cero	13	90	5.77
Labranza vertical	12	36	5.58
Arado de disco	9	14	4.70
Labranza convencional	6	3	3.57

La FAO en el (2003) menciona que una de las grandes ventajas en este sistema de labranza vertical, es que el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más del 30 % sobre la superficie. Es importante destacar que este tipo de labranza es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. Oussible *et al.*, (1992) mencionan que el incremento en la compactación podría restringir el abastecimiento de agua, aire, y la disponibilidad de nutrimentos.

### **2.1.7 Cinceles, su modo de acción y formas**

Los cinceles, por su modo de acción, son la herramienta de labranza que más se parece al arado de madera. Al introducir el cincel en el suelo causa la compresión de éste. La labranza vertical aplicada con cincel requiere una menor cantidad de energía en comparación con el tipo de disco utilizado en los sistemas de labranza convencional (Camacho y Rodríguez, 2007b), por lo anterior es importante conocer los diferentes parámetros operativos de aperos de labranza y su efecto en el suelo (Camacho y Rodríguez, 2007c).

Cada punta tiene una profundidad útil de trabajo, por debajo de esta profundidad también llamada la profundidad crítica (PC), la compactación se puede producir en lugar de aflojar el suelo y un considerable aumento de los valores de la resistencia específica puede ocurrir (Spoor y Godwin, 1978). Esta profundidad depende de las condiciones de la geometría de la punta y de las condiciones del suelo. Mckyes (1985) describe que existe una profundidad crítica para el funcionamiento del cincel, en la que se produce la remoción lateral del suelo, y que esto depende de la anchura del implemento y su ángulo de, así como el contenido de humedad y densidad del suelo. Por lo tanto, la profundidad del cincel depende del cultivo a establecer, las características del suelo y también de la fuente de energía disponible (Pandey, 2004). Además de esto, el consumo de combustible aumenta proporcionalmente con la profundidad de arado (Moitzi *et al.*, 2006; Kalk y hulsbergen, 1999). El efecto del ángulo de inclinación o ángulo de ataque, evaluada en el trabajo (Payne y Tanner, 1959) y (Spoor y Godwin, 1978), muestran claramente cómo aumenta la fuerza horizontal y vertical con el aumento del ángulo de inclinación. El ángulo de inclinación para los cinceles, medida en la punta del cincel respecto a la horizontal fue de 25°, lo cual representa la resistencia específica más baja (Siemens *et al.*, 1965), (Wildman *et al.*, 1978) (Magalhaes y Souza, 1990), (Mathur y Pandey, 1992) y (Chaudhuri, 2001). Un aumento de la disturbación del suelo, con una resistencia específica más baja se puede lograr con la adición de alas o barredores para las puntas o cinceles profundos.

### **2.1.8 El subsolado**

(FAO, 2000) El subsolado llega debajo de la capa arable para quebrar compactaciones que están fuera del alcance de la labranza normal. Esta operación sirve para crear grietas que mejoran la infiltración del agua y la penetración de las raíces. La profundidad del subsolado se debe determinar según la compactación encontrada y la humedad del suelo a esta profundidad. Aunque la operación del subsolado requiere mucha energía, por lo tanto, no es adecuado para la tracción animal. Con el tractor se debe considerar como una operación de mejoramiento de suelo costosa que no se hace de manera rutinaria. Especialmente en los suelos inestables hay que tener cuidado de no recompactar el suelo inmediatamente después del subsolado pues esto puede crear compactaciones profundas y peores que antes. Existen algunos suelos limosos en peligro que el material fino se acumule en las grietas y forme compactaciones por sedimentación. En general, el hacer la labor de subsolado hay que determinar el origen de la compactación y tratar de mejorarlo estabilizando la nueva estructura suelta por ejemplo con un cultivo de raíces profundas.

(Velázquez, 2011) Se debería considerar como una práctica de recuperación de suelos degradados debido a problemas graves de compactación, por lo general, la subsolación no es una labranza que se puede usar cada año en la rutina de la preparación de suelos. De igual manera tiene un efecto de levantamiento, de rompimiento y de aflojamiento del suelo. Esto resulta en un mejor desarrollo de las raíces y muchas veces también mejora el drenaje del suelo. La ventaja principal es que rompe las capas compactadas y afloja el suelo sin invertirlo y así no lleva el subsuelo a la superficie y deja la mayoría de los rastrojos sobre el suelo.

### **2.1.9 Labranza vibratoria inducida**

Según Marín *et al.*, (2011) el empleo de vibraciones forzadas durante el escarificado profundo del suelo posibilita una reducción del 9 % de la resistencia traccional demandada que cuando se emplean vibraciones libres.

Los escarificadores son aperos de labranza que han alcanzado gran utilización en las tecnologías actuales de preparación de suelos, los mismos pueden ser de

brazos rígidos, semirrígidos o flexibles, y vibratorios. Los de brazos rígidos poseen un mayor requerimiento tradicional, pero por lo general son los más sólidos y no tienen gran complejidad tecnológica, siendo los más difundidos en el ámbito internacional. Los órganos de trabajo de los escarificadores semirrígidos o flexibles no requieren ser accionados, sus vibraciones son libres, es decir la frecuencia y amplitud de las vibraciones no son controladas, son inducidas por las variaciones en la resistencia del suelo y la elasticidad de los elementos del órgano de trabajo, es decir vibran según el fenómeno de la vibración por libre excitación. Estos escarificadores demandan menos resistencia fraccional, disminuyéndola de 15-30 %, respecto a los rígidos, aunque son un tanto más complejos que éstos últimos (Leyva, 2009).

Los escarificadores de brazos vibratorios poseen órganos de trabajo activos, o lo que es lo mismo, son sometidos a vibrar de manera forzada, al ser accionados por la fuente energética. Estos escarificadores reducen la resistencia traccional de 30 a 52 % con respecto al rígido (Leyva *et al.*, 1998; Soeharsono y Radite, 2010) citados por (Marín *et al.*, 2011); además de ser idóneos para laboreo mínimo por el efecto que logran sobre el suelo en una pasada, aunque este tipo de escarificadores puede aumentar hasta un 50 % el consumo de potencia con respecto a los rígidos (Yow y Smith, 1976), producto del aumento de la cantidad de energía que es requerida para imprimirle inercia a la herramienta de labranza y sus mecanismos (Soeharsono y Radite, 2010).

Según el tipo de mecanismo generador de vibraciones pueden ser: de biela y manivela, hidrostáticos o neumáticos generadores de pulsaciones intermitentes e inerciales, ó de masas desbalanceadas (Leyva, 2009).

(Shahgoli *et al.*, 2010), los estudios realizados en los últimos cincuenta años revelan que, las oscilaciones de las herramientas de labranza pueden ser muy efectivas en la disminución de la fuerza de tiro y el aprovechamiento de la potencia transferida del motor del tractor durante la descompactación del suelo.

Según Awad *et al.* (2009) la velocidad de trabajo tiene efectos directos y proporcionales a la resistencia traccional de los escarificadores vibratorios; pues la misma se incrementa hasta en un seis por ciento cuando la velocidad de avance aumenta en un 200 %. Kushwaha y Zhang, (1998), afirman que la fuerza de tiro se incrementa con el incremento de la velocidad de avance del apero, producto de la aceleración del suelo y la dependencia que tiene ésta de la resistencia intrínseca del suelo, pues los resultados investigativos de (Wismer y Luth, 1972), evidencian que las características de la variación de la fuerza de tiro con respecto a la velocidad de avance del apero están conectadas con el tipo de suelo a laborar.

Investigaciones realizadas por (Shahgoli *et al.*, 2010); Demostraron que a una velocidad de 3 km.h<sup>-1</sup> se reduce de manera significativa la resistencia traccional de los escarificadores vibratorios, mientras que (Soeharsono y Radite, 2010) afirmaron que cuando la proporción entre la velocidad de avance del apero y la de oscilación es menor que la unidad la resistencia traccional del escarificador vibratorio no se reduce de manera significativa, pues según se incrementa la proporción de velocidades se incrementa la reducción de demanda traccional.

Lili *et al.*, (2013) concluyeron que a una cierta profundidad de trabajo, la velocidad de avance tiene algunos efectos para la resistencia de tracción, y que la resistencia de tracción se incrementa con el aumento de la velocidad hacia adelante. Cuando el tractor avanza rápido, la resistencia de tracción se reduce con pequeña amplitud en la condición de trabajo de vibración.

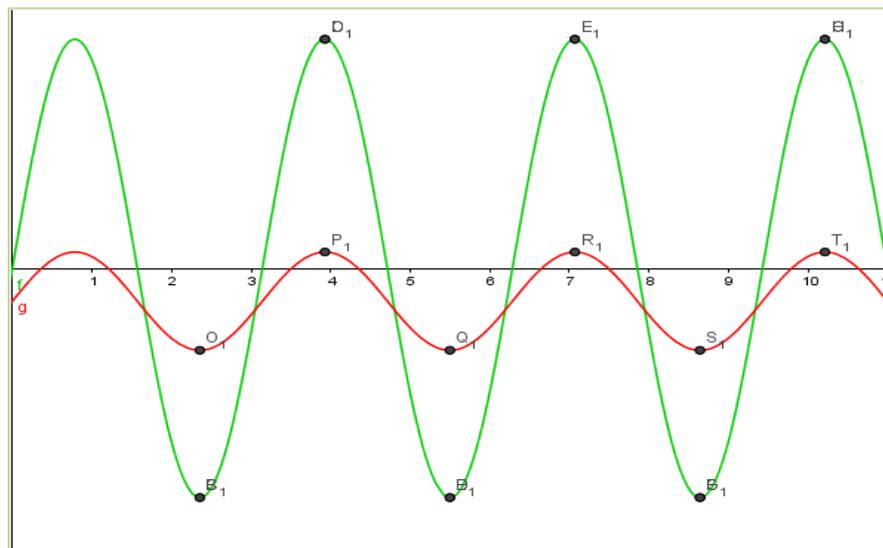
(Gun & Tramontini, 1955; Sakai *et al.*, 1993; Bandalan *et al.*, 1999) citados por Shahgoli G. *et al.* 2010, han reportado que la oscilación inducida a una herramienta de labranza en las direcciones longitudinal y/o vertical puede disminuir significativamente los requerimientos de fuerza de tiro. La frecuencia oscilatoria, amplitud de oscilación, ángulo de oscilación, velocidad de avance del tractor, diseño de la herramienta y propiedades del suelo son factores importantes que afectan el funcionamiento de la herramienta oscilatoria (Smith *et al.*, 1971; Sulatisky & Ukrainetz, 1972; Sakai *et al.*, 1993), citados por Shahgoli G. *et al.* (2010)

## 2.2 Mecanismo de retorno rápido

Estos mecanismos se emplean en máquinas-herramientas para producir una carrera lenta de corte y una carrera rápida de retorno para una velocidad angular constante de la manivela motriz. Son una combinación de mecanismos simples de eslabones como el mecanismo de cuatro barras y el mecanismo de biela-manivela-combinada con este mismo mecanismo pero en forma convencional. Al diseñar mecanismos de retorno rápido, es de suma importancia la relación del ángulo de la manivela para la carrera de corte con respecto al de la carrera de retorno; esta relación se conoce como relación de tiempo. Para producir un retorno rápido de la herramienta de corte, esta relación debe ser obviamente mayor que la unidad y tan grande como sea posible.

Los mecanismos de retorno rápido tienen un avance más rápido en una dirección que en la otra, cuando son impulsados a velocidad constante con un actuador giratorio. Se utilizan comúnmente en máquinas-herramienta que requieren una carrera de corte lento y una de retorno rápido.

En la (Figura.2.2) se muestra el excéntrico con mayor amplitud 70 mm y su desfase de la flecha de 40 mm lo que permite tener un desbalanceo.



**Figura 2.2 Grafica de retorno rápido con la excentricidad 40-30mm (GeoGebra, 2016).**

## 2.3 Lastrado del tractor

Como se ha dicho anteriormente, los tractores de ruedas solamente aprovechan un 60 % de la potencia del motor perdiéndose el resto en patinaje. Ahora si se aumenta el peso del tractor la presión que ejercen las ruedas sobre el terreno es mayor, disminuyendo el patinaje y así se consigue un mayor aprovechamiento de la potencia del motor. Esto se consigue con dos tipos de lastrados que son con contrapesos en el eje trasero o delantero, o lastrado con agua en el eje trasero (Arnal y Laguna, 2005).

### 2.3.1 Lastrado con contrapesos

Los constructores de tractores fabrican lastres metálicos, que son fáciles de montar sobre los discos de las ruedas. Estos lastres se pueden colocar sobre el eje delantero y sobre el eje trasero. Otra forma actualmente muy extendida es el empleo de placas metálicas como se ve en la (Figura 2.3), se colocan en la parte delantera del soporte del bastidor, teniendo la ventaja de que pueda venirse el peso del lastre con solo quitar o añadir placas (Arnal y Laguna, 2005).



Figura 2.3 Tipos de lastras con contrapesos (Arnal y Laguna, 2015).

### 2.3.2 Lastrado con agua

Con este sistema se eliminan los inconvenientes de los contrapesos, puesto que el peso del agua como se ve en la (Figura 2.4) recae directamente sobre la parte de la cubierta, que está en contacto con el suelo sin que sus telas sufran sobrecargas. Por otra parte, se reduce mucho el costo del lastrado y además se

puede regular a voluntad el peso del lastre, variando la posición de la válvula (Arnal y laguna, 2005).



**Figura 2.4 Lastrado con agua en los neumáticos (Arnal y Laguna, 2005).**

### **2.3.3 Resistencia por rodadura**

La resistencia por 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 2.5), 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).

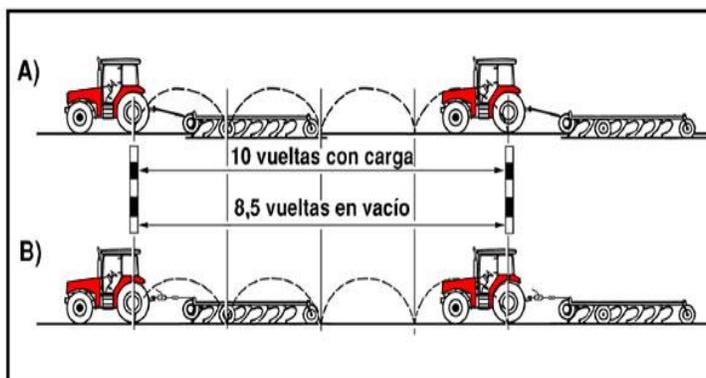


**Figura 2.5 Resistencia a la rodadura.**

### 2.3.4 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 2.6). 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 2.6 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).

La potencia disponible se reduce de manera considerable cuando el patinaje de las ruedas está por debajo del mínimo recomendado. El porcentaje ideal de patinaje varía del 8 al 15 % dependiendo el tipo de tracción del tractor. El mal ajuste del patinaje de las llantas puede ocasionarle problemas tales como desgaste prematuro de las llantas, baja eficiencia en la operación del tractor y fallas mecánicas en las partes componentes de los sistemas que están relacionados con la transmisión de potencia del tractor, ejemplo, diferencial, mandos finales, transmisión, etc.

Se describe el procedimiento recomendado para medir en forma manual el patinaje de las ruedas de un tractor:

1.- Marcar un punto (A) en una llanta trasera que pueda observarse fácilmente (se recomienda una marca de tiza).

2.- Con el tractor en marcha y el implemento bajado, marcar un punto de partida (B) en el terreno en el sitio en que la marca (A) de la llanta toca el suelo.

3.- Hacer otra marca en el suelo, en el sitio en que la marca (A) de la llanta complete 10 vueltas (C).

4.- Con el implemento elevado, volver en sentido contrario. En la segunda marca del terreno (C), marcar la llanta (D) por segunda vez.

5.- Conduciendo el tractor por la misma trayectoria (implemento elevado), contar las vueltas que da la llanta hasta alcanzar el punto de partida (B).

6.- Emplear el número de revoluciones de rueda sin carga en la “Tabla de patinaje de ruedas” para calcular el patinaje.

7.- Ajustar el lastre o la carga para obtener el patinaje correcto.

$$\% \text{ patinaje} = \left( \frac{\#VCC - \#VSC}{\#VCC} \right) * 100$$

González (2007), realizó un diseño con un sensor rotativo acoplado en la llanta motriz del tractor agrícola que le permitió medir el número de revoluciones de la rueda. Utilizando un PLC para el registro de la velocidad mediante el uso de encoders, trabajando a una velocidad de  $7 \text{ km h}^{-1}$ , el PLC realizó el registro de pulsos y tiempos en una distancia determinada.

### **2.3.5 Resistencia a la penetración**

La dureza del suelo se expresa en  $\text{kg. cm}^{-2}$  o en kPa, se mide con la ayuda de aparatos llamados penetrómetros o durómetros. Han sido creados una serie de aparatos de diferentes principios de trabajo y formas de ser accionados, tales como mecánicos, dinámicos, hidráulicos, electrónicos, de sondas de neutrones, unos para ser operados por el hombre y otros montados sobre tractores con una sola unidad y en ocasiones con varias unidades para aumentar la productividad del trabajo y

obtener una mayor información (precisión) de la dureza del suelo al cual se le quiere determinar debido a las grandes variaciones que presenta en sus diferentes lugares por tratarse de un cuerpo no homogéneo tanto en su extensión como en su profundidad (Padrón 2005).

La resistencia a la penetración es un buen índice para evaluar problemas de restricción en el desarrollo radicular de las raíces de los cultivos, por la presencia de capas compactas y/o baja porosidad. La penetrabilidad del suelo permite conocer la facilidad con que un objeto puede ser introducido en él, es decir, la resistencia mecánica que ofrece el suelo a la expansión lateral y al corte que produce dicho objeto. Esa resistencia no es propiedad particular del material, sino que es la suma de los efectos de diferentes características y propiedades, tales como densidad aparente, contenido de humedad, resistencia a la penetración y al corte, las que, a su vez, son consecuencia de la distribución del tamaño de partículas, de la estructura, y de la composición mineral y orgánica presentes en el suelo.

Aún que los valores obtenidos no reflejan más que un índice, que a su vez depende de la forma del elemento que se ha introducido en el suelo (placas, semiesferas, conos, etc.), siempre se puede encontrar una relación entre la resistencia a la penetración y a la que opone al suelo a una acción diferente producida bien por un neumático arrastrado o motriz, o una determinada herramienta de trabajo (Salas 2013).

Cuando las raíces se encuentran en un suelo demasiado denso, no pueden penetrar y cambian la dirección de crecimiento o detienen su crecimiento. Esto ocurre frecuentemente en ambientes descritos anteriormente, donde las raíces de plantas sembradas sujetas a suelos compactados, tienden a crecer solamente en los primeros 10-20 cm de profundidad esto aumenta el área superficial del sistema radical por volumen de suelo a diferentes profundidades (Liu y Waldron, 1988).

La evaluación en campo del penetrómetro muestra la profundidad y los puntos donde se localizan las áreas compactadas del suelo evaluado, dando una mayor confiabilidad al agricultor (Jiménez, 2011).

## 2.4 Consumo de combustible en la agricultura

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).

En la (Figura 2.7) se muestra una gráfica del consumo de combustible l ha<sup>-1</sup>.

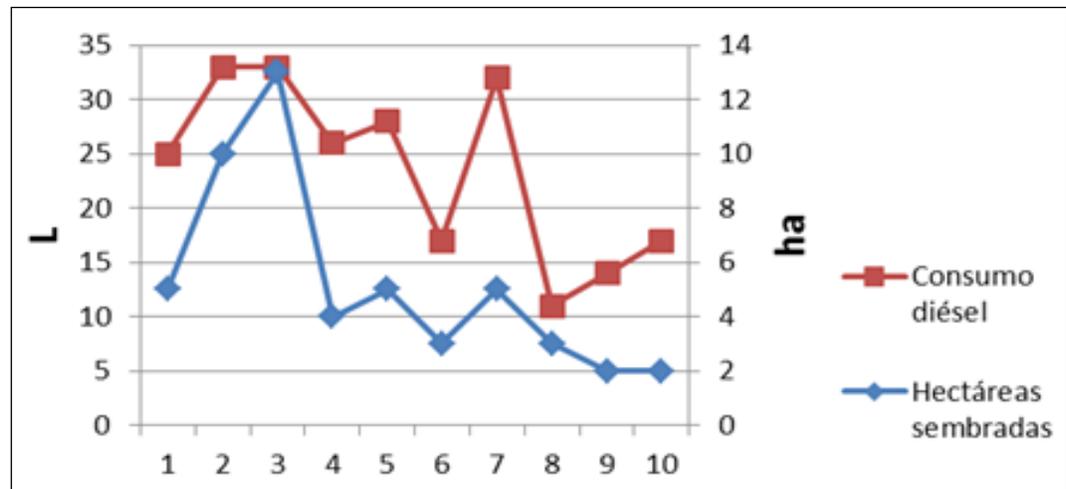


Figura 2.7 Consumo de combustible l Ha<sup>-1</sup>.

### 2.4.1 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).

## **2.5 Diseño y evaluación de herramientas de labranza**

Normalmente entre los factores que deberían ser considerados para diseñar y evaluar un sistema de implementos de labranza enganchados en la parte posterior de un tractor son (Kepner *et al.*, 1978):

1. Habilidad para obtener penetración del implemento bajo condiciones adversas, particularmente con implementos tales como rastras de discos y arado de discos.
2. Efecto del implemento sobre la habilidad tractiva del tractor (transferencia de peso).
3. Uniformidad de la profundidad de laboreo, que el implemento pase sobre partes irregulares de la superficie del suelo.
4. Estandarización del enganche que permita el fácil acoplamiento.
5. Rapidez con la cual las herramientas entran a la tierra.

### **2.5.1 Transductores de fuerza**

Los sensores o transductores de fuerza son ampliamente usados en el campo de la industria y las investigaciones, presentando muchas configuraciones en equipos comerciales. Básicamente están compuestos por: una pieza monolítica conocida como elemento elástico y por extensómetros eléctricos o galgas extensométricas que permiten medir, en el área de colocación de los mismos, los niveles de deformación preferiblemente uniformes, que experimenta el transductor bajo la acción de una fuerza aplicada. Estos son diseñados, para que a fuerzas relativamente bajas permitan altos niveles de deformación, siendo precisamente el elemento elástico el componente más crítico del transductor (Martínez, 2008).

La idea de emplear anillos octagonales extendidos (EOR siglas en inglés) en un sistema de medición fue introducido por primera vez por (Lowen *et al.*, 1951).

Hoag y Yoerger (1975) derivaron ecuaciones analíticas de distribución de fuerzas para transductores simples y octagonales de anillos extendidos para

diferentes cargas y condiciones límites utilizando el método de tensión de energía. Se determinaron dos ecuaciones para el momento de flexión en la sección del anillo prolongado, mismas que se utilizan para el cálculo del momento en la sección utilizando el (EOR). McLaughlin (1996) detectó algunos errores en las ecuaciones de Hoag y Yoerger (1975) y las corrigió.

Godwin (1975). Diseñó un transductor octagonal de anillo extendido para medir las fuerzas de reacción del suelo utilizando herramientas en dos direcciones, así como el momento en el plano de estas fuerzas. El reportó una buena linealidad, bajas sensibilidad cruzada y la histéresis para el transductor. También encontró que las sensibilidades prácticas de las galgas extensométricas fueron mucho mayores que los valores obtenidos a partir de ecuaciones analíticas.

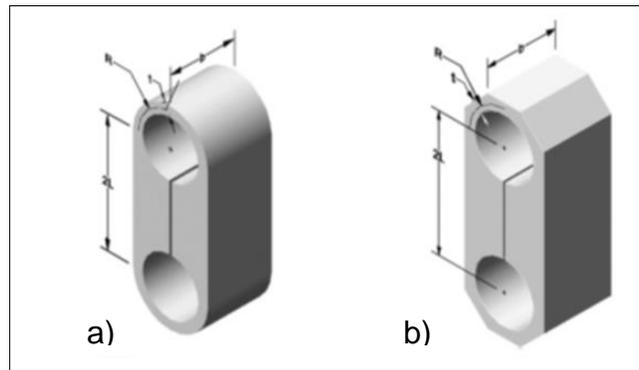
O'Dogherty (1975) diseñó un transductor para determinar las fuerzas de corte y verticales usando una cuchilla en remolacha azucarera utilizando el anillo octogonal extendido. Informó de una buena linealidad, histéresis baja en ciclos de carga y descarga, y sensibilidades cruzadas entre 4.1 y 6.5 % para las fuerzas de corte y vertical, respectivamente en el proceso de calibración del transductor. Godwin *et al.*, (1987) diseñaron tres transductores de (EOR) usando tres diferentes materiales con diferentes relaciones de radio y diferentes espesores del anillo ( $r / t$ ).

