

**Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**

**División de Ingeniería**

**Departamento de Maquinaria Agrícola**



Titulo

**Determinación de la potencia aplicada en la labranza vibratoria Inducida bajo dos diferentes frecuencias de trabajo.**

Por:

**MAGDALENO MONTALVO PEREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2016



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

Título

**Determinación de la potencia aplicada en la labranza vibratoria Inducida  
bajo dos diferentes frecuencias de trabajo.**

Por:

**MAGDALENO MONTALVO PEREZ**

Tesis

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

**INGENIERO MECANICO AGRICOLA**

Aprobado por:

Dr. Santos G. Campos Magaña

Asesor Principal

Ing. Rosendo Gonzalez Garza

Coasesor

M.C. Genaro Demuner Molina

Coasesor

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

Dr. Luis Samaniego Moreno

Coordinador de la División de Ingeniería

División de  
Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2016

## **Agradecimientos**

Agradezco a **Dios** por la vida que me regalo y cuidar de mi familia en todo momento, por las fuerzas que me dio para seguir adelante hasta conseguir mi objetivo y estar a mi lado en los momentos malos y buenos.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por permitirme desarrollarme profesionalmente en su casa de estudios, sus instalaciones y cada rincón que forma parte de ello y por los momentos de felicidad que pase en mi Alma Terra Mater.

A todo el personal académico del Departamento de Maquinaria Agrícola por brindarme su apoyo en muchas ocasiones y por todos los profesores que me regalaron gran parte de sus conocimientos y así formarme profesionalmente.

**Ing. Juan Antonio Guerrero Hernández.**

**M.C. Blanca Elizabeth De La Peña Casas.**

**Ing. Juan Arredondo Valdez**

**M.C Tomas Gaytán Muñiz**

**M.C Genaro Demuner Molina**

Especialmente al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña** por permitirme formar parte de su grupo de tesis brindándome su apoyo en todo momento y gran parte de sus conocimientos para mi formación académico.

Al **Ing. Héctor Uriel Serna Fernández** por ser un ejemplo a seguir mostrando confianza en sí mismo y agradezco todo el apoyo que me brindo en cada momento, por todas esas veces que al pedir su apoyo siempre estuvo en la mejor disposición de apoyar.

**Dr. Martin Cadena Zapata** por la enseñanza que me dejo y por mostrar gran carácter para resolver los problemas que se presentan, gracias por ser un buen profesor y así como también un buen consejero de la vida.

Y a todos mis compañeros del Departamento de Maquinaria Agrícola por ayudarme a formarme profesionalmente y por todos esos momentos de aprendizaje donde me compartieron sus conocimientos y así salir adelante en mi formación académica.

## Dedicatorias

A mi madre **Alicia Pérez Cristino** por darme la vida y por mostrarme que en la vida no hay cosas imposibles, que solo hay una vida en la tierra y que cada segundo de la vida tenemos que aprovechar siendo lo más felices que se pueda, que la humildad en la humanidad es lo más importante y que el éxito consta de muchos sacrificios, que la paciencia es algo muy importante en nuestras vidas, gracias madre mía por darme todo ese amor incondicional que siempre necesite estando cerca y lejos de ti.

**Lucas Montalvo Romero** un padre que me enseñó que si no llega el apoyo de nadie, no hay que quedarse sentados esperándolo, que solo basta con mirar el objetivo y seguir sin importar cuantos muros hay que derribar, que en la vida hay momentos muy difíciles donde hay que tener paciencia para poder llegar a la meta, pero que el respeto nunca hay que perderlo y que nunca hay que mirar hacia abajo a menos que sea para ayudar a alguien que lo necesite.

A todos mis hermanos(as) **Adelaido, Alberto, Francisca, Perfecto, Lourdes, Mario, Rafael y Rosalba** por brindarme todo su apoyo en todos esos momentos donde más los necesite y por crecer a mi lado, fue una bendición compartir todos esos momentos de felicidad y esa infancia que nunca voy a olvidar, en casa de mis padres donde nunca nos faltó el cariño de mamá y donde ustedes fueron siempre un ejemplo a seguir, gracias por creer en mí y depositarme su confianza.