McLaughlin *et al.*, (1998) diseñó y fabricó un octagonal de doble anillo extendido (DEOR por sus siglas en inglés) acoplado a una barra de tiro. Ellos calibraron el transductor utilizando métodos de carga uniaxiales y triaxiales. Los autores derivaron la regresión de un modelo para predecir las fuerzas de tiro, verticales, y las cargas laterales, e informó de la sensibilidad cruzada del sensor de 1.9 y 7.0 % para las fuerzas de tiro y verticales respectivamente.

Kheiralla *et al.* (2003) desarrollaron un dinamómetro de tres puntos de enganche automático utilizando un transductor (EOR). Ellos reportaron una sensibilidad primaria horizontal y vertical de  $25,19 \text{ kN } \mu \text{ strain}^{-1}$  y  $25.60 \text{ kN } \mu \text{ strain}^{-1}$  para el sensor (77.75 % y 89.77 % de las sensibilidades teóricas calculadas).

### 2.5.2 Sensor de anillo extendido

Los transductores octagonales de anillo extendidos han sido desarrollados como los que se muestran en la (Figura 2.8); tanto el anillo extendido y anillo octagonal extendido deben tener una sección central donde los accesorios de carga pueden ser atornillados. Las galgas extensométricas están montadas en las secciones más delgadas de anillo para la medición de fuerza. (Hoag y Yoerger, 1975).

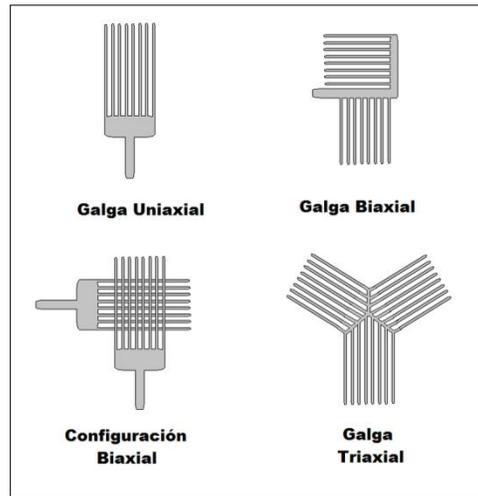


**Figura 2.8 Transductores tipo anillo: (a) liso extendido;(b) anillo octagonal extendido "EOR" (Chen *et al.*, 2005).**

### 2.5.3 Galgas extensométricas

Las galgas extensométricas son un ejemplo de transductor pasivo que convierte un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia. Es un dispositivo delgado, con una oblea, que se puede unir (soldar) a una variedad de materiales con el fin de medir los esfuerzos aplicados. Las galgas extensométricas metálicas se fabrican con alambres resistentes de diámetros muy pequeños o grabado en laminillas metálicas delgadas. La resistencia del alambre o de la lámina delgada cambia de longitud a medida que el material al cual esta soldada sufre tensiones o compresiones. Este cambio de resistencia es proporcional a la tensión aplicada y se mide con un puente de Wheatstone adaptado especialmente (Cooper, 1991; citado por Bonifaz, 2012).

Se pueden lograr mediciones simultáneas de esfuerzos en más de una dirección colocando galgas de un solo elemento en la dirección correcta. Sin embargo, para simplificar esta tarea y tener mayor exactitud, se dispone de galgas múltiples elementos o rosetas como se muestra en la (Figura 2.9).



**Figura 2.9 Galgas extensométricas para una y múltiples direcciones.**

Las siguientes rosetas pueden utilizarse en transductores de fuerza. Las galgas se conectan en un circuito de puente de Wheatstone para proporcionar una máxima salida.

La sensibilidad de galgas a la deformación es moderada en términos de “factor de las galgas”. La fórmula para el factor de la galga se explica como sigue: la ley de Hook para los materiales como metales generalmente se expresa como:

$$\varepsilon = \frac{\delta L}{L} = \frac{\sigma}{E} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dónde:

$\varepsilon$  = Deformación

$L$  = Longitud original

$\delta L$  = Cambio en longitud debido a la deformación

$\sigma$  = Esfuerzo

$E$  = Módulo de elasticidad o Módulo de Young

Según la (Ecuación 2.2) puede decirse que la tensión es obtenida por la determinación de deformación, en región elástica. Aunque hay varios métodos para determinar la deformación, se usan ampliamente las galgas para medir la deformación, porque la tecnología de usar métodos de la galga extensométrica es la simplicidad de manejo y de alta precisión.

Cuando la deformación ocurre, la resistencia eléctrica de una galga cambia y esto se ilustra en la ecuación siguiente:

$$\frac{\delta R}{L} = K\varepsilon \dots\dots\dots (2.2)$$

- $R$  = Resistencia sin deformación
- $L$  = Incremento de la resistencia sin deformación
- $K$  = Número fijo proporcional
- $\varepsilon$  = Deformación

Subsecuentemente, la relación entre resistencia y la sección de material se expresan como sigue:

$$R = \rho * \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dónde:

- $\rho$  = Resistividad
- $L$  = Longitud.
- $A$  = Área de la sección

En éste punto, Vaugham (1975) citado por Ozuna (2011) menciona que una viga bajo una carga de tensión simple, ésta incrementa en su longitud y al mismo tiempo es correspondiente a un decremento en la sección transversal. Este es conocido como el efecto Poisson, de manera que la deformación es medida en cualquiera de los planos perpendiculares correspondientes a la carga aplicada, una deformación negativa con valores muy pequeños será detectada. La magnitud de esta deformación es pequeña dependiendo de la relación de Poisson ( $\nu$ ), y esta

constante varia de material a material. La deformación medida perpendicular a la carga será aproximadamente 0.3 veces la deformación paralela a la carga.

### 2.5.4 Puente de Wheatstone

Los dispositivos electrónicos que son normalmente usados para medir  $\epsilon K = \delta R/R$  para convertir esta medición de cambio de resistencia en deformación, son el potenciómetro y el puente de Wheatstone como es mostrado en la (Figura 2.10). El puente de Wheatstone puede determinar lecturas de galgas de tensión dinámicas y estáticas. El voltaje de la excitación puede ser CA o DC. Aquí solo DC es considerada.

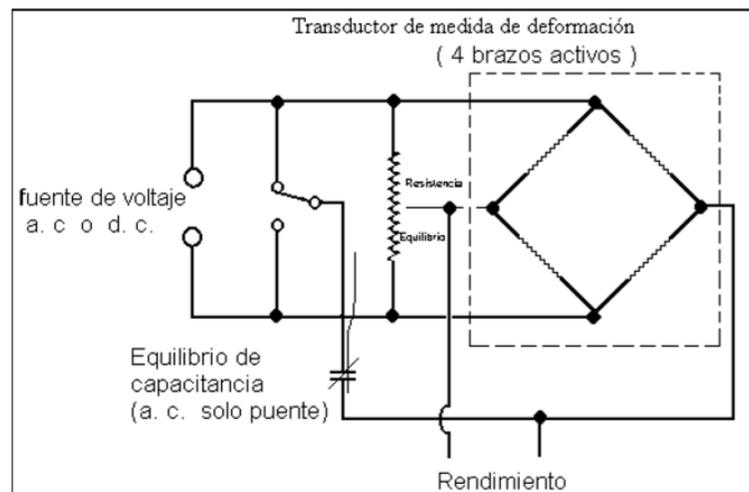


Figura 2.10 Puente de Wheatstone (Godwin, 1993)

De esto se puede desprender la (Ecuación 2.4)

$$V = \frac{(U)(FG)(n)(\epsilon)}{4} * gain \dots\dots\dots (2.4)$$

Dónde:

- V = Voltaje de salida esperado
- U = Voltaje de excitación
- n = Número de galgas activas
- $\epsilon$  = Deformación
- FG = Factor de galga
- gain = ganancia

## 2.6 Sistema de adquisición de datos

Licso (1988), Campos (2000), Graham (1989) describen la necesidad de un sistema de alta velocidad de muestreo para la reproducción de las fuerzas de reacción del suelo que incluye transductores de magnitudes de fuerzas y su localización; en cuanto al hardware en varias investigaciones se puede identificar en todas y cada una de ellas, un sistema de acondicionamiento de señales provenientes de los sensores de fuerzas, un sistema convertidor analógico-digital y software para su funcionamiento Moo (2000). El anterior sistema permite reproducir en términos de energía lo que está sucediendo en interacción suelo herramienta. Moo (2000) desarrollo un sistema de adquisición de datos de laboratorio y campo que permite evaluar el desempeño de los implementos de labranza, además muestra el diseño de medidores de velocidad y desplazamiento. Campos (1993) menciona que dentro de la adquisición de datos de laboratorio comprende de un tanque de suelos el cual el sistema y los transductores se adaptan a este. Y para el análisis de información proveniente de los procesos de muestreo (conversión analógica-digital) utilizó la metodología del algoritmo de la transformada rápida de Fourier para la obtención de la potencia espectral.

Para conocer esta información se selecciona el algoritmo de la transformada rápida de Fourier incluido en el programa de Matlab, este algoritmo calcula el espectro de frecuencia de los datos obtenidos, y a partir de aquí se pueden localizar la mayor magnitud ocurrida y su correspondiente frecuencia (Mojica, 2000). En la (Figura 2.11) se muestra el equipo para la adquisición de datos por medio de un amplificador o codificador de señal y un convertidor analógico-digital LogBook/360



**Figura 2.11 Amplificador DBK43A y el convertidor analógico-digital LogBook/360.**

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se describen dos fases en las que se divide el trabajo de investigación. En la fase de campo con base a la tesis de (Murguía, 2015) se probaron y calibraron los diferentes sensores que integran el sistema de labranza vibratoria, que son el transductor octagonal extendido (TOE), torquímetro y velocidad angular. La segunda sometiendo a pruebas en condiciones de campo.

#### 3.1 Fase I: Laboratorio

##### 3.1.1 Calibración TOE

La calibración del sensor (TOE) es necesaria para la adquisición de datos en campo y determinar la ecuación de calibración voltaje-fuerza, dicha calibración se llevó a cabo en el taller de máquinas y herramientas, ubicado en el departamento de maquinaria agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), los materiales empleados para esta actividad son:

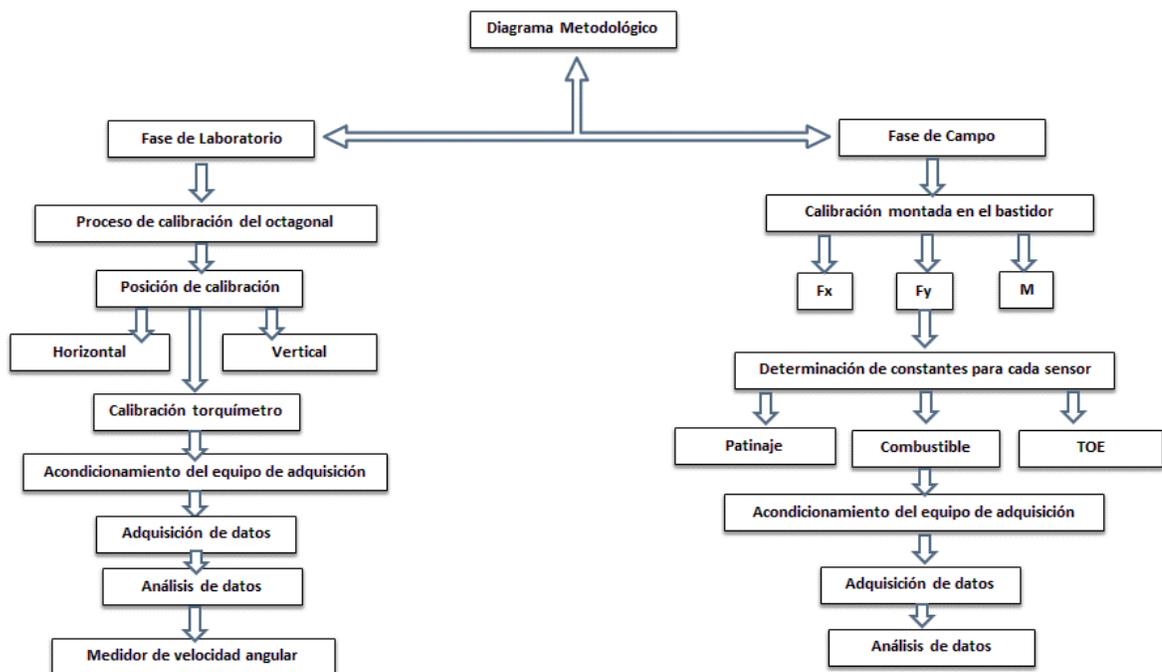
1. Computadora Dell Optiplex GX520, con los softwares *LogView*, *Excel*, *Minitab V15* y *Matlab 2010*.
2. Amplificador – acondicionador de señal DBK43A, con ocho canales de entrada, con ganancia de 100 a 1250x ( $\epsilon$ ), fabricado por Iotech, Inc. usado para amplificar la señal del (TOE) y proporcionar una salida estandarizada de voltaje. Se suministra el voltaje de excitación al sensor en un rango de 1 - 10 V y 100 mA.
3. Convertidor analógico – digital LogBook/360. Es un módulo interconectado entre el DBK-43A y la computadora por medio del cable de puerto paralelo, este convierte las señales del amplificador de analógicas a digitales y las manda a la computadora por medio de software LogView. Este módulo es integrado por seis voltajes diferenciales. Con una ganancia de 0.01 – 10 V y con una velocidad de muestreo de 25 – 625 E3 por segundo. Este sistema permite almacenar en forma instantánea los datos, en la computadora.

4. Sensor (TOE) acoplado al cincel con capacidad máxima de fuerza y par, 40  $kN$  y  $64 k Nm$  respectivamente.
5. Ocho pesos de diferentes magnitudes como se muestra en el (Cuadro 3.1)

**Cuadro 3.1 Magnitudes de pesos para la aplicación de fuerzas.**

Cantidad de pesos	Peso (kg)	Gravedad ( $kg.m. s^{-2}$ )	Peso (N)
1	73	9.81	716.13
3	48	9.81	470.88
2	35	9.81	343.35
2	30	9.81	294.30

En la (Figura 3.1) Se muestra el diagrama general donde se realiza el trabajo que consta de dos fases en laboratorio y en campo.



**Figura 3.1 Diagrama Metodológico.**

### 3.1.2 Proceso de calibración al transductor octagonal

Es la parte importante donde se calibra (TOE) en posición vertical y horizontalmente con algunos pesos anteriormente ya mencionados.

### 3.1.3 Posiciones de calibración

El sensor con el que se cuenta es capaz de medir deformaciones en dos direcciones horizontal y vertical por lo cual es necesario realizar ambas calibraciones montándolo en dos diferentes estructuras como se muestra en la (Figura 3.2) donde se pueda simular la aplicación de fuerzas de roturación de suelo en laboratorio.

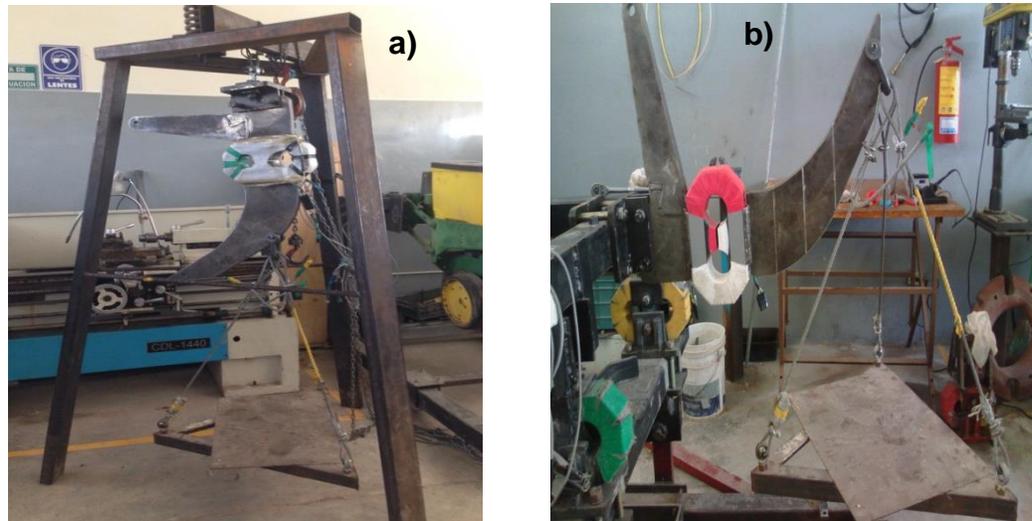


Figura 3.2 a) Posición vertical, b) posición horizontal.

### 3.1.4 Acondicionamiento del equipo de adquisición

- Conectar correctamente los cables de comunicación del sensor al sistema de adquisición de datos, cable negro-azul ( $F_y$ ), canal 7 y cable negro-verde ( $F_x$ ), canal 0.
- Verificar los valores que se muestran en el (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Valores de voltaje para calibrar el octagonal.

SENSOR	CABLE	CANAL	VOLTAJE DE EXCITACIÓN	GAIN (V)	SCALING (V)
Octagonal	Negro- Azul ( $F_y$ )	CH 7	5.5	4.5	4.5
	Negro- Verde ( $F_x$ )	CH 0	5.5	4.5	4.5

Los voltajes de ganancia (gain) y escalonamiento (scaling) se visualizan en el software LogView y se ajustan en el DBK-43A, la excitación es medida y ajustada mediante el potenciómetro del cable de comunicación entre el sensor y el módulo de acondicionamiento de señales.

### 3.1.5 Adquisición de datos

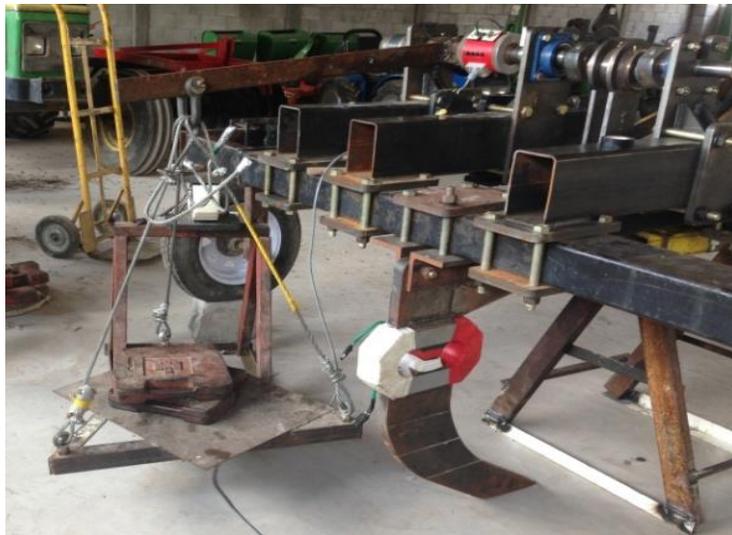
Para el transductor octagonal se requirió de ocho pesos diferentes ver (Cuadro 3.1), según la cantidad de pesos y el intervalo de datos con el que se incrementó la carga una frecuencia de  $20\text{ Hz}$ , son necesarios 6,800 datos.

En la calibración se realizaron cinco replicas por cada posición para obtener un resultado confiable.

Para el ascenso y descenso de los pesos se realizó en intervalos de 400 datos, al iniciar y finalizar se dejarán 400 datos como referencia del peso cero, y con ello obtener graficas escalonadas para su posterior análisis.

### 3.1.6 Calibración del torquímetro

El sensor se encuentra montado en el implemento por lo cual fue preciso acondicionarlo para poder realizar las pruebas. Al ser un medidor de torque fueron necesarios dos brazos de palanca de  $(0.85\text{ y }0.65)\text{ m}$  de largo que convirtiera la fuerza vertical en par torsional como se muestra en la (Figura 3. 3).



**Figura 3.3 Brazo de palanca con dos distancias (0.85 y 0.65) m acoplado al torquímetro.**

Se utilizó cuatro pesos en total, dos de  $(30\text{ kg})\ 294.30\text{ N}$  y dos de  $(35\text{ kg})\ 343.35\text{ N}$ , en ese orden de ascenso y descenso contrario.

Para la preparación del equipo ver (apartado 3.1.4) y considerar los siguientes valores.

La captura de datos se realizó con el LogBook/360 y el DBK-43A equipo antes mencionado con el mismo procedimiento descrito en los (apartados 3.1.5 y 3.1.6)

**Cuadro 3.3 Valores de voltaje para calibrar el torquímetro.**

SENSOR	CABLE	CANAL	VOLTAJE DE EXCITACIÓN	GAIN (V)	SCALING (V)
Torquímetro	Blanco-Amarillo	CH 1	9.5	4.5	4.5

En el (Anexo A) muestra el procedimiento para calibración de (TOE) y torquímetro en el equipo, utilizando la herramienta adecuada para realizar las corridas al cargar y descargar en la computadora.

### 3.1.7 Análisis de datos

Al terminar la adquisición de datos se obtiene un archivo con extensión (.txt) por cada variable a calibrar (Fuerza horizontal, Fuerza vertical y Torque), la misma se grafica con la aplicación *Excel* donde se obtiene una gráfica escalonada. Para su análisis de la manera siguiente:

Los datos obtenidos se encuentran en Volts ( $V$ ), las magnitudes son muy pequeñas, se convierten los datos a mili Volts ( $mV$ ), en caso de que los valores sean negativos se tomaran siempre los valores absolutos. Los primeros y últimos 400 datos representan la carga cero, por lo que deberá ser el voltaje cero, que se obtiene restando el valor del voltaje que representa la carga cero a todos los demás. De la gráfica generada se obtienen las medias de cada escalón en volts, Para cada repetición de la toma de datos de los sensores y así obtener un cuadro de contraste Newton vs. milivolts ( $N$  vs.  $mV$ ).

Una vez generado la cuadro ( $N$  vs.  $mV$ ) Se analiza con el software *Minitab* V17, para obtener la ecuación de calibración y la correlación existente.

En caso del torquímetro los datos se ordenaron de forma decreciente en  $kN.m^{-1}$  para posteriormente realizar el análisis de regresión de línea ajustada empleando *Minitab* V15.

### 3.1.8 Medidor de velocidad angular

Basado en la fórmula para la determinación de potencia, es preciso contar con dos valores para su cálculo, la magnitud del torque y la velocidad angular, se contaba solo con un medidor de torque por tanto fue necesario desarrollar un sensor para su medición.

Componentes empleados para la medición de la velocidad angular:

Un micro controlador HEF401068P, la hoja de datos se puede consultar en el (Anexo B). En los cuales se cargaron programas llamados *rebote cero* y *frecuencia* respectivamente.

Una compuerta lógica XOR, con la que se rectifican los valores digitales.

Un Sensor magnético tipo Hall DN6851 la hoja de datos se puede consultar en el (Anexo C).

(Anexo D) Circuito del sensor tipo hall modificada que también se utilizó en la sembradora El circuito está compuesto por: inverso, sensor, bloque de tres entradas, switch, dos resistencias de 100 ohms y led de color rojo.

En la (Figura 3.4) se muestran 4 imanes a 90 grados cada uno por revolución, montado en la flecha donde se encuentra la biela que trasmite la potencia al cincel oscilatorio, este interrumpe la señal del sensor magnético tipo Hall generando las señales digitales. Un display JHD162A en el que se visualiza la frecuencia a la que está girando la flecha.



Figura 3.4 a) Tarjeta medidor de pulsos y frecuencia, b) sensor magnético.

### 3.1.9 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

### 3.1.10. Calibración del sensor de combustible

Se realizó la calibración de los sensores de combustible para poder formular la constante de calibración para la conversión a (ml) 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 ml que se captaran en una probeta como lo muestra la (Figura 3.5).



Figura 3.5 Calibración de consumo de energía.

### 3.2 Fase de campo

En campo se llegaron a evaluar factores que afectan al consumo de energía, patinamiento y potencia. Combinando así la teoría de vibración, velocidad, profundidad de trabajo y amplitudes con un total de 22 repeticiones, 4 de ellas fue utilizando vibraciones con amplitud de 50 mm más 4 repeticiones con vibración y amplitud de 40 mm más 6 repeticiones de testigo 2 de ellas fueron utilizando aletas de 15 cm de ancho vibrando, 2 sin vibrar y 2 más sin aletas y sin vibrar, todas estas replicas se evaluaron a una profundidad de 0.30 m y a una misma velocidad 2ª Baja con 2000 rev/min y a una apertura de la válvula de inyección de aceite para hacer funcionar el motor hidráulico de 50% abierta para lo cual se incluyeron 8 réplicas mas pero con la válvula al 100% abierta que fueron 2 repeticiones para cada amplitud (50 y 40 ) mm vibrando con y sin aletas haciendo la suma de 8 réplicas para tener las 22 Repeticiones finales Los parámetros se muestran en el cuadro cada prueba se realizó a una longitud de 40 m de longitud lineal tomando 2000 datos con 20 Hz de frecuencia, dejando 1 m entre corrida y corrida. Con la idea de que se pudo haber disturbado si es menor la distancia entre cada corrida.

**Cuadro 3.4 Factores a evaluar con sus variables.**

Factor	Variable
Amplitud	50 mm
	40 mm
Frecuencia	8.75 Hz
	4 Hz
Profundidad	0.30 m
Velocidad	3.0 $km^*h^{-1}$

#### 3.2.1 Evaluación de los sensores

Una vez calibrado los sensores del equipo vibratorio se pospone a realizar las pruebas determinadas con dichos factores y variables. También se realizaron las mediciones en campo de las capas compactas y distancia de penetración de la misma con 4 pruebas de referencia a profundidad de 40 cm para esta prueba se

utilizó un carro-portasensores diseñado en el Departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN por López (2012) y Gutiérrez (2012) como se muestra en la (Figura 3.6)



**Figura 3.6 Carro Portasensores utilizado para identificación de las capas compactadas del suelo.**

En el (Anexo E) se muestran las partes que conforman el aparato de verificación de parámetros de funcionamiento en un subsolador vibratorio desde el tractor, sensores y equipo.

### **3.2.2 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 de 500 pulsos/ revolución y el otros para la llanta de bastidor de 64 pulsos/ revolución.

### **3.2.3 Chasis de 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.

### 3.2.4 Rediseño de bastidor en la rueda de patinaje

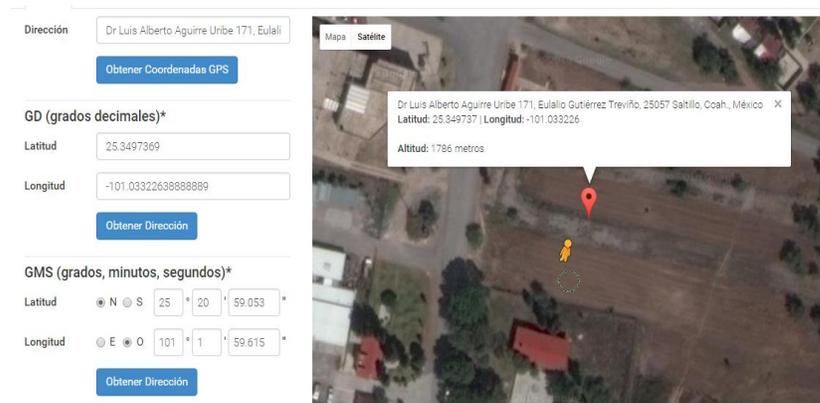
Se modificaron algunos detalles al bastidor usado anteriormente para pruebas de patinaje en tesis anteriores, Pérez (2014), principalmente se modificaron los brazos que van hacia la llanta acoplado diferentes elementos para agregarle catarinas y una cadena acoplado el encoder para que tenga menos movimiento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

En la (Figura 3.7) se muestra un rediseño del cambio en ruedas catarinas y el brazo que engancha la llanta para tener un mejor movimiento en suelo a la hora de trabajo.



**Figura 3.7 Rediseño de bastidor.**

E la (Figura 3.8) muestra lugar y coordenadas donde La investigación se realizó y fue dentro de la UAAAN a un costado del Departamento de Maquinaria Agrícola con dirección y coordenadas del lugar donde se realiza la primera evaluación con respecto a una frecuencia de 4 Hz y 5 arreglos.



**Figura 3.8 Vista aérea de la ubicación de trabajo en la UAAAN.**

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Calibración del octagonal

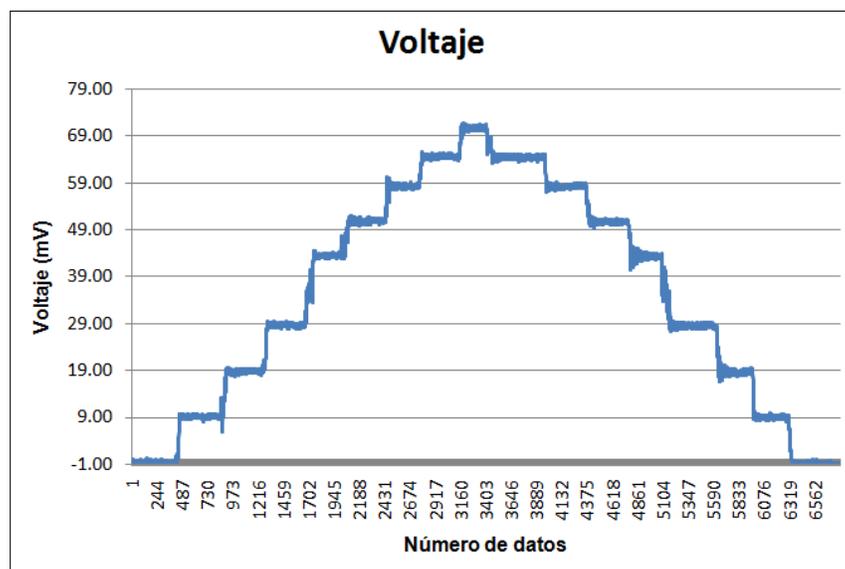
En la (Figura 4.1) se muestra los bastidores para calibración del TOE para determinar las constantes. En la (Figura 4.1a) se muestra el bastidor de calibración para determinar la constante para la fuerza horizontal (tiro) y en la (Figura 4.1b) se muestra el bastidor de calibración para determinar la constante de la fuerza vertical (penetración).



**Figura 4.1 a) posición cargas para determinar la constante en la fuerza horizontal. b) posición cargas para determinar la constante en la fuerza vertical.**

#### 4.1.1 Calibración del octagonal extendido para la fuerza horizontal

La (Figura 4.2) muestra la gráfica escalonada de voltajes generada al subir y bajar cada uno de los ocho pesos empleados para la calibración.



**Figura 4.2** Gráfica escalonada de voltajes ( $mV$ ) de la fuerza horizontal.

En el (Cuadro 4.1) se muestran las medias de los valores en  $mV$  de cada escalón generados por cada carga para determinar la ecuación de calibración.

**Cuadro 4.1** Relación de pesos contra medias de voltajes y sus 5 repeticiones de calibración.

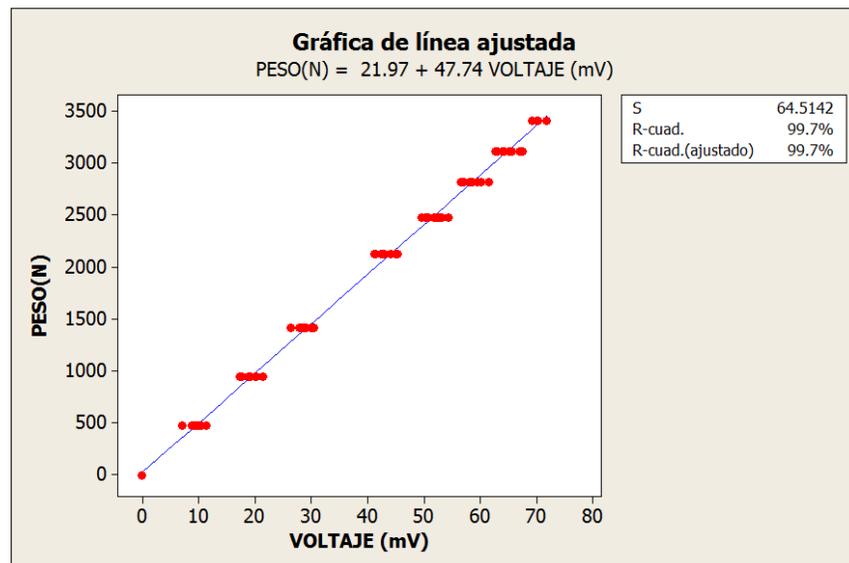
Peso ( $N$ )	R1 ( $mV$ )	R2 ( $mV$ )	R3 ( $mV$ )	R4 ( $mV$ )	R5 ( $mV$ )
470.88	8.8	9.3	9.4	10.4	10.0
941.76	17.7	17.5	17.4	20.1	17.7
1412.64	28.8	26.4	28.6	30.0	29.9
2128.77	41.4	41.2	45.0	42.9	42.4
2472.12	52.5	50.2	51.7	52.0	49.6
2815.47	58.1	56.6	56.6	58.0	57.0
3109.77	62.6	62.8	63.0	67.0	63.8
3404.07	71.7	69.1	71.8	70.0	70.2
3109.77	65.6	64.2	65.4	65.1	67.4
2815.47	59.5	58.2	60.1	61.5	58.6
2472.12	52.8	50.8	52.4	54.3	53.1
2128.77	45.0	44.1	45.3	45.1	45.0
1412.64	29.9	27.9	29.1	30.5	28.2
941.76	18.8	19.2	17.5	21.5	20.3
470.88	11.3	10.0	7.1	10.5	9.9

El (Cuadro 4.2) muestra el análisis de varianza de la regresión para obtener el valor de la constante de calibración de la fuerza horizontal. El valor de las constante fue de  $47.74 mV N^{-1}$  con un coeficiente de correlación de 99.7 %.

**Cuadro 4.2 Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerza (Fx).**

Ecuación de regresión					
PESO(N) = 21.97 + 47.74 VOLTAJE (mV)					
S = 64.5142 R-cuad. = 99.7% R-cuad.(ajustado) = 99.7%					
Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	104445187	104445187	25094.44	0
Error	83	345453	4162		
Total	84	104790640			

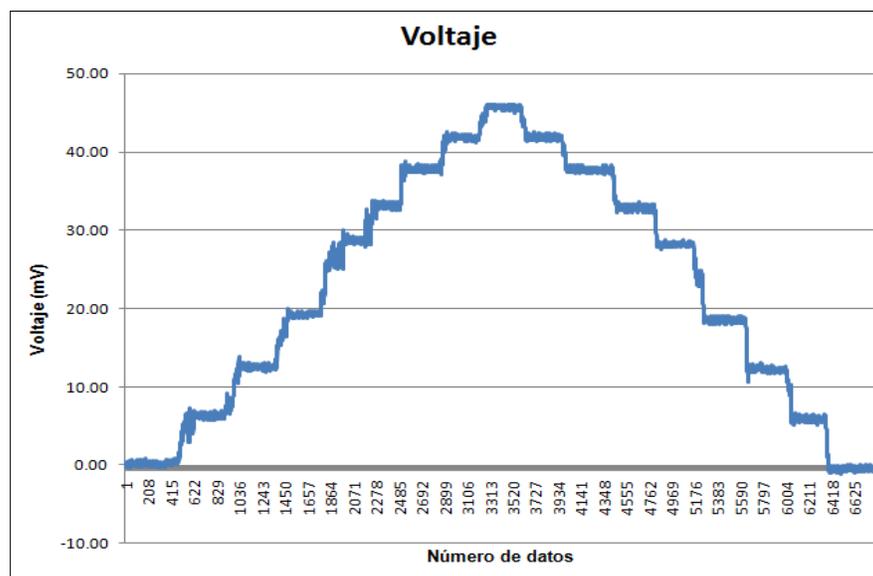
En la (Figura 4.3) se muestra la ecuación de regresión con la constante mencionada de  $47.74 \text{ mV} \cdot \text{N}^{-1}$ .



**Figura 4.3 Gráfica de línea ajustada y ecuación de respuesta.**

#### 4.1.2 Calibración del octagonal extendido para la fuerza vertical

La (Figura 4.4) muestra la gráfica escalonada de voltajes generada al subir y bajar cada uno de los ocho pesos empleados para la calibración en la fuerza vertical.



**Figura 4.4 Gráfica escalonada de voltaje ( $mV$ ) del eje vertical.**

En el (Cuadro 4.3) se muestran las medias de los valores en  $mV$  de cada escalón generados por cada carga para determinar la ecuación de la fuerza vertical.

**Cuadro 4.3 Relación de peso contra medias de voltaje con 5 repeticiones.**

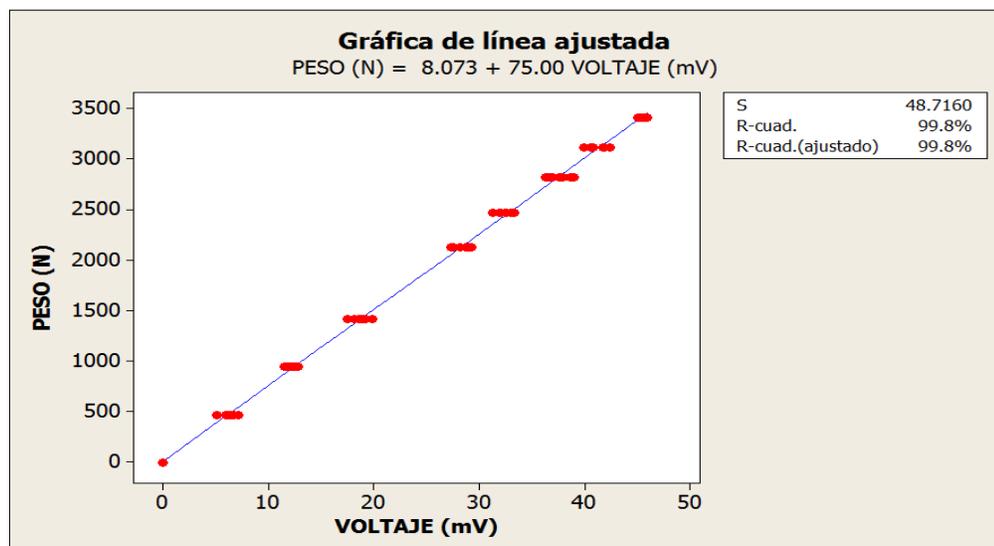
Peso ( $N$ )	R1 ( $mV$ )	R2 ( $mV$ )	R3 ( $mV$ )	R4 ( $mV$ )	R5 ( $mV$ )
470.88	6.6	6.0	6.7	5.1	6.7
941.76	11.6	12.5	11.6	12.2	11.9
1412.64	18.9	18.2	18.8	19.0	17.5
2128.77	28.7	27.3	27.6	28.7	28.9
2472.12	33.3	33.0	32.0	31.3	32.6
2815.47	36.3	36.6	36.9	37.9	36.3
3109.77	41.9	40.6	40.6	39.9	41.9
3404.07	45.0	45.3	45.9	45.5	45.6
3109.77	40.8	41.8	42.4	41.7	41.9
2815.47	36.8	38.6	37.8	37.6	39.0
2472.12	33.1	31.9	33.0	33.3	32.5
2128.77	27.3	29.0	29.3	29.2	28.2
1412.64	19.1	19.2	18.6	19.9	19.0
941.76	11.5	12.8	12.7	12.7	12.2
470.88	6.6	6.0	6.1	7.2	6.4

En el (Cuadro 4.4) se muestra el análisis de varianza de la regresión para obtener el valor de la constante de calibración de la fuerza vertical. El valor de la constante fue de  $75.00 mV \cdot N^{-1}$  con un coeficiente de correlación de 99.8 %.

**Cuadro 4.4 Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerzas (Fy).**

Ecuación de regresión					
PESO(N) = 8.073 + 75.00 VOLTAJE(mV)					
S = 48.7160 R-cuad. = 99.8% R-cuad.(ajustado) = 99.8%					
Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	104593660	104790640	44071.88	0.000
Error	83	196980	2373		
Total	84	104790640			

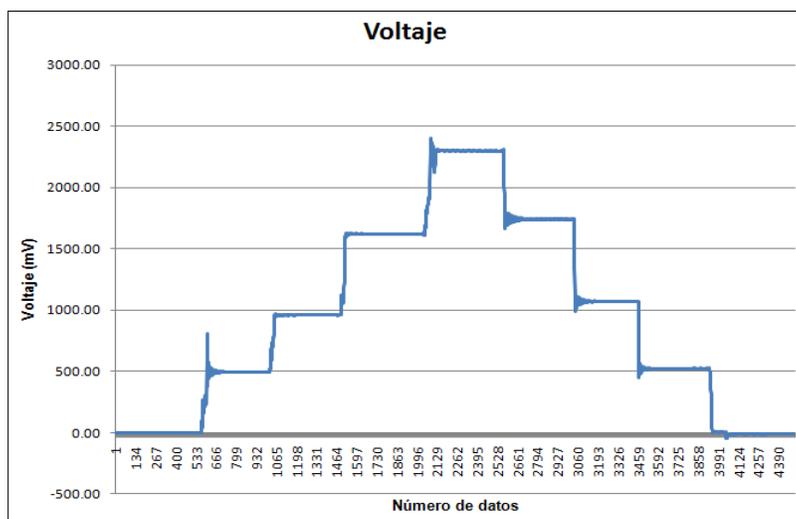
En la (Figura 4.5) se muestra la ecuación de regresión con la constante mencionada de 75.00  $mV N^{-1}$ .



**Figura 4.5 Gráfica de línea ajustada y ecuación de respuesta.**

### 4.1.3 Calibración de torquímetro

En la (Figura 4.6) se puede observar la deformación en ( $mV$ ) generada a partir del ascenso y descenso de cuatro pesos con un brazo de palanca de  $0.85m$ .



**Figura 4.6 Gráfica escalonada generada con voltajes  $mV$  del torquímetro.**

El (Cuadro 4.5) se muestra la magnitud del esfuerzo de torsión ( $N \cdot m$ ), que genero la deformación, versus el valor medio del voltaje ( $mV$ ) censado con cinco repeticiones de calibración.

**Cuadro 4.5 Torque ( $Nm$ ) vs. Voltaje ( $mV$ ) para el torquímetro.**

Fuerza ( $Nm$ )	R1 ( $mV$ )	R2 ( $mV$ )	R3 ( $mV$ )	R4 ( $mV$ )	R5 ( $mV$ )
191.3	386.7	348.5	418.0	282.4	399.6
250.2	544.4	486.3	569.3	497.9	522.5
382.6	803.2	708.8	827.2	700.5	780.8
500.3	1069.0	993.5	1088.1	961.9	1073.0
605.8	1301.4	1209.7	1350.6	1209.6	1332.9
792.2	1778.5	1686.7	1793.8	1617.9	1742.3
828.9	1785.9	1703.1	1689.0	1717.5	1704.8
1084.0	2226.3	2320.1	2324.8	2284.4	2294.2
792.2	1605.4	1733.4	1660.6	1737.4	1688.9
605.8	1277.0	1448.8	1204.1	1315.5	1218.7
500.3	939.5	1039.8	1030.1	1057.6	980.6
382.6	779.0	930.8	707.1	796.1	700.1
250.2	397.8	498.4	443.7	500.7	456.1
191.3	446.8	500.2	277.6	364.2	268.3

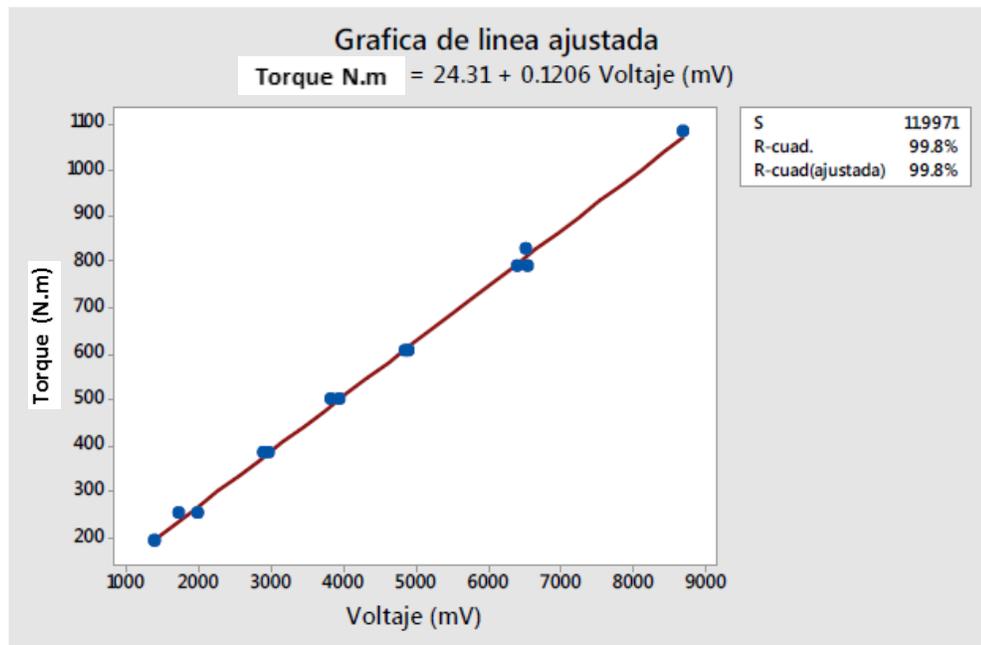
En el (Cuadro 4.6) se muestra la ecuación de calibración y el análisis de varianza de la regresión para el torque, con dos brazos de palanca (0.65 y 0.85)  $m$  con los cuatro

pesos aplicados. El valor de la constante fue de  $0.1206 \text{ mV Nm}^{-1}$  con un coeficiente de correlación 98.8 %.

**Cuadro 4.6 Datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerzas de torque.**

Ecuación de regresión					
Fuerza ( Nm ) = 24.31 + 0.1206 VOLTAJE ( mV )					
S = 29.1479 R-cuad. = 99.8% R-cuad.(ajustado) = 99.8%					
Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	974471	974471	6770.43	0.000
Error	12	1727	144		
Total	13	976198			

En la (Figura 4.7) se muestra la ecuación de regresión con la constante mencionada de  $0.1206 \text{ mV Nm}^{-1}$ .



**Figura 4.7 Gráfica de línea ajustada y ecuación de respuesta**

#### 4.1.4 Calibración del sensor de velocidad

Para calcular la velocidad angular con la que gira la flecha que transmite la vibración, fue necesario barrenar la flecha para colocar 4 imanes por revolución. La calibración consistió en mandar una cantidad de pulsos y verificar que la pantalla LCD registrara

la misma cantidad de pulsos enviados, con la verificación del sensor magnético tipo Hall, se calibraron a dos aperturas de la válvula controlando así el flujo de aceite y obtener una mayor velocidad en rev/min como se muestra en el (Cuadro 4.7).

**Cuadro 4.7 Calibración del sensor de velocidad empleando tres diferentes aperturas a la válvula y 4 imanes por revolución.**

Apertura de válvula %	# de pulsos	Tiempo de retardo (seg)	Imanes /revolución	Frecuencia (Hz)	rev/min
100	175	5	4	8.75	524
50	80	5	4	4	240

En la (Figura 4.8) se muestra la posición de apertura de válvula a 5 la cual se abrió más una vez que se terminaron las pruebas para frecuencias de (4 a 8.7) Hz.



**Figura 4.8 Válvula reguladora de flujo de aceite (0, 5, 7,100) %.**

## 4.2 Pruebas de campo

Las pruebas realizadas se dividieron en dos partes la primera fue ubicada a un costado del departamento de maquinaria dentro de la UAAAN, evaluando 2 amplitudes con válvula 50% de abertura de flujo que es igual a (4 Hz). Ubicado en Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe 171, Eulalio Gutiérrez Treviño, 25057 Saltillo Coah, México Latitud: 25° 34' 97" Longitud: 101° 03' 32" Altitud: 1786 -msnm.

Y la segunda parte se realizó en el campo experimental de la UAAAN "el bajío" ubicado 25° 21.52" N y 101° 50" O y a 1740.5 msnm y un suelo franco arcilloso. Evaluando las mismas amplitudes y una abertura de flujo a 100% que es igual a (8.75 Hz).

### 4.2.1 Constante para la determinación de potencia

(Cantorio y Montalvo, 2016) en el siguiente (Cuadro 4.8) muestran los valores de calibración para la fuerza horizontal y vertical que se utilizara, la misma para este trabajo de investigación.

**Cuadro 4.8 Voltajes de calibración para el TOE.**

SENSOR	CABLE	CANAL	VOLTAJE DE EXCITACIÓN	GAIN (V)	SCALING (V)
Octagonal	Negro- Azul (Fy)	CH 5	5.5	4.5	4.5
	Negro- Verde(Fx)	CH 6	5.5	4.5	4.5

Para la calibración del torque se muestra en el (Cuadro 4.9) donde los valores de voltaje son de 2.5 por (Cantorio y Montalvo, 2016) con una constante de 0.1206 mV N.m<sup>-1</sup>

**Cuadro 4.9 Voltajes de calibración para el torquímetro.**

SENSOR	CABLE	CANAL	VOLTAJE DE EXCITACIÓN	GAIN (V)	SCALING (V)
Torquímetro	Blanco-Amarillo (T)	CH 1	9.5	2.5	2.5

Las pruebas que se realizaron en este periodo para los valores de calibración del octagonal fueron las mismas y para el torque cambio de 4.5 V (GAIN) y 4.5 V (SCALING) que equivale a 20.25 ganancia de proporción lo que es equivalente a  $20.25/6.25 = 3.24$  con valor de incremento, para la determinación de la constante de calibración para el torque se divide la contante proporcionada por (Cantorio y Montalvo., 2016) entre el valor de 3.24 es decir a  $0.1206/3.24$  y da como resultado el valor de la constante de calibración que es de  $0.0372 mV(Nm)^{-1}$

#### **4.2.2 Frecuencia determinada por la válvula reguladora de flujo**

Para la válvula con un flujo de paso 5 se determinó un promedio de pulsos acumulados de 80 que se divide en un tiempo de 5 segundos de retardo con un resultado de 16 pulsos/segundo para su obtención de velocidad angular se divide entre el número de imanes en este caso son 4 imanes lo que es equivalente a 25.13 rad/segundo y para el paso de válvula que fue 10 su promedio fue de 175 pulsos en 5 segundos, a su resultado de 35 pulsos/segundo equivalente a 54.97 rad/segundo.