A **María de Lourdes Vázquez Esquivel** por ser la mujer quien me ha brindado felicidad y su apoyo incondicional en todos esos momentos difíciles, sacándome una sonrisa de alegría y hacerme ver que en tiempos difíciles hay que mantener la calma ya que el tiempo pasa muy rápido y solo queda dejar la mejor huella en cada paso que demos.

Mis sobrinos(as) **Silvana, Elizabeth, Ángel, Yoselin, Maribel, Selena, Alicia, Luis Omar, José Miguel, Jonatán y Karina, Alfredo, Adelaido**, gracias por regalarme esos momentos de alegría al verlos crecer y por toda esa confianza que depositan en mí y hacerme entender muchas cosas de la vida, que nunca hay que rendirse, porque atrás hay alguien que sigue nuestros pasos, gracias por todo.

## INDICE DE CONTENIDO.

INDICE DE CONTENIDO.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Objetivo general.....	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Hipótesis.....	15
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.1.1 Antecedentes de la labranza.....	16
2.1.2 Sistema de labranza.....	17
2.1.3 La labranza convencional.....	17
2.1.4 Labranza reducida.....	18
2.1.5 Labranza vertical.....	18
2.1.6 El subsolado.....	20
2.1.7 Acción sobre el suelo.....	21
2.1.8 Consumo de energía.....	21
2.1.9 Sistema de labranza vibratorio inducido.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1. Fase de Laboratorio.....	24
3.1.1. Calibración del Transductor Octagonal extendido (TOE).....	24
3.1.2. Diseño original.....	30
3.1.3. Proceso de maquinado de piezas.....	30
3.1.4. Presentación del Equipo.....	33
3.1.5. Medidor de velocidad angular.....	34
3.1.6. Componentes empleados para la medición de la velocidad angular:.....	35
3.2. Fase de campo.....	36

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	37
4.1. Resultados obtenidos en la calibración de la velocidad de oscilación del equipo empleando dos relaciones de transmisión. ....	37
4.2. Resultados de las mediciones de las magnitudes de las fuerzas aplicadas con dos diferentes relaciones de transmisión en la separación de datos positivos y negativos.....	42
4.2.1. ANALISIS DE DATOS POSITIVOS.....	44
4.2.2. ANALISIS DE DATOS NEGATIVOS. ....	50
4.3. Resultados de las mediciones de las magnitudes de las fuerzas aplicadas en la separación de datos positivos y negativos agrupando valores máximos a una frecuencia de 20 Hz. ....	55
4.3.1. ANALISIS DE DATOS POSITIVOS.....	56
4.3.2. ANALISIS DE DATOS NEGATIVOS .....	62
V. CONCLUSIONES.....	69
VI. LITERATURA CITADA.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 3.1. Diagrama del proceso de calibración del octagonal extendido. ....	25
Fig. 3.2. a) Posición de calibración vertical, b) Posición de calibración horizontal .....	26
Fig. 3.3. Brazo de palanca con dos distancias (0.85 y 0.65m) acoplado al torquímetro .....	27
Fig. 3.4 Diseño original del arado de cincel vibratorio. Partes que integran el aparato de verificación de parámetros de un subsolador vibratorio. (1) Cincel (2) Transductor octagonal extendido (3) Bastidor(4) llantas de control de profundidad (5) Sensor medidor de velocidad (6) Biela (trasmite movimiento al cincel) (7) Torquímetro (8) Motor hidráulico.....	30
Fig. 3.5 Maquinado de pieza para el para el acoplamiento de la flecha del motor Parker.....	31
Fig. 3.6 Maquinado de pieza para el acoplamiento del engrane de 19 dientes.....	31
Fig. 3.7 Barrenos para el acoplamiento de una chumacera. ....	32
Fig. 3.8 buje conector de la flecha y al engrane (1), Soporte del engrane (2), Chumacera (3) .....	32
Fig. 3.9 Cadena de paso 80 (4), Engrane de 19 dientes (5), Placa (6), Tensor (7), Engrane de 12 dientes (8).....	33
Fig. 3.10 Motor Parker.....	34
Fig. 3. 11 Sensor Optoelectronico infrarrojo de corte H21A1 (1), Display JHD162A (2).....	34
Fig. 3.12 Reprogramación del PIC16F84 con retardo de 5 Seg.....	35
Fig. 4. 1 Relación de engranes de 19:12.....	37
Fig. 4. 2 Relación de engranes de 19:9 .....	37
Fig. 4. 3 Sistema para la determinación de la velocidad angular. ....	38
Fig. 4. 4 Línea de ajuste entre la velocidad del motor hidráulico y la velocidad del eje de oscilación para una relación de transmisión de 19:12.....	40
Fig. 4. 5 Línea de ajuste entre la velocidad del motor hidráulico y la velocidad del eje de oscilación de 19:9 .....	41
Fig. 4. 6 Grafica ejemplo de datos originales de la fuerza de penetración. ....	42
Fig. 4. 7 Grafica de datos originales de la fuerza de penetración trasladado a cero ..	43
Fig. 4. 8 Separación de las fuerzas y torque de Positivos con Negativos .....	43
Fig. 4. 9 Reacomodo de datos de las fuerzas y torque solo positivos y en las siguientes columnas los negativos. ....	44
Fig. 4. 10 Análisis de la Fuerza Horizontal de datos positivos .....	45
Fig. 4. 11 Análisis de la Fuerza Vertical de datos positivos.....	46
Fig. 4. 12 Análisis del torque de datos positivos. ....	48
Fig. 4. 13 Análisis de la Fuerza Horizontal de datos negativos .....	50