#### **4.3 Resultados de las fuerzas aplicadas con la frecuencia de (4 Hz) separando los datos positivos de los negativos que demandan.**

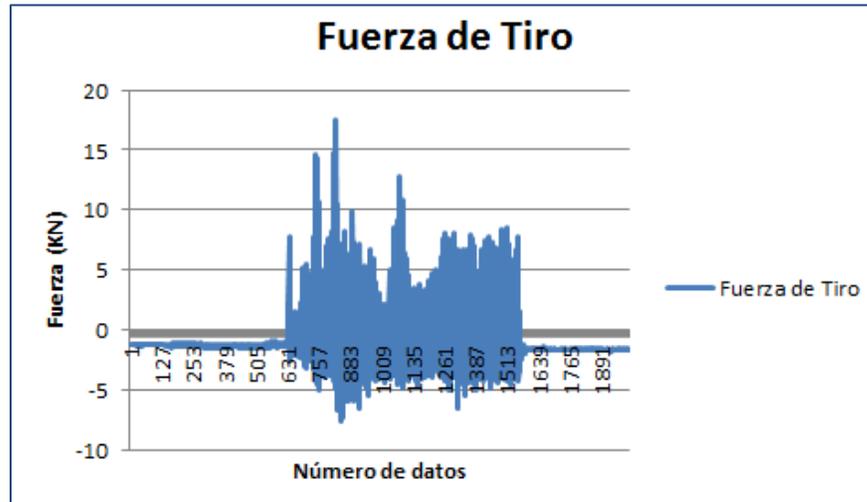
El análisis mostrado en los siguientes cuadros se hace para separar los valores de impacto tomando solamente los datos positivos ya que solo determinaran fuerzas de tiro, fuerzas de penetración y torque del ciclo de trabajo.

En la (Figura 4.9 y 4.10) se muestran la manipulación de los datos en Excel para separar la parte de trabajo efectivo que sería el corte separando con la parte de retorno que no realiza ningún laboreo de suelo.

Para la separación de datos fue necesario trasladar la gráfica a 0, para poder separar los datos como se muestra

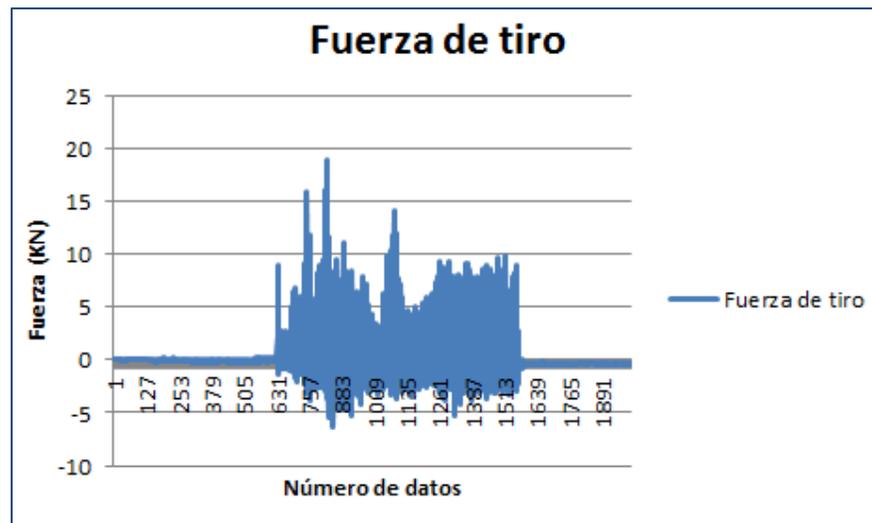
En el (Anexo F) se explica la forma de convertir los datos obtenidos mediante la computadora multiplicanda por su constante y dejarlas en fuerzas, separando los datos positivos y negativos y la forma de trasladar la gráfica a cero.

En la (Figura 4.9) muestra la gráfica la cual ejercen fuerzas positivas y negativas que para su mejor manejo se tomaran los datos positivos que es donde hace impacto el cincel.



**Figura 4.9 Gráfica de la fuerza de tiro con datos positivos y negativos.**

En la (Figura 4.10) se muestra la gráfica trasladada a cero cuando los datos positivos serán separados de los negativos

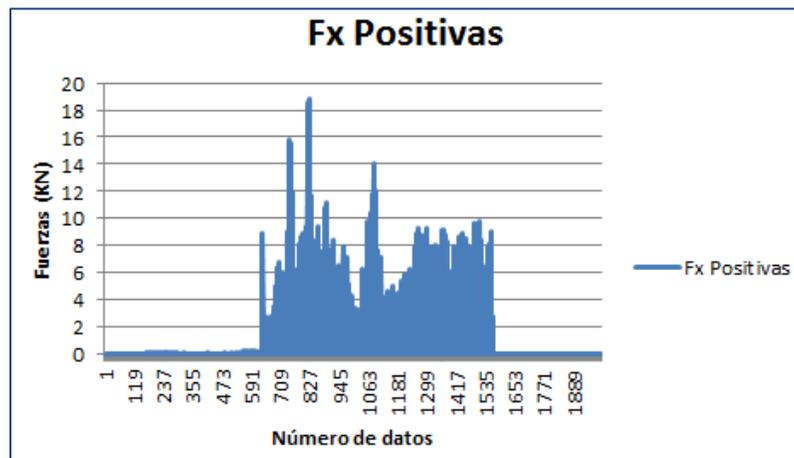


**Figura 4.10 Gráfica de fuerza de tiro trasladada a cero.**

Continuando con el proceso se muestra la fórmula que se utilizó para analizar los datos positivos basándose a la función =SI(C3>0, C3\*1, C3\*0).

La serie de pasos que se realizaron anteriormente, se llevara a cabo en cada una de las fuerzas tanto horizontal, vertical y el torque dando como resultado las fuerzas ejercidas haciendo comparación entre ellas en el (Anexo G) se muestran las gráficas de cada arreglo para su comparación.

En la (Figura 4.11) muestra la gráfica llevada acero y con los datos positivos listos para analizar en el programa Matlab.



**Figura 4.11 Análisis en la fuerza horizontal positivas.**

#### 4.3.1 Análisis para el arreglo (A50VSA) con una frecuencia de 4 Hz

En el cuadro (4.10) muestra una media de 4 repeticiones analizadas para obtención de la fuerza de tiro, fuerza de penetración y torque. el valor de velocidad de trabajo Para la obtención de la potencia es 3 km/h (0.8333 m/s), con frecuencia (4 Hz) 25.13 rad/s para el torque. A una misma profundidad de trabajo (0.30 m).

**Cuadro 4.10 Arreglo para (A50VSA) con respectivas fuerzas y potencias.**

Arreglo	V. Medias (kN)	V. Espectro (kN)	V.M +V. E (kN)	Potencia (kW)
A50VSA(Fx)	1.53	1.99	3.52	2.93
A50VSA(Fy)	3.91	1.97	5.88	4.90
A50VSA(T)	0.0193	0.0204	0.0397	0.9975

Se analizan los arreglos de referencia (A50VCA), (A50NVCA) y (A50NVSA).

Con la finalidad de un contraste, al montarle aletas al cincel con resultados de una mejor disturbación en el suelo, comparado a uno que no cuente con aletas así mismo la verificación que demanda en potencia y fuerzas ejercidas en cada una de ellas.

En el (Cuadro 4.11) se muestra el arreglo A50VCA la cual se obtienen los valores de las medias y valores espectrales realizados en el software de Matlab sumando cada uno de ellos y multiplicando por su velocidad de trabajo (0.8333 m/s) para obtener su potencia requerida en cada uno de su posición.

**Cuadro 4.11 Arreglo para (A50VCA) con una frecuencia de 4 Hz.**

Arreglo	V. Medias (kN)	V. Espectro (kN)	V.M +V. E (kN)	Potencia (kW)
<b>A50VCA(Fx)</b>	5.16	1.18	<b>6.33</b>	<b>5.27</b>
<b>A50VCA(Fy)</b>	3.75	2.87	<b>6.62</b>	<b>5.52</b>
<b>A50VCA(T)</b>	0.0356	0.0325	0.0681	<b>1.71</b>

En el (Cuadro 4.12 y 4.13) se muestran los arreglos (A50NVCA y A50NVSA) la cual se obtienen los valores de las medias y valores espectrales realizados en el software de Matlab sumando cada uno de ellos y multiplicando por su velocidad de trabajo (0.8333 m/s) para obtener su potencia en fuerza de tiro y fuerza vertical puesto que no ejerce torque a medida que no tiene vibración.

**Cuadro 4.12 Arreglo para (A50NVCA) con una frecuencia de 4 Hz.**

Arreglo	V. Medias (kN)	V. Espectro (kN)	V.M +V. E (kN)	Potencia (kW)
<b>A50NVCA(Fx)</b>	7.51	0.90	<b>8.41</b>	<b>7.01</b>
<b>A50NVCA(Fy)</b>	6.45	0.95	<b>7.40</b>	<b>6.17</b>

**Cuadro 4.13 Arreglo para (A50NVSA) con una frecuencia de 4 Hz.**

Arreglo	V. Medias (kN)	V. Espectro (kN)	V.M +V. E (kN)	Potencia (kW)
<b>A50NVSA(Fx)</b>	5.90	0.8239	<b>6.72</b>	<b>5.60</b>
<b>A50NVSA(Fy)</b>	6.01	0.7595	<b>6.78</b>	<b>5.65</b>

En la (Figura 4.12) se compara las fuerzas de tiro vibrando con aletas y vibrando sin aletas para la misma amplitud y con un paso de flujo al 50 % que equivale al 25.13 rad/s (4 Hz).

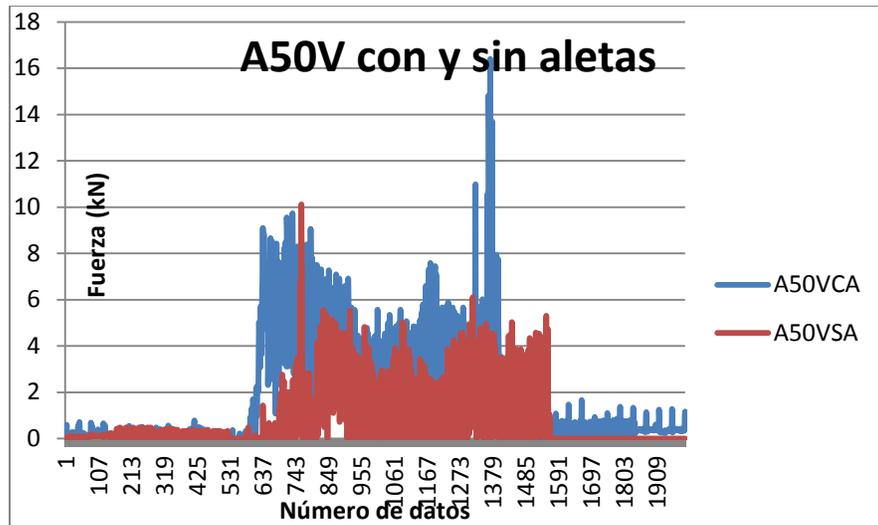


Figura 4.12 Arreglo A50V con y sin aletas.

En la (Figura 4.13) se compara las fuerzas de tiro no vibrando sin aletas y no vibrando con aletas, para la misma amplitud con un paso de flujo al 50 % que equivale al 25.13 rad/s (4 Hz).

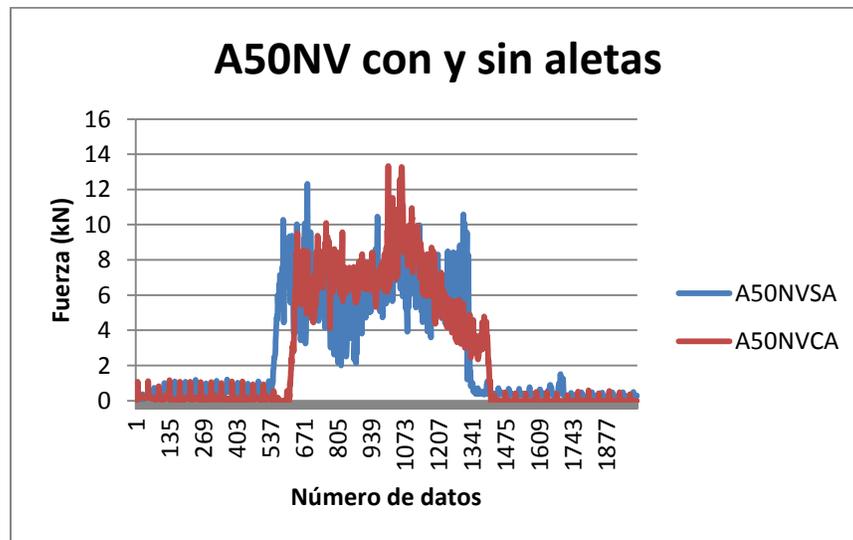


Figura 4.13 Arreglo A50NV con y sin aletas.

En la (Figura 3.14) se muestran las gráficas de amplitud 50 mm con 2 arreglos vibrando con y sin aletas, también 2 arreglos no vibrando con y sin aletas.

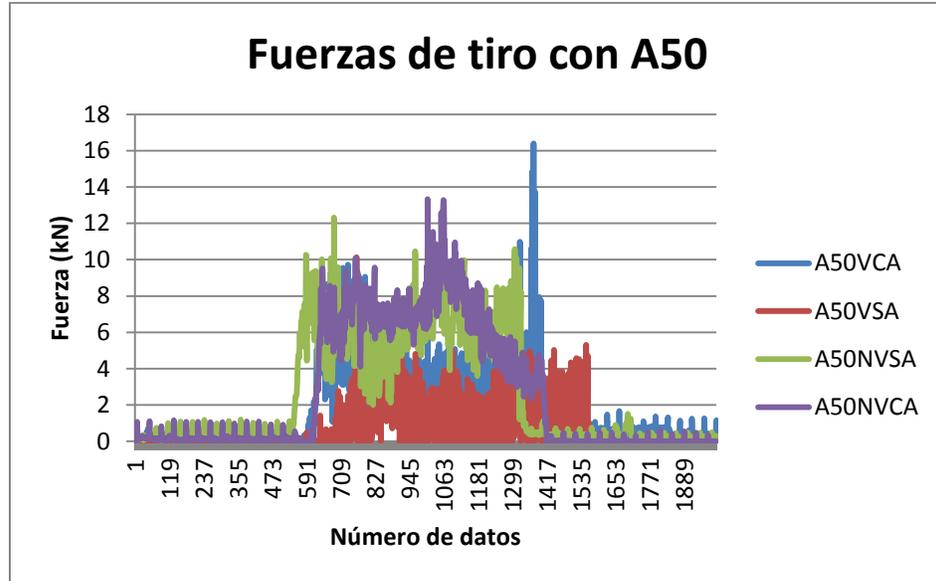


Figura 4.14 Fuerzas de tiro vibrando y no vibrando son y sin aletas.

#### 4.3.2 Análisis para el arreglo de (A40VSA) con una frecuencia de 4 Hz

En el (Cuadro 4.14) se analiza el arreglo con amplitud de 40 mm misma profundidad y mismos parámetros a los ya mencionados anteriormente con diferencia que no cuenta con aletas.

Cuadro 4.14 Arreglo para (A40VSA) con una frecuencia de 4Hz.

Arreglo	V. Medias (kN)	V. Espectro (kN)	V.M +V. E (kN)	Potencia (kW)
A40VSA(Fx)	3.84	0.7430	4.58	3.82
A40VSA(Fy)	2.22	1.26	3.48	2.90
A40VSA(T)	0.0135	0.0136	0.0272	0.6825

En la (Figura 4.15) muestra la amplitud (50 y 40) mm donde ejercen fuerza de tiro para ambas como resultado la de amplitud 50 mm ejerce menos fuerza.

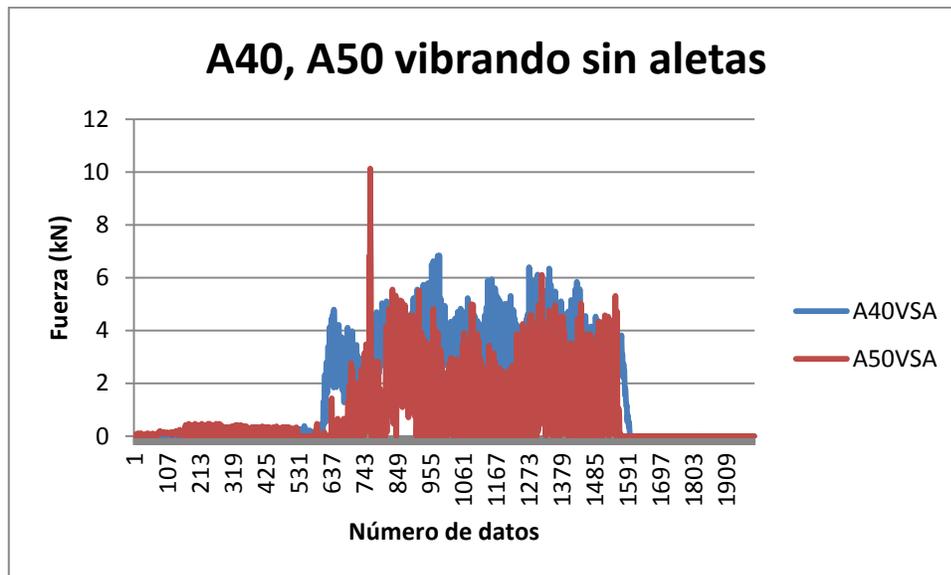


Figura 4.15 Arreglo para las amplitudes (50 y 40) vibrando y sin aletas.

#### 4.3.3 Fuerzas finales para cada arreglo y potencia del torque

En el (Cuadro 4.15) se muestran las fuerzas finales determinadas por cada arreglo en función de la fuerza de tiro, fuerza de penetración y potencia en el torque

**Cuadro 4.15 Fuerzas finales para cada arreglo posición  $f_x$  y  $f_y$  y potencia en el torque.**

Amplitud	Fuerza de tiro (kW)	Fuerza de penetración (kW)	Torque (kW)
A50VSA	<b>3.53</b>	<b>5.88</b>	<b>0.9975</b>
A50NVCA	<b>8.42</b>	<b>7.40</b>	<b>0</b>
A50NVSA	<b>6.73</b>	<b>6.78</b>	<b>0</b>
A50VCA	<b>6.33</b>	<b>6.62</b>	<b>1.71</b>
A40VSA	<b>4.58</b>	<b>3.48</b>	<b>0.6825</b>

Para los arreglos (A50NVCA y A50NVSA) el momento es cero mismo que no tiene oscilación con el cincel.

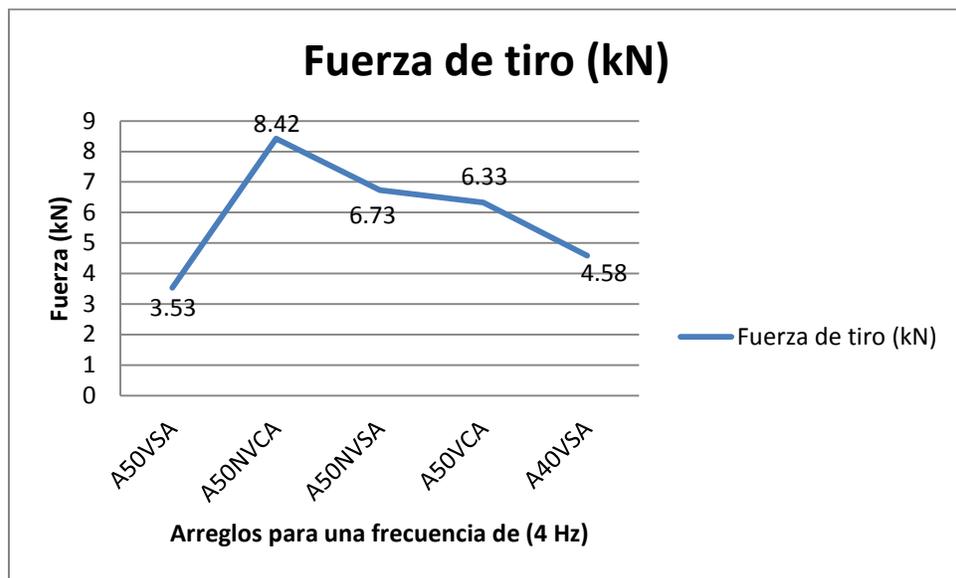
#### 4.3.4 Resultados de los análisis para la potencia de cada arreglo

Como se muestra en el siguiente (Cuadro 4.16) se presenta la fuerza resultante de la suma de ( $F_x + F_y$ ) multiplicada por la velocidad de trabajo para obtención de su potencia más la potencia del torque ejercida en cada una de ellas.

**Cuadro 4.16 Resultados de las potencias en (kW).**

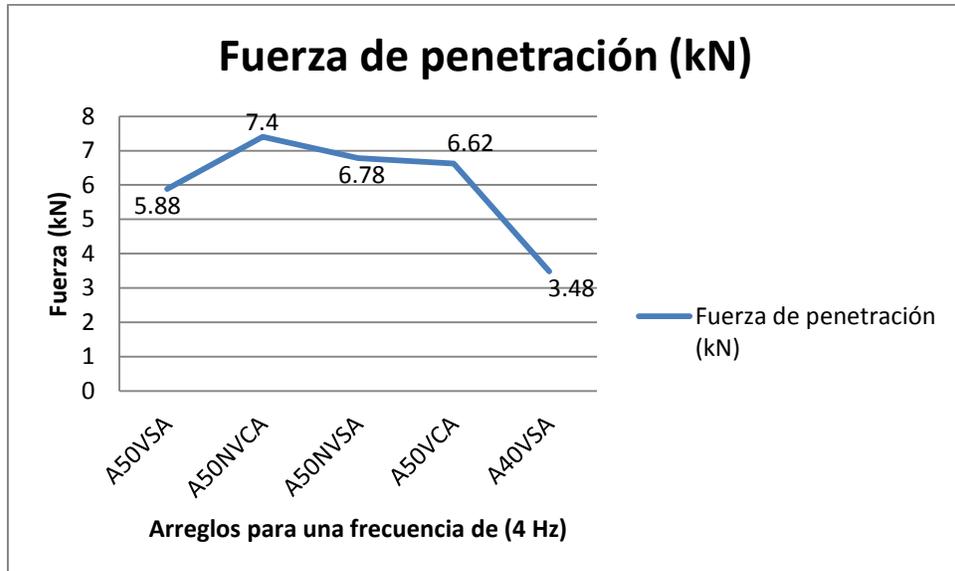
Arreglo	Potencia( $F_x+F_y$ ) kW	Torque (kW)	Potencia requerida (kW)
A50VSA	5.71	0.9975	6.70
A50NVCA	9.33	0	9.33
A50NVSA	7.95	0	7.95
A50VCA	7.63	1.71	9.34
A40VSA	4.80	0.6825	5.48

En la (Figura 4.16) se grafica las fuerzas de tiro que se ejercieron mediante la labor de labranza vibratoria con una frecuencia de 4 Hz y una velocidad de avance a 3  $\text{km.h}^{-1}$



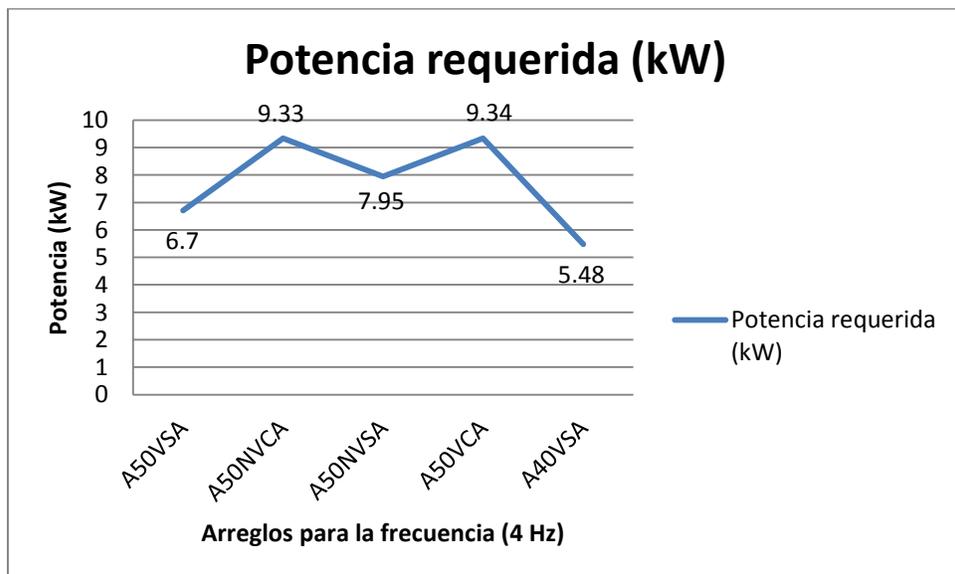
**Figura 4.16 Gráfica de las fuerzas de tiro por arreglo.**

En la (Figura 4.17) se muestra una gráfica de la fuerza de penetración demandada por cada arreglo.