Fig. 4. 14 Análisis de la Fuerza Vertical de datos negativos .....	52
Fig. 4. 15 Análisis del Torque de datos negativos .....	53
Fig. 4. 16 Valores máximos tomando cada 20 datos. ....	55
Fig. 4. 17 Fuerza Horizontal de datos con una frecuencia de muestreo de valores máximos a 20 Hz. ....	56
Fig. 4. 18 Fuerza Vertical de datos con una frecuencia de muestreo de valores máximos a 20 Hz. ....	58
Fig. 4. 19 Datos del torque obtenidos a una frecuencia de muestreo de valores máximo de 20 Hz. ....	60
Fig. 4. 20 Datos Negativos tomando valores máximos cada 20 datos .....	62
Fig. 4. 21 Fuerza Horizontal tomando valores máximos cada 20 datos. ....	63
Fig. 4. 22 Fuerza Vertical tomando valores máximos cada 20 datos. ....	65
Fig. 4. 23 Valores negativos del torque a 366 rpm cuando se agruparon valores máximos a una frecuencia de 20 datos.....	66

## ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 3. 1 Magnitudes de pesos para la aplicación de fuerzas .....	25
Cuadro 3. 2 Valores de voltajes para calibrar el octagonal .....	26
Cuadro 3. 3 Valores de voltajes para calibrar el torquímetro .....	28
Cuadro 3. 4 Factores a evaluar con sus variables. ....	36
Cuadro 4.1.1 Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de (19:12). ....	39
Cuadro 4.1.2 Análisis de varianza de la curva de calibración del sensor de velocidad con un a relación de transmisión de 19:12.....	39
Cuadro 4.1.3 Contraste de medias entre velocidades para una relación de transmisión 19:12.....	39
Cuadro 4.1.4 Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de (19:9). ....	40
Cuadro 4.1.5 Análisis de varianza de la curva de calibración del sensor de velocidad con un a relación de transmisión de 19:9.....	41
Cuadro 4.1.6 Contraste de medias entre velocidades para una relación de transmisión 19:9.....	41
Cuadro 4.2.1 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$ a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.....	45
Cuadro 4.2.2 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$ a una frecuencia de impacto de 366 RPM.....	46
Cuadro 4.2.3 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$ a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM. .....	47
Cuadro 4.2.4 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$ a una frecuencia de impacto de 366 RPM. .....	47
Cuadro 4.2. 5 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$ a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.....	48
Cuadro 4.2.6 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$ a una frecuencia de impacto de 366 RPM.....	49
Cuadro 4.2.7 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$ a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.....	50
Cuadro 4.2. 8 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$ a una frecuencia de impacto de 366 RPM.....	51
Cuadro 4.2. 9 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$ a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM. .....	52