**Figura 4.17 Gráfica de las fuerza de penetración por arreglo.**

Por último se muestra en la (Figura 4.18) la potencia requerida al oscilar un cincel vibratorio que tiene como finalidad remover lo más mínimo.



**Figura 4.18 Gráfica de la potencia requerida para cada arreglo con una frecuencia de 4 Hz y con 2000 rev/min.**

#### 4.4 Análisis para la amplitud (40 y 50) mm con aletas y sin aletas 2 repeticiones por arreglo con una frecuencia de 8.75 Hz

El análisis para los arreglos con frecuencia de 8.75 Hz (54.97 rad/s) se utilizó aletas en cada una de ellas. Se realizó 2 réplicas por cada arreglo con y sin aletas.

En el (Cuadro 4.17) muestra el arreglo para (A50VCA), obteniendo los valores de las medias y el valor espectral en cada posición que una vez obtenido su fuerza con la suma de ambos valores se multiplica por su velocidad las fuerzas por (0.8333 m/s) y para el torque por su velocidad angular (54.97 rad/s) y obtener la potencia requerida en cada arreglo.

**Cuadro 4.17 Arreglo para (A50VCA) vibrando y con aleta con una frecuencia de 8.75 Hz.**

Arreglo	V. Medias (kN)	V. Espectro (kN)	V.M +V. E (kN)	Potencia (kW)
A50VCA(Fx)	5.72	2.43	8.15	6.79
A50VCA(Fy)	2.78	1.67	4.44	3.70
A50VCA(T)	0.0619	0.0260	0.0880	4.84

Para el (Cuadro 4.18) como se muestra enseguida se suman nuevamente los valores obtenidos (medias + espectrales) multiplicados por su velocidad de trabajo (0.8333 m/s) para obtener su potencia con dicha diferencia que el arreglo es vibrando, pero sin aletas.

**Cuadro 4.18 Arreglo para (A50VSA) vibrando y sin aleta con una frecuencia de 8.75 Hz.**

Arreglo	V. Medias (kN)	V. Espectro (kN)	V.M +V. E (kN)	Potencia (kW)
A50VSA(Fx)	5.49	1.95	7.45	6.20
A50VSA(Fy)	5.04	2.68	7.71	6.42
A50VSA(T)	0.0748	0.0160	0.0908	4.99

En el siguiente (Cuadro 4.19) se analiza la amplitud 40 mm respectivamente para la fuerza horizontal, fuerza vertical y torque el primer arreglo cuenta con aletas y para el segundo arreglo se analiza sin aletas.

**Cuadro 4.19 Arreglo para (A40VCA) con una frecuencia de 8.75 Hz**

Arreglo	V. Medias (kN)	V. Espectro (kN)	V.M +V. E (kN)	Potencia (kW)
<b>A40VCA(Fx)</b>	8.80	1.33	<b>10.13</b>	<b>8.44</b>
<b>A40VCA(Fy)</b>	2.58	2.29	<b>4.87</b>	<b>4.06</b>
<b>A40VCA(T)</b>	0.0282	0.0208	0.0490	<b>2.69</b>

Para el (Cuadro 4.20) el arreglo de (A40VSA) se hace suma de sus valores medias como espectrales y multiplicando por su velocidad de trabajo para obtener su potencia en cada posición.

**Cuadro 4.20 Arreglo para (A40VSA) con una frecuencia de 8.75 Hz.**

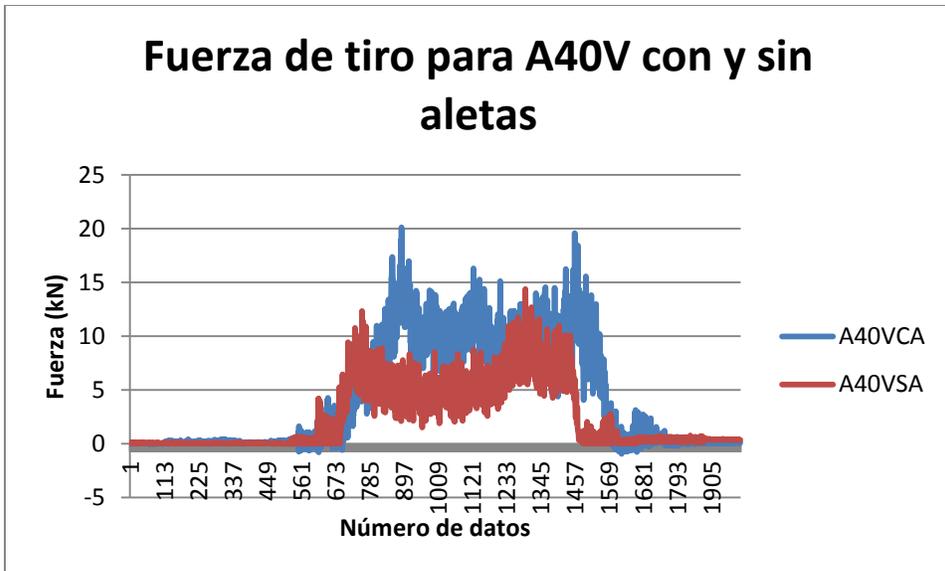
Arreglo	V. Medias (kN)	V. Espectro (kN)	V.M +V. E (kN)	Potencia (kW)
<b>A40VSA(Fx)</b>	4.37	1.15	<b>5.52</b>	<b>4.60</b>
<b>A40VSA(Fy)</b>	4.08	1.53	<b>5.61</b>	<b>4.67</b>
<b>A40VSA(T)</b>	0.0195	0.0128	0.0323	<b>1.77</b>

En la (Figura 4.19) se compara las fuerzas de tiro vibrando, con aletas y sin aletas para la misma amplitud y con un paso de flujo al 100% que equivale al 54.97 rad/s (8.75 Hz).



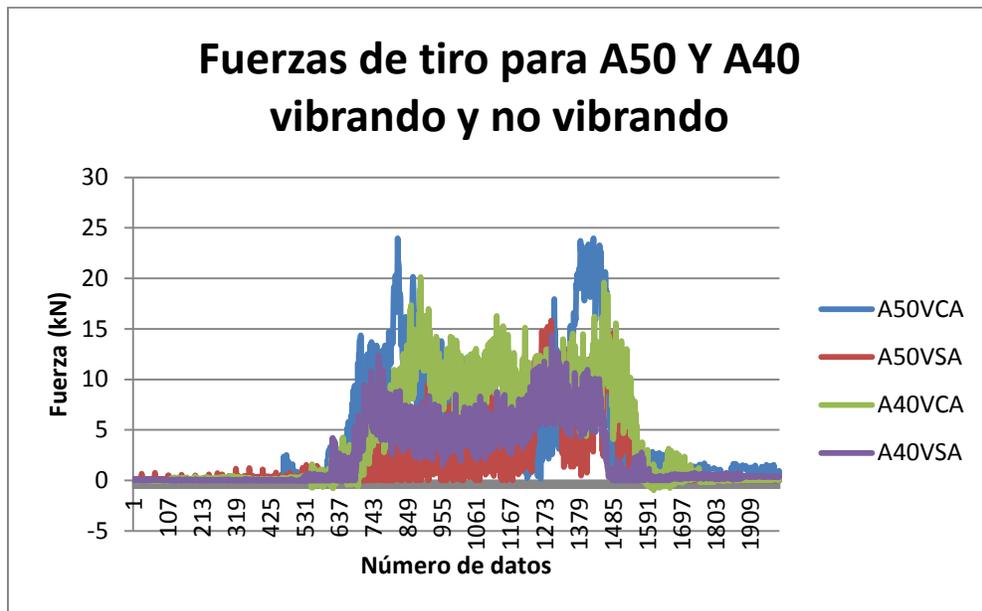
**Figura 4.19** Fuerza de tiro para los arreglos A50V con aletas y sin aletas.

En la (Figura 4.20) se compara las fuerzas de tiro con amplitud 40 mm con y sin aletas.



**Figura 4.20** Fuerza de tiro para los arreglos A40V con y sin aletas.

Para la (Figura 4.21) se muestran los 4 arreglos con 2 amplitudes vibrando y no vibrando con aletas y sin aletas.



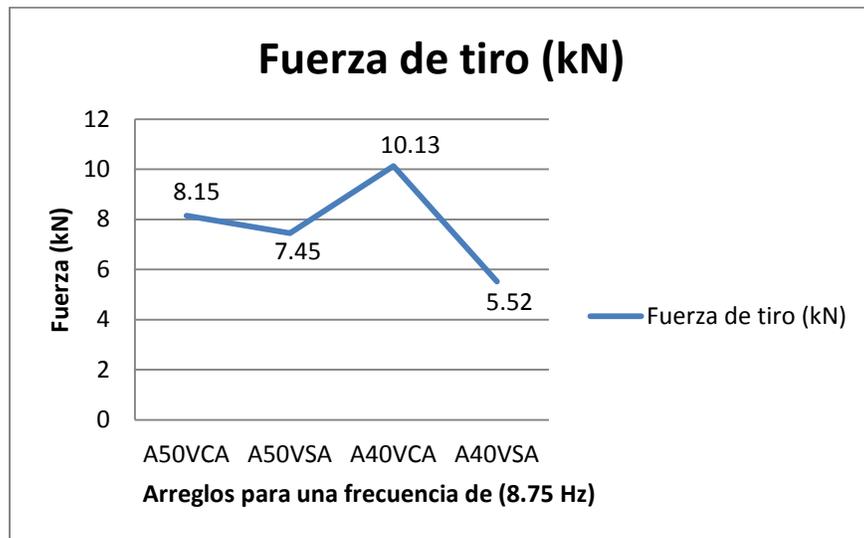
**Figura 4.21 Fuerzas para ambas amplitudes usando aletas y sin aletas.**

En el (Cuadro 4.21) se muestra los resultados en las fuerzas de tiro y fuerzas de penetración, como también la potencia en el torque para cada arreglo con aletas y sin aletas con 2 amplitudes.

**Cuadro 4.21 Fuerzas finales para cada arreglo**

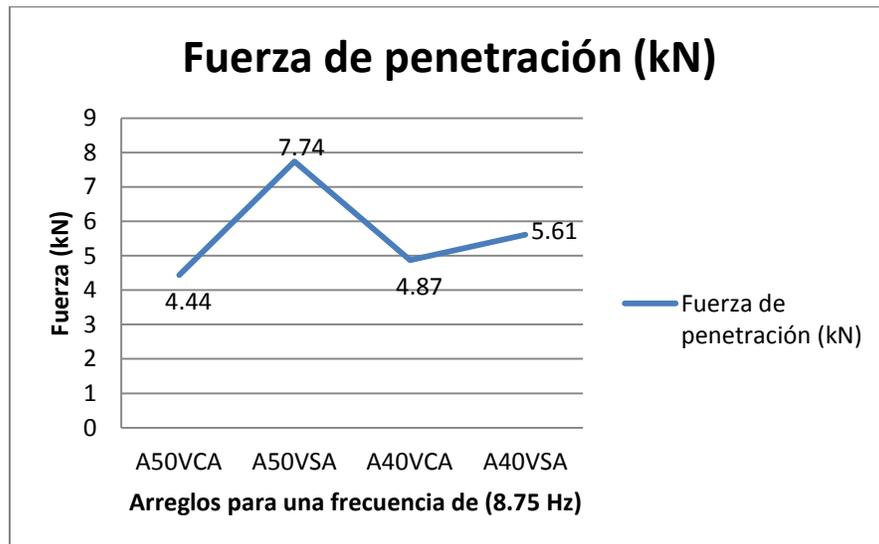
Amplitud	Fuerza de tiro (kN)	Fuerza de penetración (kN)	Torque (kW)
A50VCA	8.15	4.44	4.84
A50VSA	7.45	7.74	4.99
A40VCA	10.13	4.87	2.69
A40VSA	5.52	5.61	1.77

En la (Figura 4.22) se muestra una gráfica de resultados con respecto a las fuerzas de tiro por cada arreglo y con la frecuencia de 8.75 Hz (54.97 rad/s).



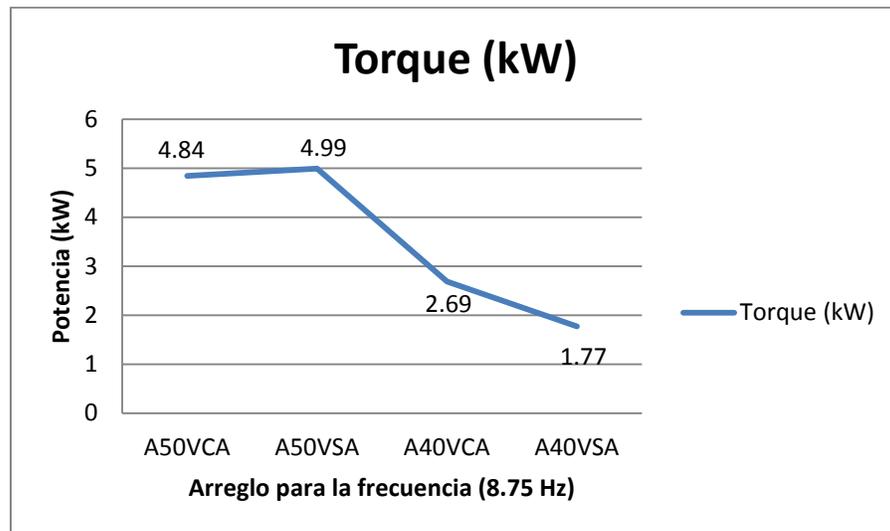
**Figura 4.22 Gráfica de fuerza de tiro por arreglo.**

En la (Figura 4.23) se obtiene una gráfica donde se muestra las fuerzas ejercidas con respecto a la penetración del cincel al suelo con una frecuencia de 8.75 Hz.



**Figura 4.23 Fuerza de penetración por arreglo.**

En la (Figura 4.24) se muestra mediante una gráfica los valores obtenidos con respecto a la potencia requerida por cada arreglo con frecuencia 8.75 Hz.



**Figura 4.24 Potencia por arreglo con una frecuencia utiliza de (8.75 Hz).**

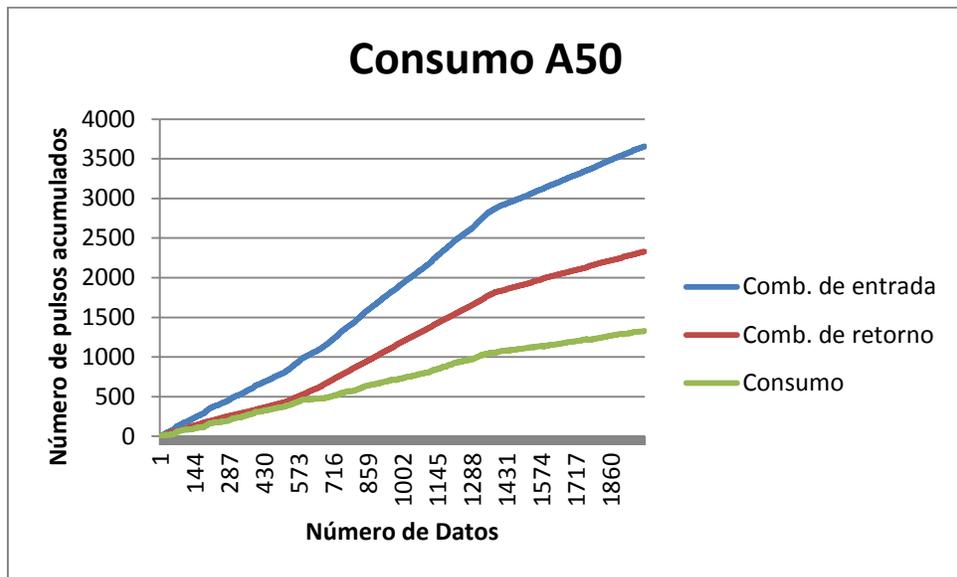
En el (Cuadro 4.22) se muestra las potencias requeridas para dos amplitudes 50 y 40 mm vibrando con y sin aletas.

**Cuadro 4.22 Potencia requerida por cada arreglo usando aletas y sin aletas.**

Arreglo	Potencia(Fx+Fy) kW	Torque (kW)	Potencia requerida (kW)
A50VCA	7.73	4.83	12.56
A50VSA	8.93	4.99	13.92
A40VCA	9.37	2.69	12.06
A40VSA	6.56	1.77	8.33

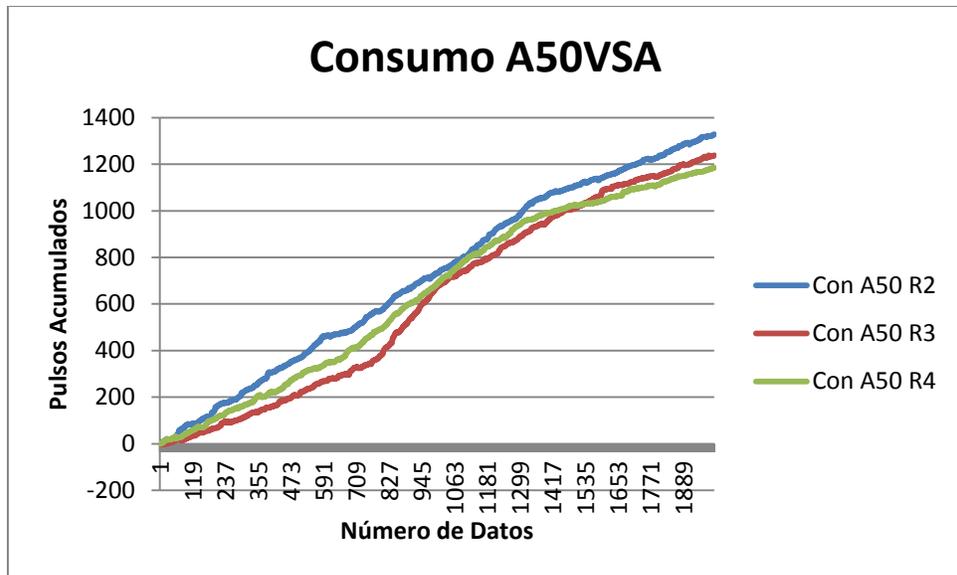
#### **4.4 Consumo de combustible para los arreglos de frecuencia (4 Hz)**

En la (Figura 4.25) se muestra una gráfica de los pulsos acumulados del sensor de entrada y el de retorno en un recorrido de 40 metros lineales las cuales se probó con una amplitud de 50 mm de oscilación. Para esto se tomaron los pulsos de entrada y retorno haciendo una diferencia entre ellas determinando el consumo.



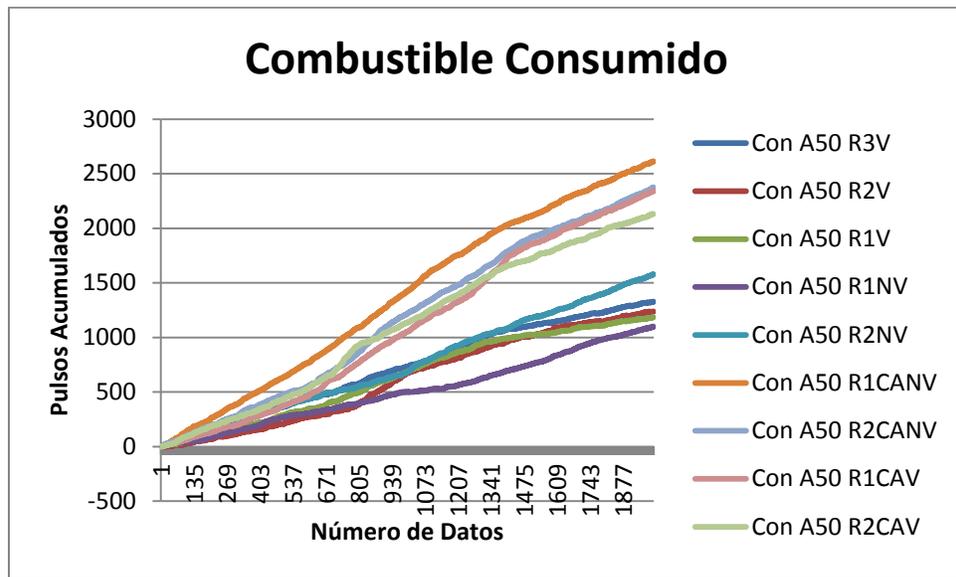
**Figura 4.25 Gráfica de consumo mediante la entrada y el retorno del combustible.**

En la (Figura 4.26) se comparan las replicas con esa misma amplitud de A50V y se muestra la diferencia del consumo entre una y otra de ellas.



**Figura 4.26 Gráfica de consumo de combustible para la amplitud de 50 mm para, diferentes réplicas realizadas.**

En la (Figura 4.27) se muestra todos los consumos por cada replica que se realizaron para la frecuencia de 4 Hz.



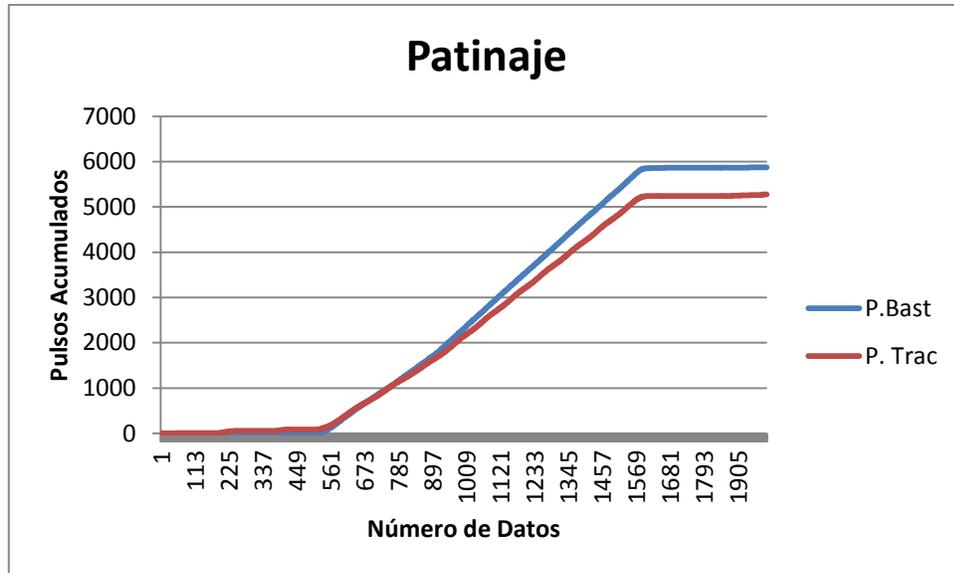
**Figura 4.27 Consumo de combustible para algunas replicas y arreglos.**

En el (Cuadro 4.23) se determina el consumo de combustible por cada arreglo mediante pulsos acumulados que generan el sensor de combustible. Por lo tanto se hace diferencia entre (combustible de entrada–consumo de combustible que retorna) obteniendo pulsos acumulados para después ser dividida por su constante determinando pulsos en una distancia recorrida, una vez obtenido se divide por su distancia recorrida y se obtiene (ml/m). Se analiza con una frecuencia de 4 Hz y una velocidad por parte del tractor de 2000 rev/min.