Cuadro 4.2.10 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM. .....	53
Cuadro 4.2.11 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.....	54
Cuadro 4.2.12 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.....	54
Cuadro 4.3.1 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.....	57
Cuadro 4.3.2 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.....	57
Cuadro 4.3.3 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM. .....	59
Cuadro 4.3.4 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM. .....	59
Cuadro 4.3. 5 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.....	61
Cuadro 4.3. 6 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.....	61
Cuadro 4.3.7 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.....	63
Cuadro 4.3.8 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.....	64
Cuadro 4.3. 9 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM. .....	65
Cuadro 4.3.10 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h <sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM. .....	66

## RESUMEN.

Se llevó a cabo una evaluación del aparato construido para determinar el efecto de la magnitud de la potencia y fuerza de tiro en la labranza vibratoria inducida. Este aparato está integrado por un cincel vibratorio de 70 cm de largo así como por un sensor octagonal extendido con capacidad de 40 kN, así como de un torquimetro con capacidad de 30 kW y de un sensor de la velocidad angular. Se evaluó el equipo bajo condiciones de campo a una profundidad de trabajo promedio de 0.36m, a una velocidad de  $1.5\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$  y a 2 frecuencias de oscilación. Las evaluaciones se hicieron en parcela de 50m de largo. Los datos registrados durante las evaluaciones fueron: fuerza de tiro, fuerza de penetración, torque, velocidad de oscilación y velocidad de trabajo. Se observó que se requiere una menor fuerza de tiro cuando se incrementa la frecuencia de impacto. Esta se ve reducida en una proporción de 16.05 %. Así mismo la potencia aplicada se ve reducida de 3.27 a 2.71 kW cuando se incrementa la frecuencia de vibración. Se observó que el cambio de velocidad de impacto no tiene efecto sobre la magnitud de la fuerza de penetración. Se apreció que en el caso del torque no presenta diferencia cuando se aumenta la frecuencia de impacto con una media de 0.25 N-m, pero si hay una diferencia significativa en relación a la potencia aplicada y esta se ve incrementada en un 28%, cuando se aumenta la velocidad de 277.2 a 366 rpm. A pesar de que se registraron valores de fuerza de tiro cuando el cincel impacta en el suelo en su carrera de retorno en el orden de 0.23 y 0.63 kN para las frecuencias de impacto de 277.2 y de 366 rpm estas magnitudes no son significativas en comparación de la magnitud de la fuerza en su carrera de trabajo.

Palabras clave; Sistemas de labranza, acción sobre suelo, medición de velocidad angular

Correo electronico; Magdaleno Montalvo Perez, [Barcelona\\_w31@hotmail.com](mailto:Barcelona_w31@hotmail.com)

## I. INTRODUCCIÓN

La roturación vertical de los suelos es una práctica conocida desde 1860, cuando se comenzaron a usar cultivadoras de cincel; lamentablemente este sistema fue desplazado por la labranza horizontal en virtud de la popularidad que alcanzaron los implementos de discos y vertederas (Planchart, 2003). No obstante, desde hace varios años, se ha venido discutiendo el daño que se le está ocasionando a los suelos con las prácticas tradicionales de labranza, realizadas con los clásicos implementos de discos y vertederas, con los cuales se efectúan acciones inconvenientes para la conservación del recurso suelo, como son el volteo y mezclado de sus diferentes horizontes o capas.

Por otra parte la labranza vertical protege el suelo al conservar las distintas capas que lo conforman, evitando su degradación. La tierra se prepara utilizando implementos de punta que solo provocan acciones de roturación y desenterrado, por lo que si se utilizan residuos de cosecha el suelo queda con una cobertura en una superficie. Esta cobertura protege el suelo contra los procesos de erosión hídrica y eólica, e impide la formación de la costra superficial que retrasa o dificulta la emergencia de las plántulas. De igual manera, 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 antes de la siembra.

(FAO, 1997). La labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra esa preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30% sobre la superficie. Los implementos más comúnmente utilizados son el arado de cincel, la cultivadora de campo y el vibrocultivador.

La ventaja de utilizar 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 rastrojo 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. En cambio los discos de labranza convencional ocasionan capas duras.

(Velásquez, 2011) Debido a los diferentes tipos de implementos que se utilizan se genera la compactación del suelo, lo cual la utilización de un arado de subsuelo se considera 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.

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. En suelos bien drenados la mayor profundización de las raíces puede aumentar los rendimientos, especialmente en áreas con déficit de humedad. También se puede mejorar el drenaje de los suelos que presentan este problema, obteniendo mayores rendimientos. A menudo la subsolación de suelos arcillosos beneficia tanto el enraizamiento del cultivo como el drenaje del suelo y por lo tanto supera tanto los problemas de déficit de humedad en la época seca como el exceso de humedad en la época de lluvia.

Principalmente nosotros nos enfocamos a un sistema de labranza vertical, con un arado de cincel vibratorio con el objetivo de disminuir la demanda de potencia del tractor y con ello se pretende disminuir el consumo de combustible, obviamente a un cierto número de revoluciones que se pretende llegar, para poder aumentar el número de impacto en el suelo con el cincel.

## **1.1 Objetivo general**

Disminuir el consumo de energía en labranza primaria de suelos integrando tecnología de vibración inducida.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Validación de un aparato desarrollado para aplicar labranza vibratoria a diferentes profundidades, amplitudes y frecuencias.
- Determinación de potencia aplicada a la labranza vibratoria bajo dos frecuencias de oscilación.

### **1.3 Hipótesis**

Es posible disminuir la demanda de energía, mediante el uso del sistema de labranza vibratoria inducida.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA.**

La agricultura en México tiene una producción muy escasa y un cambio continuo de consumo conforme al crecimiento de la población, que obliga a tener una producción más alta y de mejor calidad obteniéndolos en base a cultivos cada vez más mecanizados, lo cual se refleja en la degradación de los suelos, que tiene como consecuencia un efecto irreversible como es el caso de la erosión, de tal modo que el avance tecnológico surge debido a la demanda de querer producir más intensamente sobre una unidad de suelos; esto ha implicado el requerimiento intenso de sistemas de labranza y que el abuso excesivo de maquinaria agrícola, con la creencia de que entre más disgrega el suelo mejor es su preparación para la producción de cultivos (Navarro *et al.*, 2000)

### **2.1.1 Antecedentes de la labranza.**

La labranza es una práctica común en más del 90% de las unidades de producción. Sin embargo, labranza significa solo el aplicar un paso de reja de arado con tracción animal, exceptuando seis casos en los cuales se realizan con tractor. No fue posible determinar un patrón de manejo de suelo por comunidad o grupos de unidades de producción o por tipos de suelos; existen otros niveles de manejo de suelo específico a los sistemas de plantación como en fronteras de parcelas y en siembras en contornos de acequias donde la labranza prácticamente es nula concretándose solamente a deshierbes en el mejor de los casos. (Schuller *et al.*, 2007) es una forma muy efectiva para modificar las características físicas superficiales del suelo, debido a su efecto sobre el espacio poroso (volumen, forma y continuidad de los poros), cobertura de residuos orgánicos y la rugosidad de la superficie. Sin embargo, los equipos tradicionales de labranza, tales como arados y rastras de disco producen rugosidad al azar debido al corte y reacomodo del suelo, con todas las consecuencias negativas asociadas.