**Cuadro 4.23 Consumo de combustible para la frecuencia de (4 Hz).**

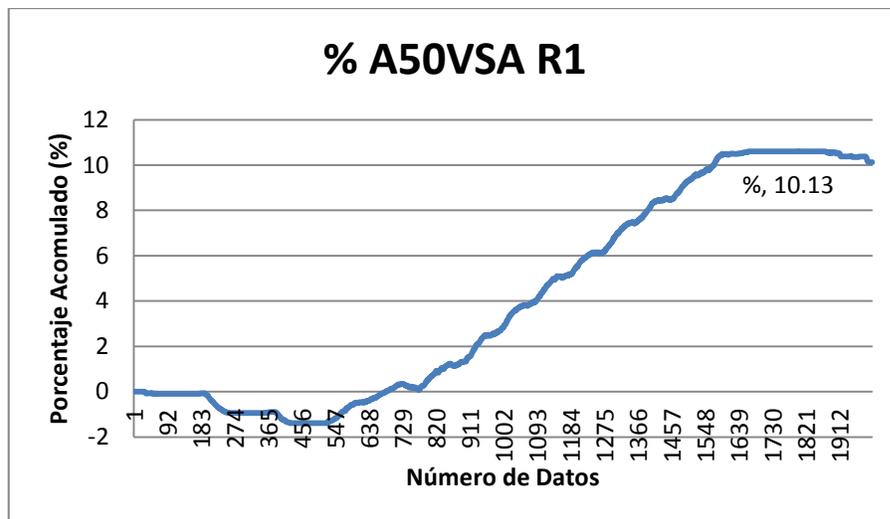
Arreglo	Pulsos			
	acumulados	Constante	ml/40 m	ml/m
A50VCA	2237	3.0976	722	18
A50VSA	1096	3.0976	354	8.85
A50NVCA	2495	3.0976	805	20.13
A50NVSA	1339	3.0976	432	10.81

En la (Figura 4.28) se muestra el desplazamiento de patinaje para la rueda del bastidor y la rueda de tracción del tractor con respecto a los pulsos acumulados.



**Figura 4.28 Patinaje entre la rueda del bastidor y la rueda de tracción con respecto a los pulsos acumulados.**

En la (Figura 4.29) se muestra el porcentaje de patinaje obtenido para uno de los arreglos de (A50VSA).



**Figura 4.29 Porcentaje de patinaje del arreglo A50V sin aletas.**

En el (Cuadro 4.24) se muestra el porcentaje de patinaje por cada arreglo y una frecuencia de 4 Hz.

**Cuadro 4.24 % de patinaje por arreglo para una frecuencia de 4 Hz.**

Arreglo	% Patinaje
A50VCA	14.22
A50VSA	10.13
A50NVCA	22.94
A50NVSA	11.84
A40VSA	8.64

En el (Anexo G) se explicará a detalle como graficar los porcentajes de patinaje y consumo de combustible mediante la obtención de sus constantes para cada factor con la diferencia de pulsos acumulados mediante sensores.

#### **4.5 Consumo de combustible para los arreglos de frecuencia (8.75 Hz)**

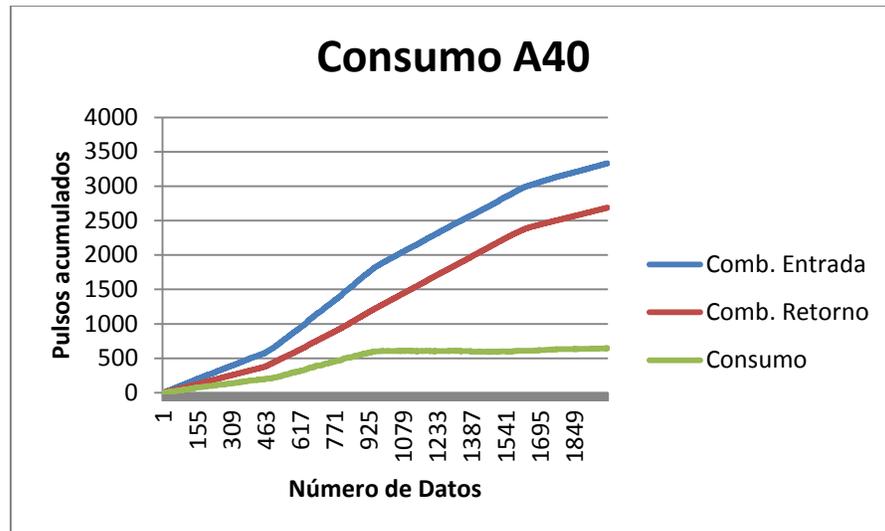
En las siguientes figuras se muestran unas gráficas de los pulsos acumulados del sensor de entrada y el de retorno en un recorrido de 40 metros lineales las cuales se probó con una amplitud de (40 y 50) mm de oscilación. Para esto se tomaron los pulsos de entrada y retorno haciendo una diferencia entre ellas determinando el consumo para dicho replica y con la constante para el gasto de combustible  $K=3.0976$ .

En el (Cuadro 4.25) se muestra el consumo de combustible por cada arreglo en su recorrido total mediante los pulsos acumulados, su constante equivalente a (ml/m)

**Cuadro 4.25 Consumo de combustible por arreglo para la frecuencia (8.75 Hz).**

Arreglo	Pulsos			
	acumulados	Constante	ml/40 m	ml/m
A50VCA	513	3.0976	165.61	4.14
A50VSA	308	3.0976	99.43	2.48
A40VCA	545	3.0976	175.94	4.39
A40VSA	135	3.0976	43.58	1.09

En la (Figura 4.32) se muestra el desplazamiento del combustible cuando entra y retorna teniendo un gasto de combustible mediante la diferencia de los pulsos acumulados.



**Figura 4.30 Gráfica de entrada y retorno de combustible en (A40VCA).**

Se obtuvo 545 pulsos/ml dentro del consumo de combustible y el combustible de retorno para lo cual se divide con la constante 3.0976 pulsos/ml con una resultante de 175.94 ml/40 m lo que quiere decir que consumió 4.39 ml/m.

En el (Cuadro 4.26) se obtiene el porcentaje de patinaje por arreglo mediante una frecuencia de 8.75 utilizando 2 amplitudes con y sin aletas.

**Cuadro 4.26 Porcentaje de patinaje usando una frecuencia de 8.75 Hz.**

Arreglo	% Patinaje
A50VCA	15.52
A50VSA	12.05
A40VCA	8.50
A40VSA	7.89

## **V. CONCLUSIONES**

### **5.1. Conclusiones**

Se obtuvieron las constantes de calibración para los sensores de fuerza y torque, obteniendo para la fuerza de tiro ( $47.74 \text{ mV N}^{-1}$ ), para la fuerza vertical ( $75.0 \text{ mV N}^{-1}$ ) y para el torque con una constante de proporcionalidad 3.24 veces menor a la ya calibrada de (0.1206) por (Cantorio y Montalvo, 2016) debido a la calibración de voltaje de ganancia en (GAIN y SCALING). Obteniendo nueva constante de calibración para el torque de ( $0.0372 \text{ mV Nm}^{-1}$ ).

Se obtuvo una velocidad angular mediante la calibración del uso de imanes como sensor tipo Hall, lo cual generó frecuencias de 4 Hz y 8.75 Hz, regulando al 50 y 100 % abierta en el flujo nominal de la válvula reguladora de flujo y una velocidad máxima de 2000 rev/min.

El sistema de labranza vibratoria mostró un mejor desempeño comparado con la labranza no vibratoria. Reduciéndose la potencia aplicada de 7.95 kW a 6.70 kW. Para una amplitud de 50 mm consumiendo menor gasto de combustible de 10.81 a  $8.85 \text{ l m}^{-1}$ .

En los análisis realizados se demuestra que la amplitud de 50 mm ejerce menor fuerza de tiro que la amplitud de 40-30 mm en un 34.8 %. Así mismo para una frecuencia de 4 Hz su consumo de combustible es mayor en 10 % en comparación con la frecuencia 8.75 Hz.

### **5.2. Recomendaciones**

Rediseñar una tolva protectora para la cadena del medidor de patinaje (sensor encoder) del bastidor.

Implementar un sistema hidráulico para el levante del mecanismo medidor de patinaje.

## VI. LITERATURA CITADA

- Agamennoni, R.** 1996. Rotaciones y labranzas en la región semiárida bonaerense sur. En Labranzas en la Región Semiárida Argentina. D. Buschiazzo, J. Panigatti y F. Babinec. Ed. INTA CERLAP-San Luis.
- Aluko, O.B. and D.A. Seig.** 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting. Soil Tillage Res. 57:143-157. Andrade, P., Rosa, U.A., Upadhyaya, S.K., Jenkins, B.M., Aguera, J.
- ASAE Standards,** 49th Ed. 2002a. S313.3. Soil cone penetrometer. St. Joseph, Mich. ASAE.
- Barber, R.G., Navarro, F. y Orellana, M.** 1993. Labranza Vertical. Centro de Investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical y Proyecto de desarrollo Tierras Bajas del Este del Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia.
- Bonifaz del C.** 2012. "Evaluación de un Transductor Integral Para Determinar las Magnitudes de las Fuerzas que Actúan en los Implementos de Labranza". Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila. México.
- Boone, F.R.** 1988. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. Soil Tillage Research 11(3-4): Pp.283-324.
- Camacho-Tamayo, J. H. y G. A. Rodríguez.** 2007. Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua del suelo. Agricultura Técnica 67(1): 60-67.
- Campos M., S. G.** 1993. Development of minimum maize planter for Mexican agriculture, unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.

- Campos, M. S.; Aragón, R. A.; Cadena, Z. M.** 2000. Diseño y comportamiento de tres Transductores de fuerzas para la evaluación de herramienta de labranza. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola. CLIA. X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola AMIA 2000.
- Chaudhuri, D.** 2001. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills. A review. J. Agric. Eng. Res. 79:125-137.
- Cooper, William D.; Helfrick, Albert D.** 1991. Instrumentación, electrónica moderna y técnicas de medición, vol. 1. Pag. 101.
- FAO.** 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO. Roma, Italia, P. 204.
- FAO.** 2003. "Manual de prácticas integradas de manejo de conservación de suelos". (Texto de manual).[http://www.fao.org/ag/ags/agse/agse\\_s/7mo/iita/iita.htm](http://www.fao.org/ag/ags/agse/agse_s/7mo/iita/iita.htm).
- Friedrich, T.** 1997. Conceptos y objetivos de la labranza en agricultura conservacionista. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín No. 8 de tierras y aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 4: 29-38. Roma Italia.
- Godwin, R. J., Magalhaes, P. S. G., Miller, S. M. and Fry, R. K.** 1987. Instrumentation to Study the Force System and Vertical Dynamic Behavior of Soil-engaging Implements. J. Agric. Eng. Res., 36: 301-310.
- Godwin, R. y O'Dogherty, M.** (2007), Integrated soil tillage force prediction models, Journal of Terramechanics 44(1), 3 – 14.
- Hoag, D.L., R.R. Yoerger** 1975. Analysis and desing of load rings. Transactions of the ASAE 18(6):995-999.

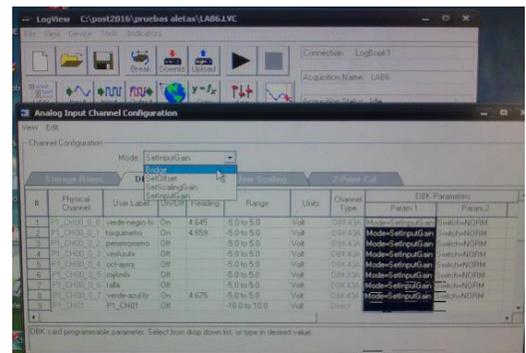
- IDAE** (2005) (Instituto para la diversificación y ahorro en la energía). Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura 1. Madrid, España, pp. 5-28.
- IDAE.** 2006. Ahorro, eficiencia energética y sistemas de laboreo agrícola. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, España. 2ª Edición corregida. Kheiralla, A.F., Yahya, A., Zohadie, M. and Ishak, W. 2003. Design and Development of a Three-point Auto Hitch Dynamometer for an Agricultural Tractor. AJSTD, 20(3 and 4): 271-288.
- Josiah, M.,** 2001. Soil profile force measurements using an instrumented tine. Paper No.01-1060, ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Kepner, R. A., Barger, E. L:** 1978 Principles of Farm Machinery. Third Edition, the AVI Publishig Company, Inc. Connecticut.
- Lowen, E. G., Marshall, E. R. and Shaw, M. C.** 1951. Electric Strain Gauge Tool Dynamometers. Proc. Soc. Exp. Stress Analysis, 8(2): 1-16.
- Magalhaes, P.S.G., eW.R. Souza.** 1990. Subsolador: Influencia de parámetros geométricos no mecanismo de forcas. 2:1033. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil, Julio de 1990. Sociedad Brasileira de Ingeniería Agrícola, Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil.
- Marquez, L.** (2005). Los tractores en la agricultura española. Costes de utilización. Madrid España, pp. 68-72.
- McKyes, E.** 1985. Soil Cutting and Tillage. Elsevier, Amsterdam, 217 p. (Developments in Agricultural Engineering No 7).
- Moitzi, G., H.Weingartmann, and J. Boxberger.** 2006. Effects of tillage systems and wheel slip on fuel consumption. In: The Union of Scientists - Rousse: Energy Efficiency and Agricultural Engineering, 7. - 9. June 2006, Rousse, Bulgaria, 237-242, ISSN 1311-9974.

- 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.
- Moo-Yam, V.M.J.** 1999. Desarrollo y evaluación de un sistema de adquisición de datos para la evaluación de implementos de labranza. Tesis, Maestría, Universidad Veracruzana, Instituto de ingeniería, Veracruz, Veracruz México.
- O'Dogherty, M. J.** 1975. A Dynamometer to Measure the Forces on a Sugar Beet Topping Knife. 20: 339-345.
- Payne, P.C.J., Tanner, D.W.,** 1959. The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. J. Agric. Eng. Res. 4 (4), 312–325.
- Raper, R. L. and J. S. y Bergtold.** 2007. In row subsoiling: A review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation. Appl. Eng. Agric. 23: 463-471.
- Steiner, K.G.** 1998. Conserving Natural Resources and Enhancing food security by adopting no tillage. TO" B Publication No. F-5/e GTZ. Echborn. Germany.
- Shahgoli, G., J. Fielke.,J. Desbiolles., y C. Saunders.** 2010. "Optimising Oscillation Frequency in Oscillatory Tillage ", Soil & Tillage Research, 106.202-210pp.
- Soeharsono, G., y P Radite.** 2010. "Analytical Study of Self-Excited Vibration on Single Degree of Freedom Vibratory-Tillage", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 5(6): 61-66pp.
- Vivero,W.** 1998. Prácticas de Conservación de suelos. In Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable de Montañas. (Quito, Ec.). pp. 36-361.
- 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.

## ANEXOS

### A. Procedimiento para la calibración de TOE para Fx y Fy, también el torquimetro

- Montar el equipo al tractor:(computadora con los software *LogView*, *Excel*, *Minitab V15* y *Matlab 2010* LogBook/360, DBK-43A, monitor, mouse, teclado y cables).
- Verificar los canales mediante el software LogView que corresponde a cada uno que en este caso fueron tres canales (Fy-CH7, Fx-CH0, T-CH1)
- Calibrando (Analog Input Channel Configuration) así cada uno de ellos con resistencia de (120, 120, 350) ohms con un voltaje de (4.5, 4.5,9.5) dejando .5 de tolerancia esta calibración se realiza en el amplificador de señal mediante unos potenciómetros (Exc, Ofst, Gain, Sca).
- El InputGain y scalingGain su valor de calibración debe ser  $>4.5$  y  $<5$  entre el rango de 4.6 y para Bridge debe ser lo más cercano a cero.



## B. Hoja de datos del microcontrolador HEF401068P

# HEF40106B

Hex inverting Schmitt trigger

Rev. 8 — 10 December 2015

Product data sheet

### 1. General description

The HEF40106B provides six inverting buffers. Each input has a Schmitt trigger circuit. The inverting buffer switches at different points for positive-going and negative-going signals. The difference between the positive voltage ( $V_{T+}$ ) and the negative voltage ( $V_{T-}$ ) is defined as hysteresis voltage ( $V_H$ ).

The HEF40106B may be used for enhanced noise immunity or to "square up" slowly changing waveforms.

It operates over a recommended  $V_{DD}$  power supply range of 3 V to 15 V referenced to  $V_{SS}$  (usually ground). Unused inputs must be connected to  $V_{DD}$ ,  $V_{SS}$ , or another input.

### 2. Features and benefits

- Schmitt trigger input discrimination
- Fully static operation
- 5 V, 10 V, and 15 V parametric ratings
- Standardized symmetrical output characteristics
- Specified from  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Complies with JEDEC standard JESD 13-B

### 3. Applications

- Wave and pulse shapers
- Astable multivibrators
- Monostable multivibrators

### 4. Ordering information

Table 1. Ordering information

All types operate from  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$

Type number	Package		
	Name	Description	Version
HEF40106BT	SO14	plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm	SOT108-1
HEF40106BTT	TSSOP14	plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm	SOT402-1

## 6. Pinning information

### 6.1 Pinning

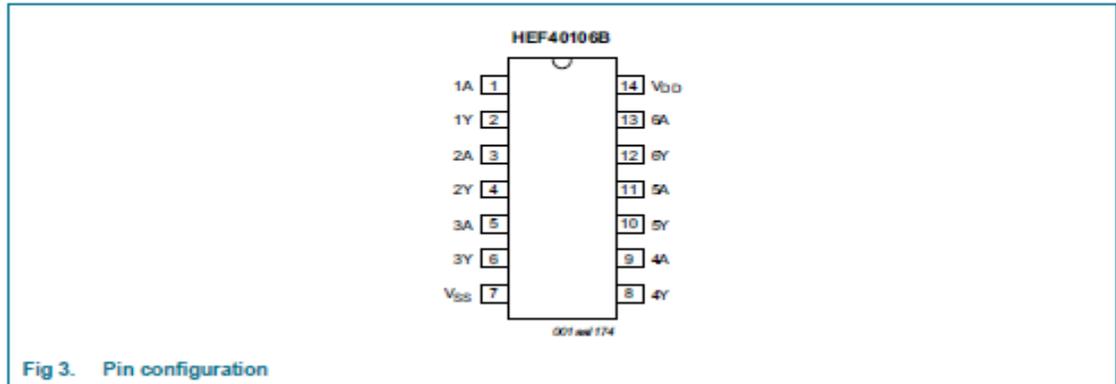


Fig 3. Pin configuration

### 6.2 Pin description

Table 2. Pin description

Symbol	Pin	Description
1A to 6A	1, 3, 5, 9, 11, 13	input
1Y to 6Y	2, 4, 6, 8, 10, 12	output
V <sub>DD</sub>	14	supply voltage
V <sub>SS</sub>	7	ground (0 V)

## 7. Functional description

Table 3. Function table<sup>[1]</sup>

Input	Output
nA	nY
L	H
H	L

[1] H = HIGH voltage level; L = LOW voltage level.

## 8. Limiting values

Table 4. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Voltages are referenced to V<sub>SS</sub> = 0 V (ground).

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit	
V <sub>DD</sub>	supply voltage		-0.5	+18	V	
I <sub>IK</sub>	input clamping current	V <sub>I</sub> < -0.5 V or V <sub>I</sub> > V <sub>DD</sub> + 0.5 V	-	±10	mA	
V <sub>I</sub>	input voltage		-0.5	V <sub>DD</sub> + 0.5	V	
I <sub>OK</sub>	output clamping current	V <sub>O</sub> < -0.5 V or V <sub>O</sub> > V <sub>DD</sub> + 0.5 V	-	±10	mA	
I <sub>I/O</sub>	input/output current		-	±10	mA	
I <sub>DD</sub>	supply current		-	50	mA	
T <sub>stg</sub>	storage temperature		-65	+150	°C	
T <sub>amb</sub>	ambient temperature		-40	+125	°C	
P <sub>tot</sub>	total power dissipation	T <sub>amb</sub> = -40 °C to +125 °C				
		SO14	[1]	-	500	mW
		TSSOP14	[2]	-	500	mW
P	power dissipation	per output	-	100	mW	

[1] For SO14 packages: above T<sub>amb</sub> = 70 °C, P<sub>tot</sub> derates linearly with 8 mW/K.

[2] For TSSOP14 packages: above T<sub>amb</sub> = 60 °C, P<sub>tot</sub> derates linearly with 5.5 mW/K.

## C. Hoja de datos de un sensor magnético tipo Hall DN6851

Hall ICs

**Panasonic**

# DN6851

Switch type, Wide operating supply voltage range ( $V_{CC} = 3.6 \text{ V}$  to  $16 \text{ V}$ )  
Alternating magnetic field operation

### ■ Overview

DN6851 is a semiconductor integrated circuit utilizing the Hall effect. It has been so designed as to operate in the alternating magnetic field especially at low supply voltage. This Hall IC is suitable for application to various kinds of sensors, contactless switches, and the like.

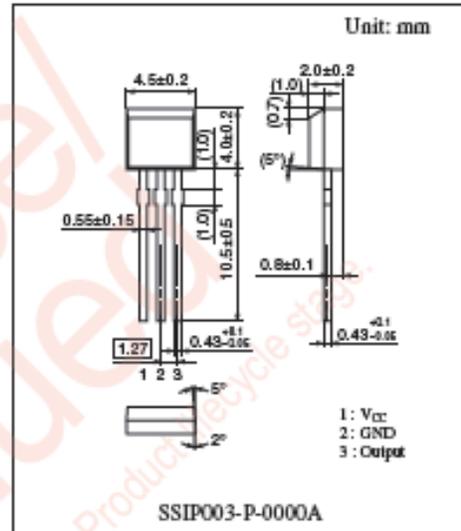
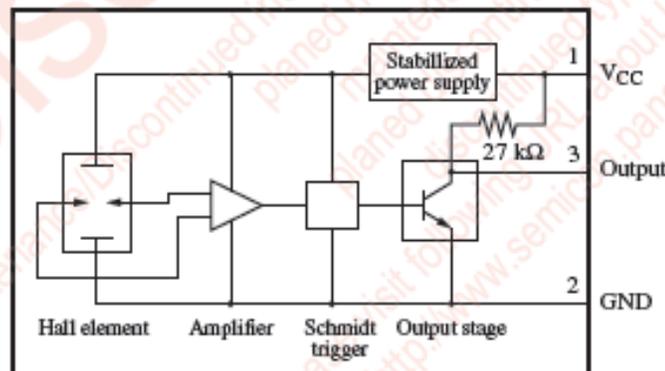
### ■ Features

- Wide supply voltage range of 3.6 V to 16 V
- Alternating magnetic field operation
- TTL and MOS IC are directly drivable by the output.
- The life is semipermanent because it employs contactless parts.
- SSIP003-P-0000A package
- Equipped with an output pull-up resistor (typical 27 k $\Omega$ )

### ■ Applications

- Speed sensor, position sensor, rotation sensor, keyboard switch, micro switch and the like

### ■ Block Diagram



Note) The package of this product will be changed to lead-free type (SSIP003-P-0000H). See the new package dimensions section later of this datasheet.

The Hall ICs are often used to detect movement. In such cases, the position of the Hall IC may be changed by exposition to shock or vibration over a long period of time, and it causes the detection level change. To prevent this, fix the package with adhesives or fix it on a dedicated case.

#### 1. A case using an adhesive

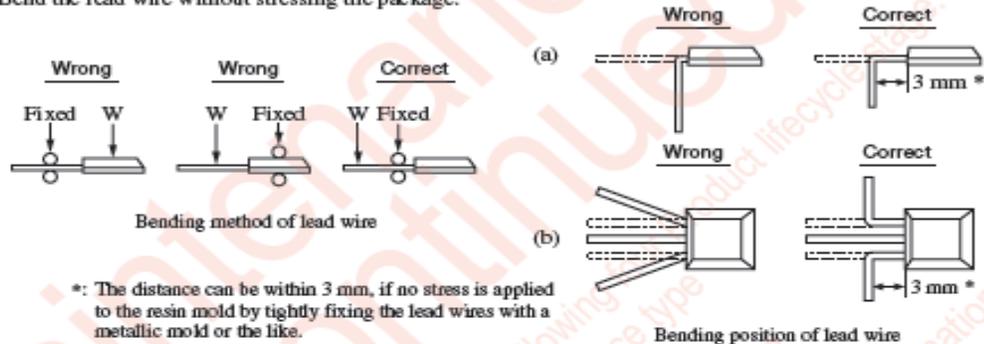
Some kinds of adhesive generate corrosive gas (such as chloric gas) during curing. This corrosive gas corrodes the aluminum on the surface of the Hall IC, and may cause a functional defect of disconnection.

If Hall IC is to be sealed after installation, attention should be given to the adhesive or resin used for peripherals and substrate cleaner, as well as to the adhesive used for Hall IC installation. Please confirm the above matter to those manufacturers before using.

We could not select the specified adhesive, for we find it difficult to guarantee the ingredient of each adhesive.

#### 2. A case bending lead wire

Bend the lead wire without stressing the package.



#### 3. Power supply line/Power transmission line

If a power supply line/power transmission line becomes longer, noise and/or oscillation may be found on the line. In this case, set the capacitor of 0.1  $\mu\text{F}$  to 10  $\mu\text{F}$  near the Hall IC to prevent it.

If a voltage of 18 V or more is thought to be applied to the power supply line (flyback voltage from coil or the ignition pulse, etc.), avoid it with external components (capacitor, resistor, Zener diode, diode, surge absorbing elements, etc.).

#### 4. $V_{CC}$ and GND

Do not reverse  $V_{CC}$  and GND. If the  $V_{CC}$  and GND pins are reversely connected, this IC will be destroyed. If the IC GND-pin voltage is set higher than other pin voltage, the IC configuration will become the same as a forward biased diode. Therefore, it will turn on at the diode forward voltage (approximately 0.7 V), and a large current will flow through the IC, ending up in its destruction. (This is common to monolithic IC.)

#### 5. Cautions on power-on of Hall IC

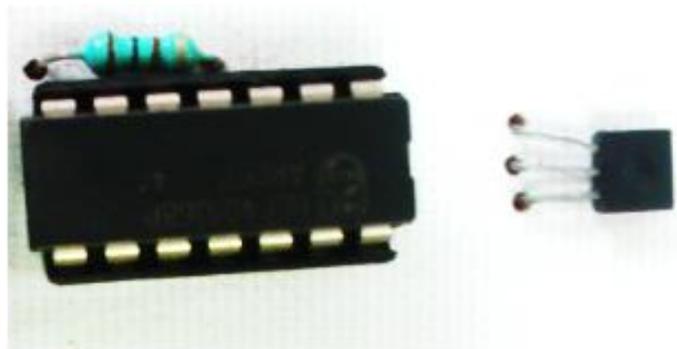
When a Hall IC is turned on, the position of the magnet or looseness may change the output of a Hall IC, and a pulse may be generated. Therefore, care should be given whenever the output state of a Hall IC is critical when the supply power is on.

#### 6. Fixing a Hall IC

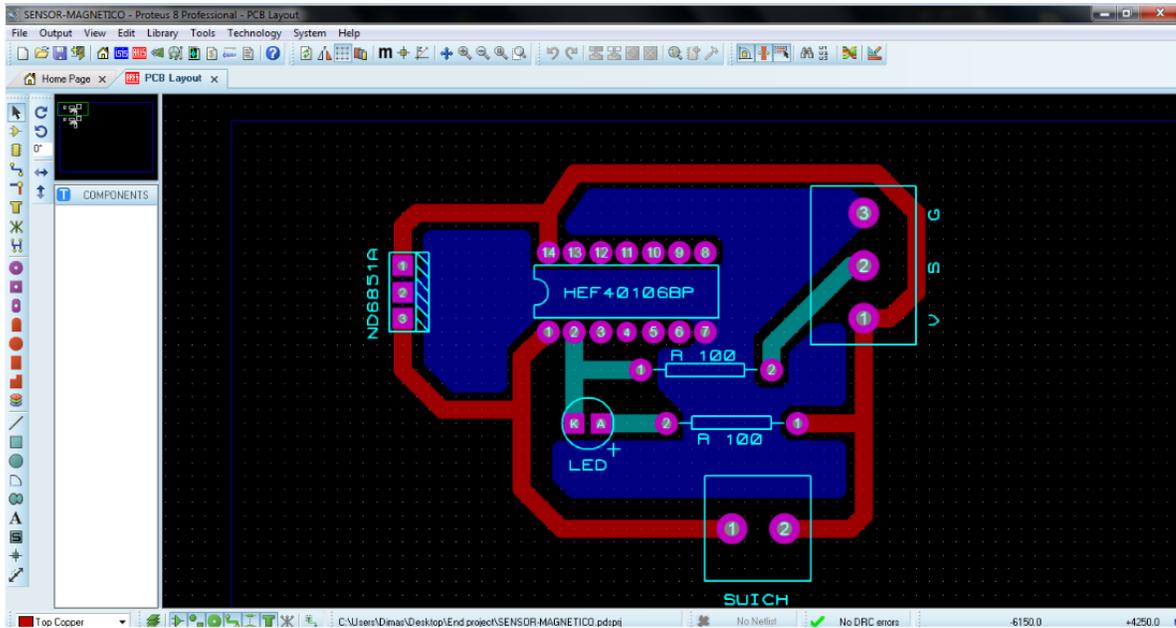
When the Hall IC of an insertion type package installed by soldering the lead wire only is to be used under vibration, fix it firmly with a holder. Otherwise, vibration may cause metal fatigue in the lead wire of Hall IC, resulting in wire breakage.

#### 7. On fixing a Hall IC to holder

When a Hall IC is mounted on the printed circuit board with a holder and the coefficient of expansion of the holder



## D. Circuito del sensor modificado

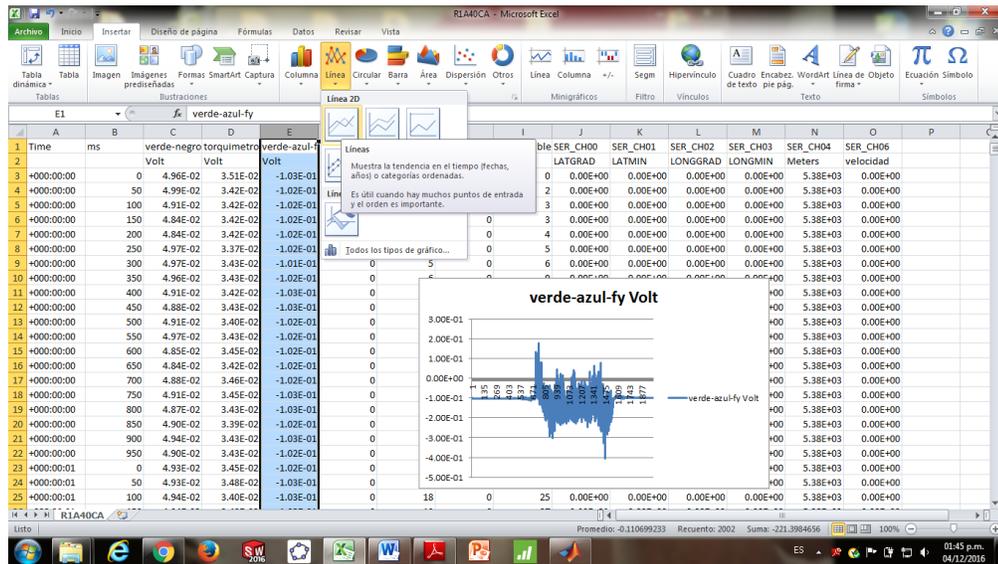


## E. Pantalla medidora del consumo de combustible

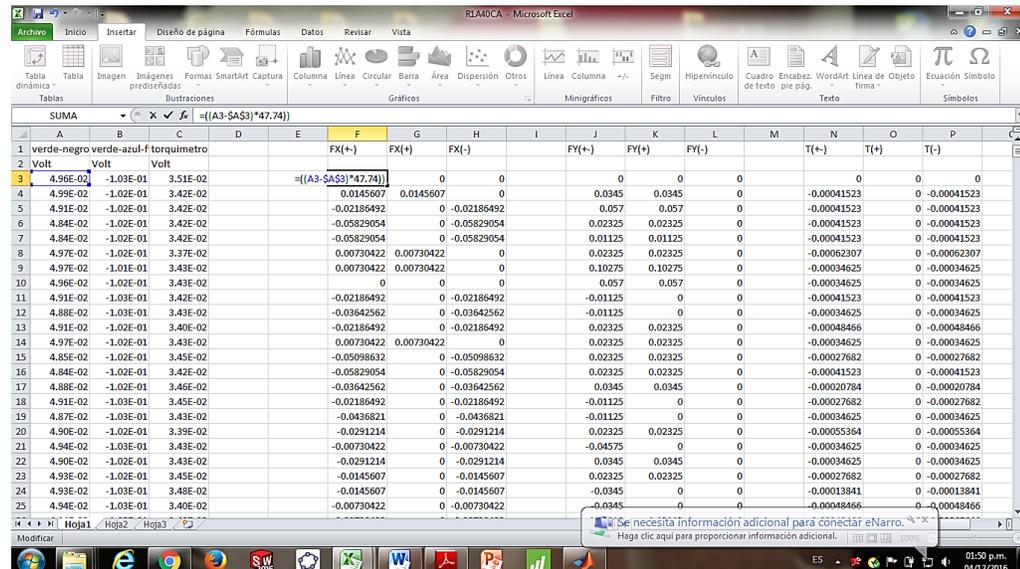


## F. Explicación para convertir los datos ya obtenidos y convertidos por medio del Logbook/360 a señal digital representados en grafica posición cero

- Se grafica la columna a desear para después tomar la decisión si la fuerza que ejerce mediante los impactos que realiza el cincel con el suelo se invierte la gráfica y posiciona en cero para tomar los datos positivos y realizar su respectivo análisis.



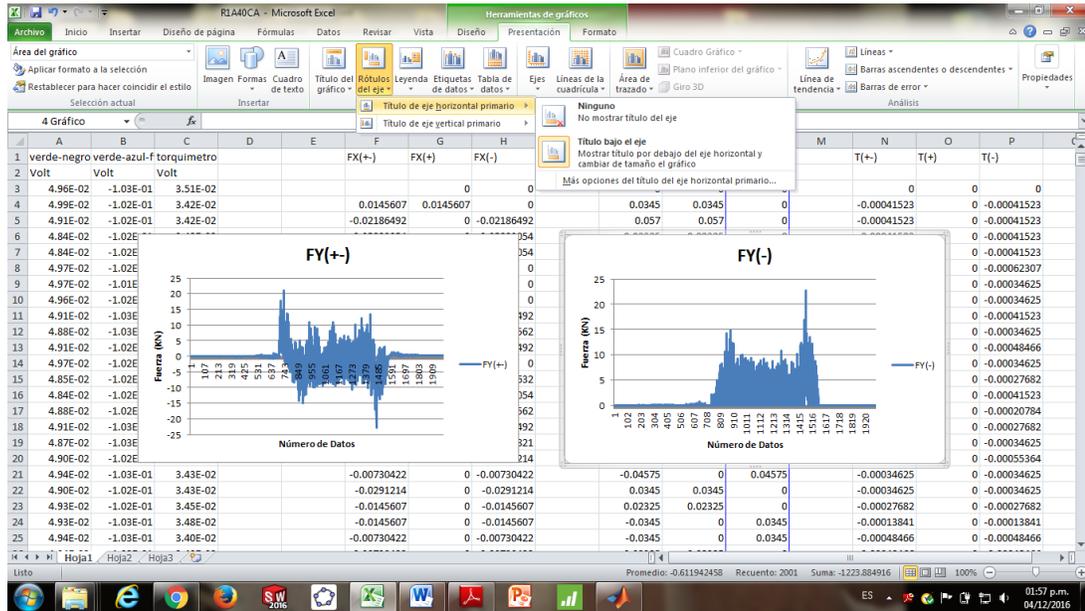
- Para esto se multiplica la columna a calcular por su constante de calibración.  $=((A3-\$A\$3)*47.74)$  y la grafica la llevamos a cero.



➤ Por ultimo para la colocación de positivo a negativo se usa la función SI anidada en Excel. Ejemplo:

$=SI(J4<0,J4*-1,J4*0)*-1$  para que la grafique los datos negativos

$=SI(J4>0,J4*1,J4*0)$  para que los datos sean positivos



## G. Obtención de las constantes de calibración para el consumo de combustible y el % 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 Logbook/360, de cada corrida de tomaron los valores más altos del encoder del bastidor y de la llanta motriz, para después formular la constante.



La constante para patinaje se determinó mediante una evaluación de réplicas determinado por un cociente y después por su promedio

R1	R2	R3	R4
2643	2627	2600	2597
3221	3253	3246	3234
cocientes			
0.8206	0.8076	0.8010	0.8030
PROMEDIO		<b>K=0.81040</b>	

La fórmula utilizada para determinar el porcentaje de patinaje es:

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

$$\frac{\quad}{k}$$

Dónde:

m= Dato mayor de pulsos de recorrido.

k= Constante de calibración.

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

k= 0.81040.

- A continuación, se muestra el método para determinar la constante para el consumo 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 ml.

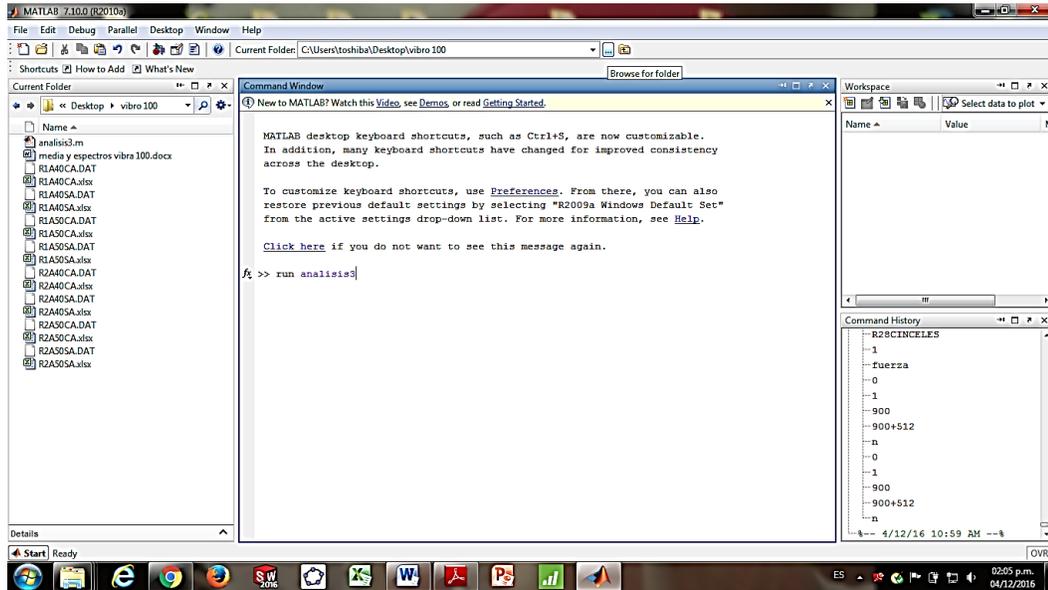
Pulsos tarjeta	Pulsos pantalla de sensores	tiempo min
1564	1504	01:13
1585	1551	01:09
1553	1526	01:09
1562	1548	01:09
1565	1550	01:09
1644	1593	01:09
1603	1591	01:07
1554	1528	01:04
1608	1552	01:07
1571	1545	01:05

Por consiguiente se determinaron las estadísticas descriptivas de la columna de tarjeta, de la columna de la pantalla de sensores y de las dos columnas juntas, seleccionando la constante de **3.0976 pulsos-ml<sup>-1</sup>** como lo muestra el cuadro sig:

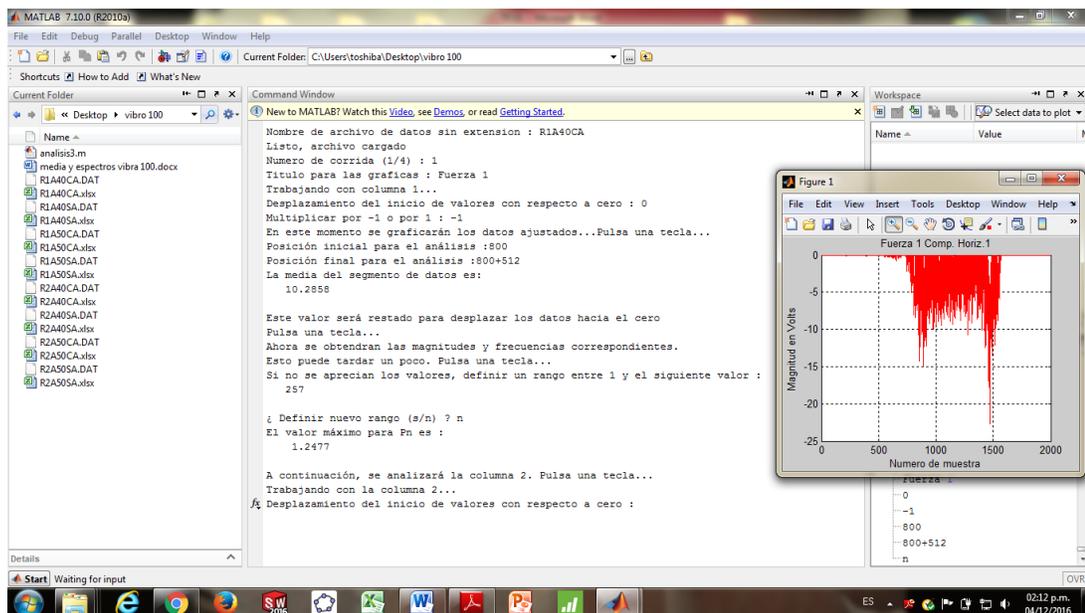
<b>Estadísticos descriptivos: TARJETA</b>				
Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
TARJETA	3.1418	0.0427	0.0018	1.36
<b>Estadísticos descriptivos: PANTALLA</b>				
Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
PANTALLA	3.0976	0.0547	0.0030	1.77
<b>Estadísticos descriptivos: TARJ+PANT</b>				
Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
TAEJ+PANT	3.1197	0.0528	0.0028	1.69

## H. Procedimiento para el análisis espectral y su logaritmo.

- Se busca la carpeta o archivo analizar, una vez que se convirtamos cada replica con extensión .DAT con un texto delimitado por tabulaciones txt. Se prosigue con el inicio de >> run analisis3 y comienza su análisis.

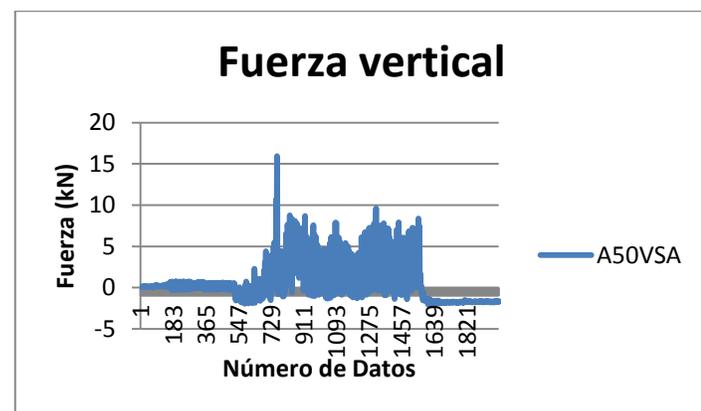
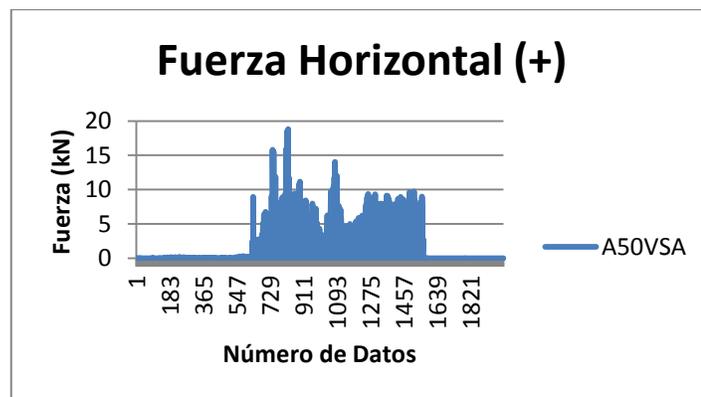
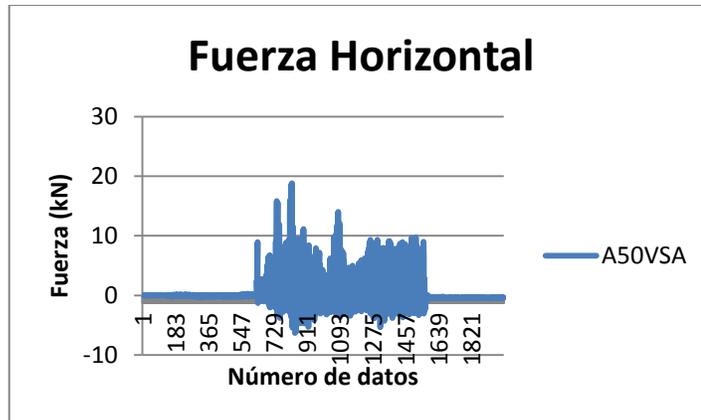


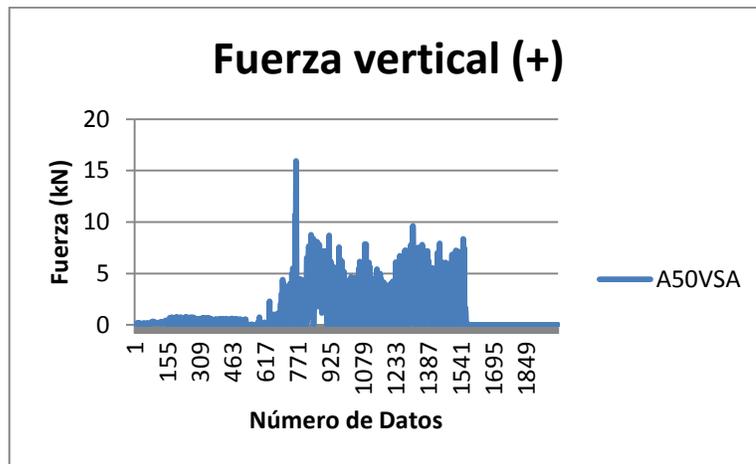
- Tal archivo a analizar se deberá escribir tal y como se escribió sin extensión, una vez que haya realizado el primer análisis lo llevara a analizar columna tras columna para finalizar resultando las medias y valor del espectro.



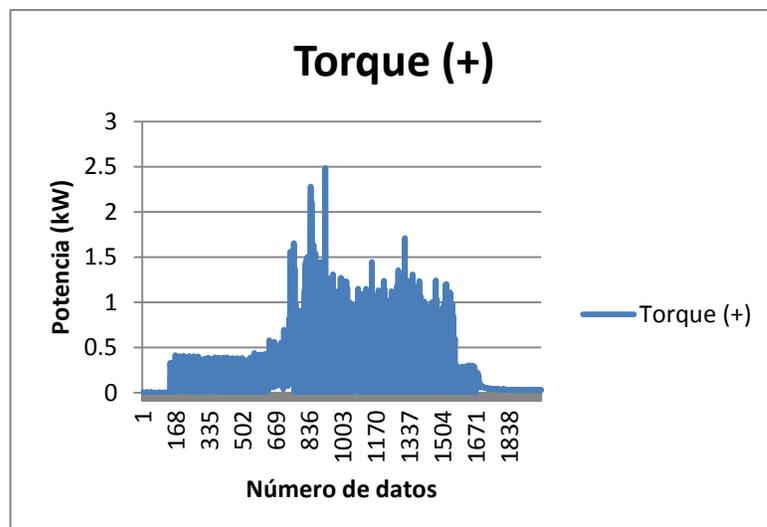
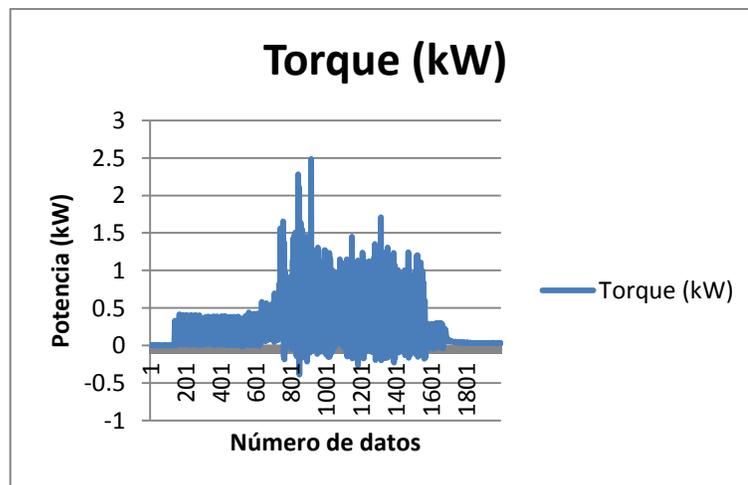
### I. Graficas de fuerzas verticales, horizontales y potencia en el torque

Graficas de análisis para la fuerza de tiro y fuerza de penetración posicionada en cero y tomando los datos positivos para el arreglo (A50VSA). Para una frecuencia de 4 Hz.

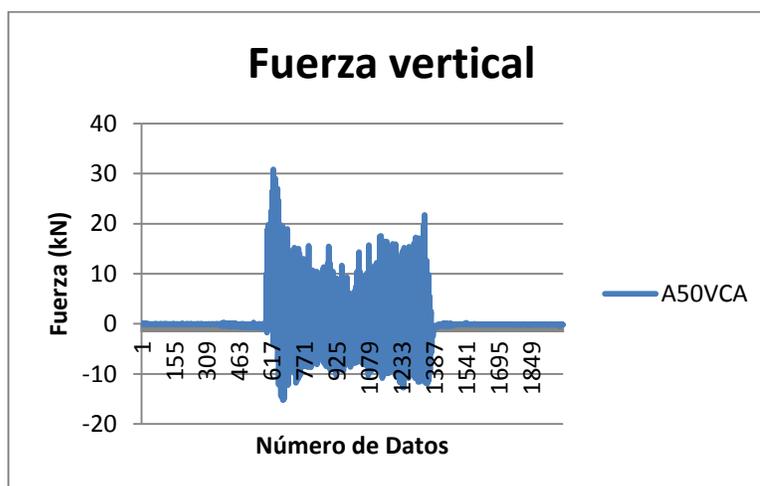
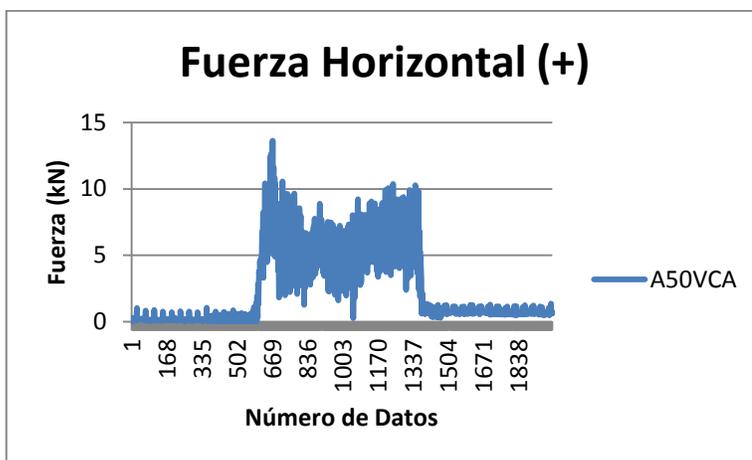
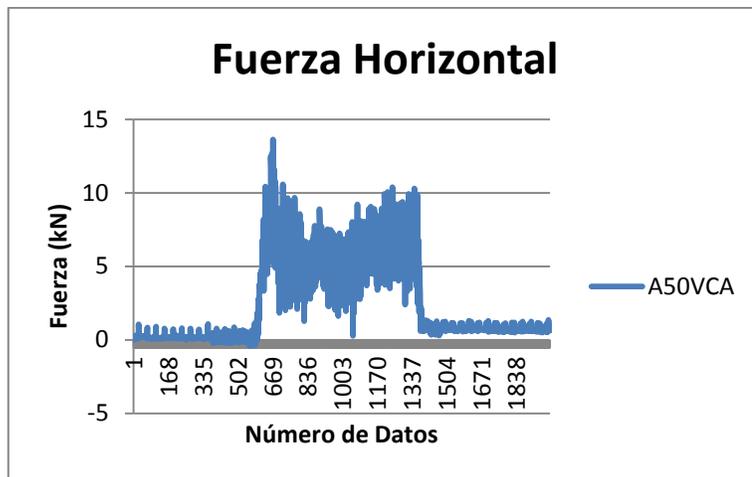


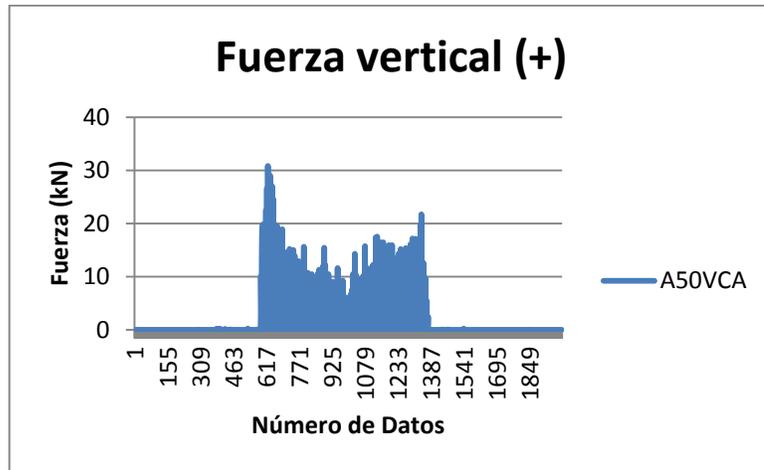


Se muestra la potencia del torque para el arreglo (A50VSA) con una frecuencia de 25.13 rad/seg (4 Hz).

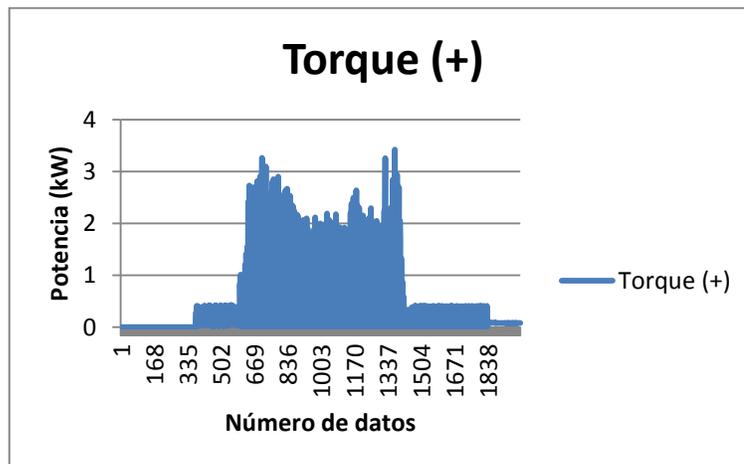
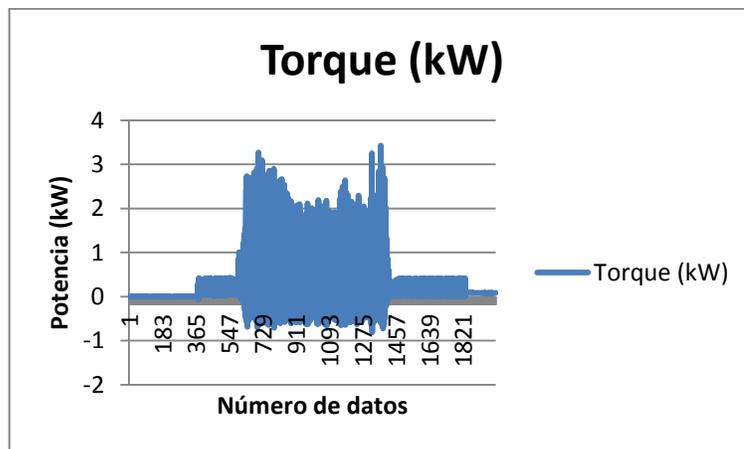


Para este análisis se muestra en la gráfica un arreglo (A50VCA) misma amplitud y velocidad de trabajo 3 km.h<sup>-1</sup>.

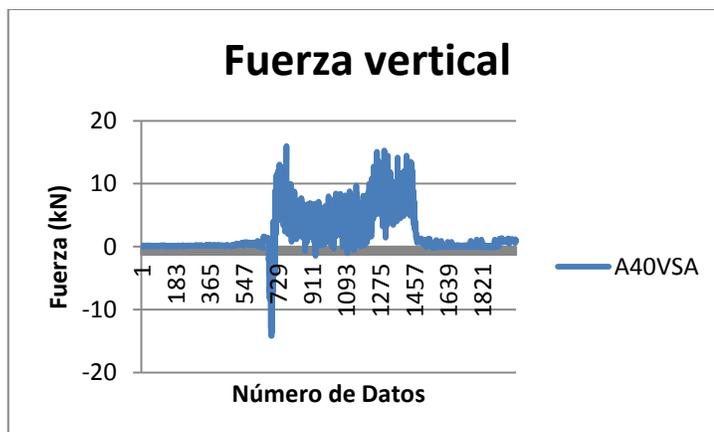
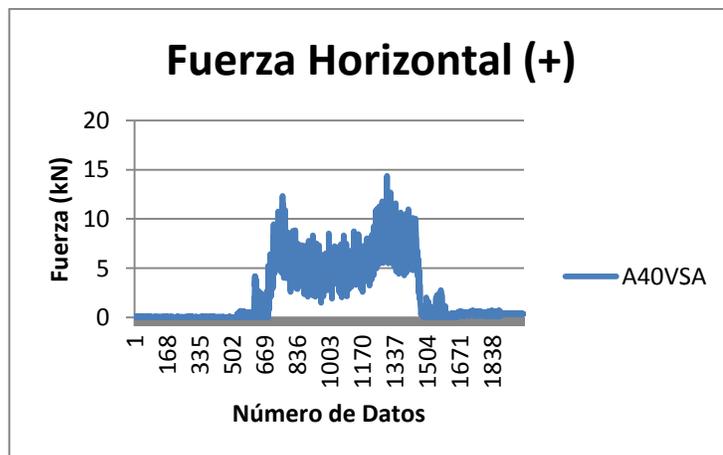
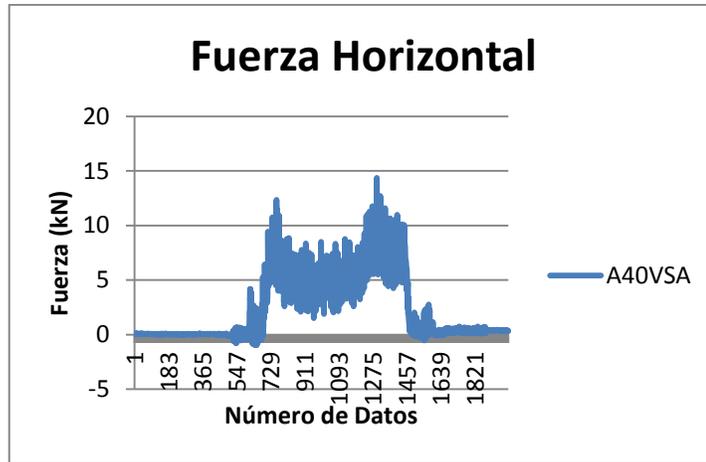


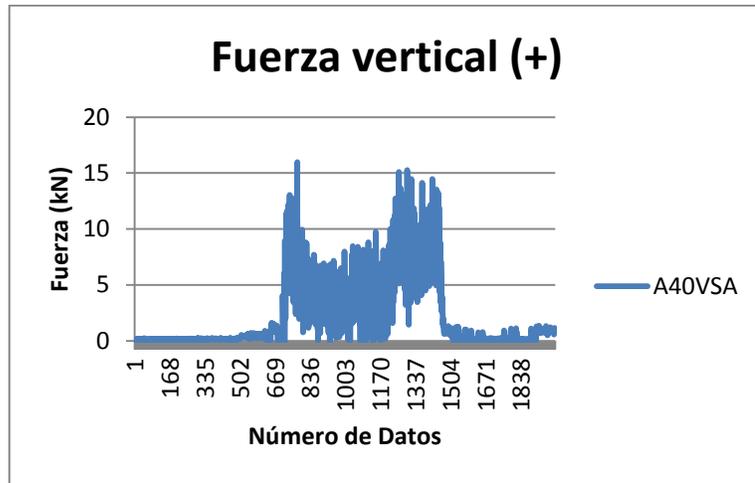


Se muestra la potencia del torque para el arreglo (A50VCA) con una frecuencia de 25.13 rad/s (4 Hz).

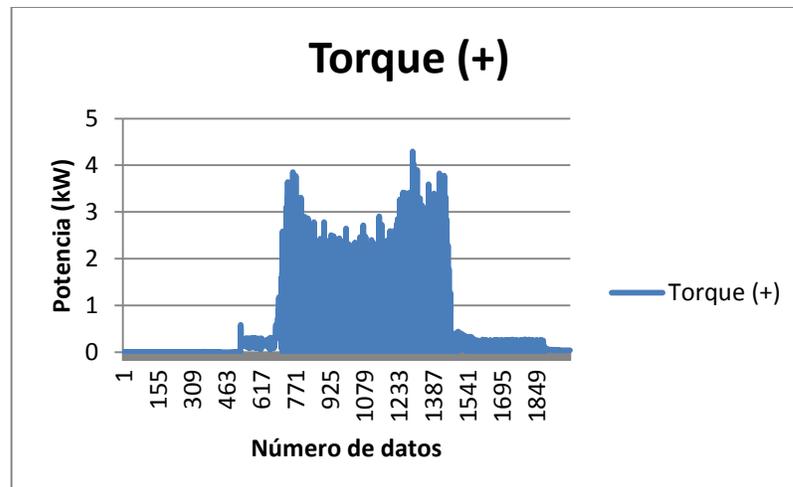
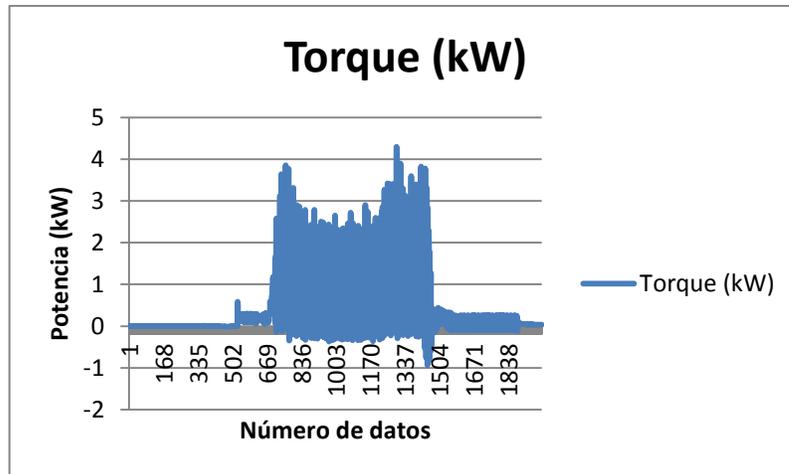


Análisis para las gráficas con el arreglo de (A40VSA) y una frecuencia de 8.75 Hz (54.97 rad/s) para calcular la fuerza de tiro y fuerza de penetración.

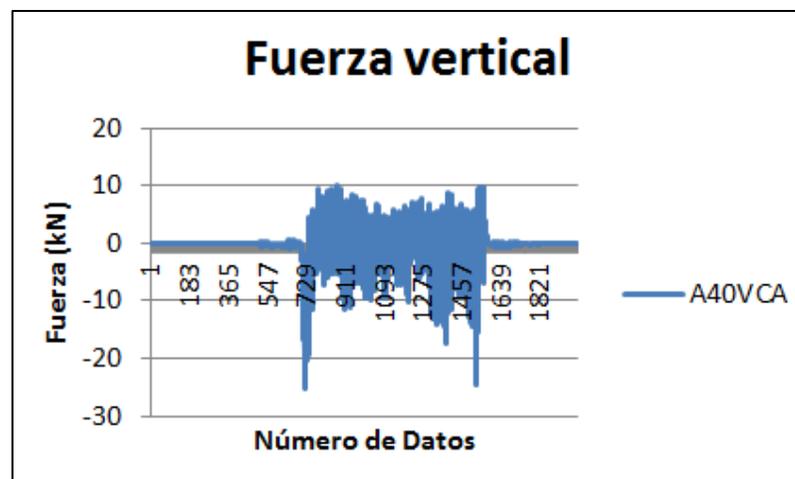
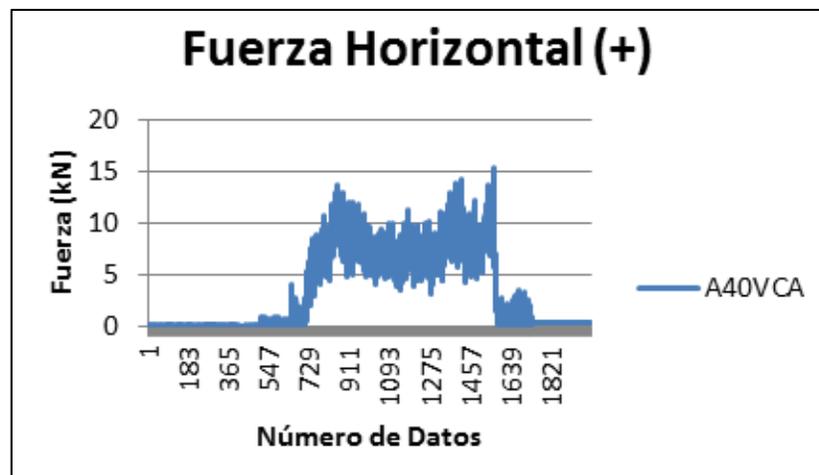
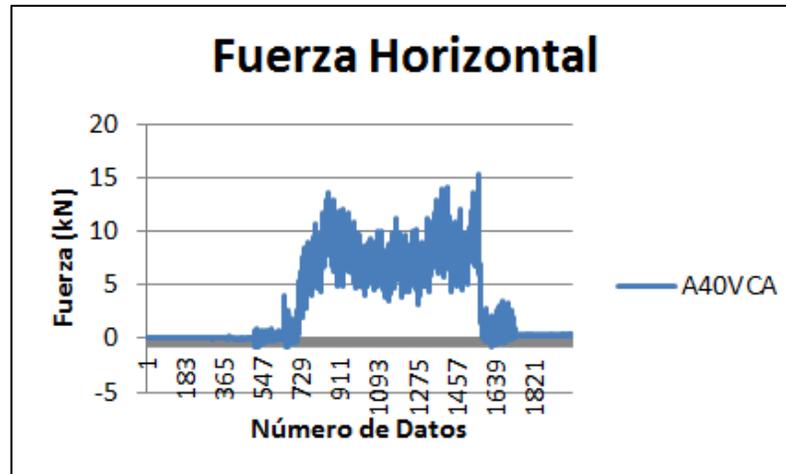


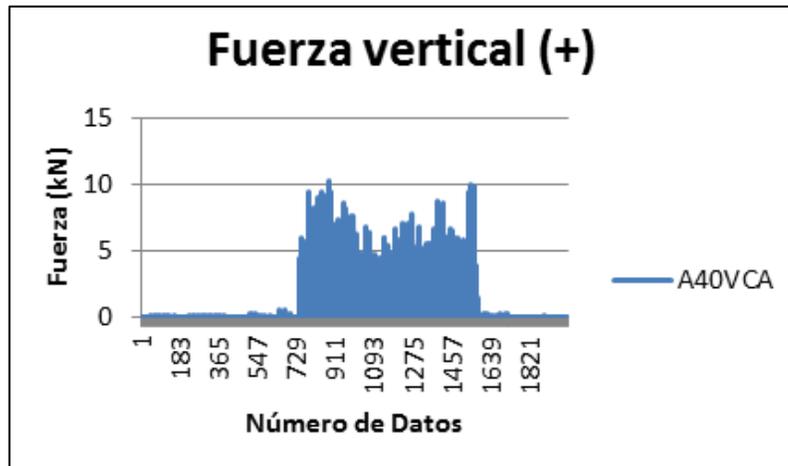


Se muestra la potencia del torque para el arreglo (A40VSA) con una frecuencia de 54.97 rad/s (8.75 Hz).

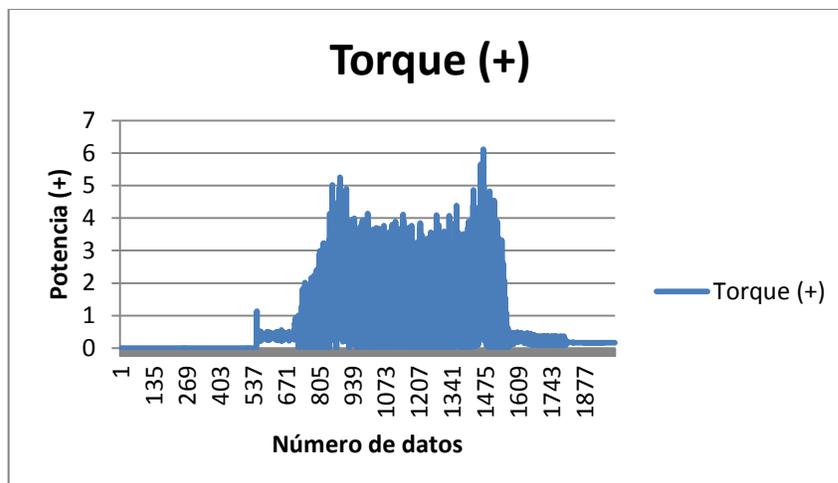
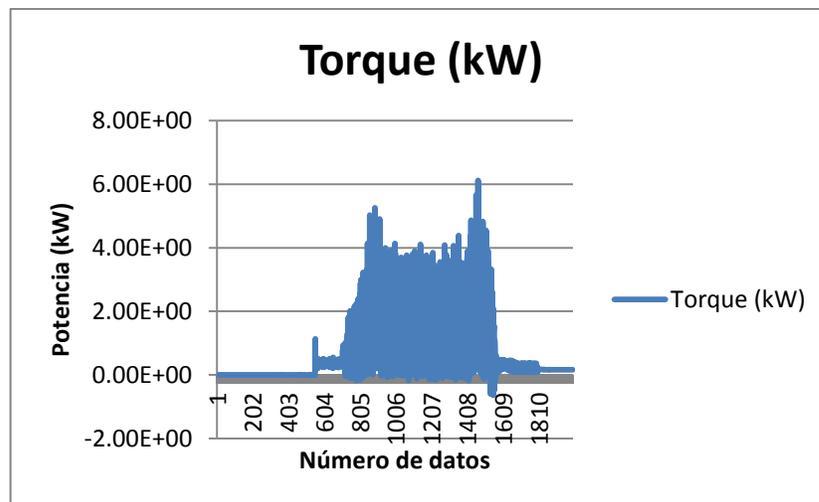


Análisis para las gráficas con el arreglo de (A40VCA) y una frecuencia de 8.75 Hz (54.97 rad/s) para calcular la fuerza de tiro y fuerza de penetración.



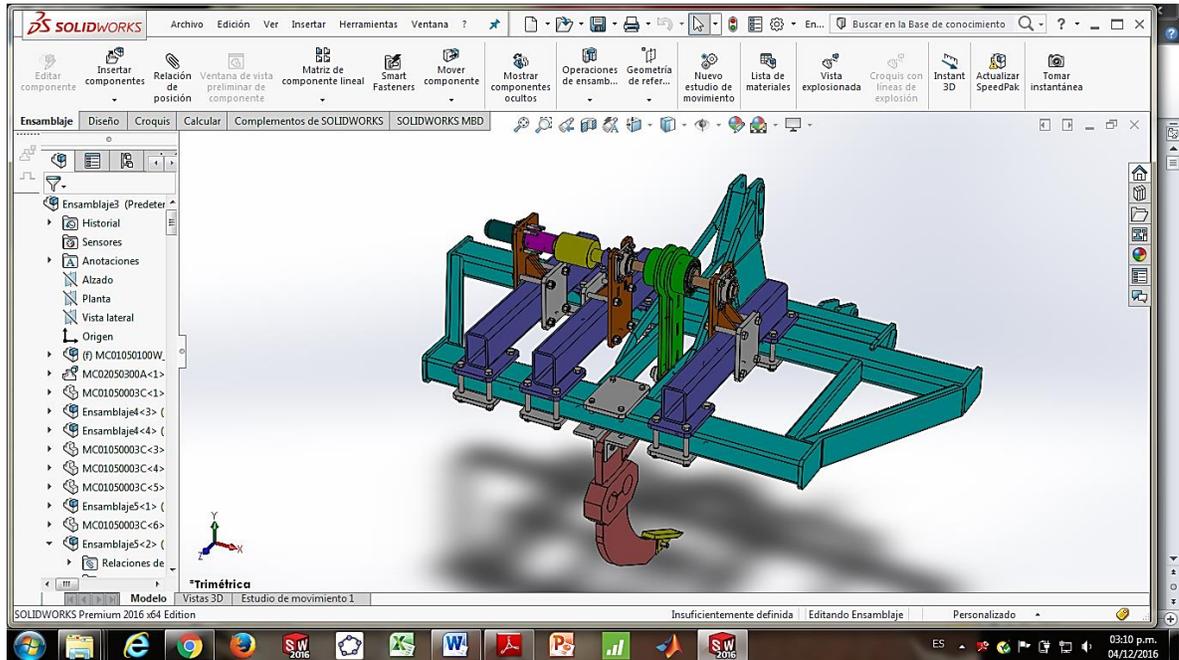


Se muestra la potencia del torque para el arreglo (A40VCA) con una frecuencia de 54.97 rad/s (8.75 Hz).



## J. Presentación del equipo de trabajo

El diseño principal de un subsolador con vibraciones por medio de un motor hidráulico, mecanismo biela manivela corredera, con un torque.



Se presenta el diseño fabricado por la empresa Bison montado en el tractor John Deere que es parte del departamento de maquinaria agrícola.



Algunos de los equipos que se utilizó para llevar a cabo esta investigación.



Se maquina y necesito de alguna otra herramienta para realizar dichas evaluaciones.





La finalización del trabajo condujo a tener buenos resultados por lo que se resultó lo esperado a razón de seguir desarrollando esta tecnología para tener un mejor rendimiento hacia un cultivo y cuidar de nuestra labranza dando lo mínimo.