Se define como la interacción de todas aquellas labores de perturbación mecánica del suelo que se realizan para crear condiciones favorables a la instalación y crecimiento de los cultivos agrícolas (Centeno y Gil, 1976). Gil (1988) menciona que la labranza es generalmente una aplicación de esfuerzos al suelo con el propósito de hacer una reducción del tamaño de agregados, cambiando las condiciones ambientales. Por lo tanto, esta práctica es de gran importancia en el proceso productivo, demandante de una gran cantidad de energía y condiciones ecológicas específicas para ser realizada.

### **2.1.2 Sistema de labranza.**

Existe un gran número de sistemas de labranza que varían con los implementos utilizados, las combinaciones de estos y las intensidades de laboreo; más aún, diferentes autores utilizan los mismos términos para sistemas distintos. De acuerdo con la FAO (2000). Los sistemas de labranza más importantes son la labranza convencional, labranza reducida, labranza en camellones, labranza vertical, labranza en bandas o franjas, labranza cero, los sistemas combinados de labranza-siembra y la labranza profunda o subsanación. Las labranzas se pueden especificar con base en el grado de remoción del suelo y la cobertura de rastrojos que queda de la siembra.

### **2.1.3 La labranza convencional.**

La labranza convencional involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos como labranza primaria, seguida por labranzas secundarias con la rastra de discos. El propósito principal de la labranza primaria es controlar las malezas por medio de su enterramiento, y el objetivo principal de la labranza secundaria es desmenuzar los agregados y crear una cama de siembra. El control de malezas siguiente se puede hacer por medio de cultivaciones o herbicidas. La desventaja de este sistema es que al suelo le falta una cubierta de protección de rastrojos y queda casi desnudo, por lo tanto es susceptible a las pérdidas de suelo y agua debido a los procesos de erosión.

#### **2.1.4 Labranza reducida.**

El término, se refiere a los sistemas de labranza donde hay menor frecuencia o menor intensidad de labranza, en comparación con el sistema convencional. Esta definición es bastante amplia y por lo tanto los sistemas de labranza que varían en los implementos, frecuencia e intensidad pueden ser considerados como la labranza reducida. Los tipos de implementos y el número de pasadas también varía; la consecuencia es que en algunos sistemas quedan muy pocos rastros y en otros más de 30%. Por esta razón algunos sistemas de labranza reducida son clasificados como labranza de conservación. En general, los sistemas de labranza reducida no ocupan el arado vertedera, ni el de discos.

La labranza reducida es el método más económico y efectivo de controlar la erosión. Esta práctica es esencial en muchas regiones donde la clave es mantener el rastrojo durante todo el año, además la labranza mínima requiere menos combustible y puede reducir el gasto de energía en 30 a 70%.

También ayuda a conservar la humedad del suelo, pues en muchos casos cuanto menos se labore el suelo, habrá menos escurrimientos y más retención del agua. El contenido de materia orgánica es más alto y eso también ayuda a retener más la humedad. Por eso la germinación de la semilla y la salida de plántula mejoran mucho. Menos paso de equipo pesado por el campo resulta una menor compactación del suelo y una mejor estructura del mismo (Bowen y Kratky, 1980).

#### **2.1.5 Labranza vertical.**

En la labranza vertical se rotura el suelo sin provocar su inversión, respetando la conformación natural de los horizontes, garantizando de esta manera la conservación de la estructura del suelo agrícola. Otra ventaja adicional muy importante, es que no se ocasiona el efecto de compactación por cizallamiento que producen los implementos de discos o vertederas, dando origen a los conocidos pisos de arado o capas endurecidas.

De igual manera protege el suelo al conservar las distintas capas que lo conforman, evitando su degradación. La tierra se prepara utilizando implementos de punta que solo provocan acciones de roturación y desterronado, por lo que si se utilizan residuos de cosecha el suelo queda con una cobertura en su superficie. Esta cobertura protege el suelo contra los procesos de erosión hídrica y eólica, e impide la formación de la costra superficial que retrasa o dificulta la emergencia de las plántulas. De igual manera, 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 antes de la siembra. (Planchart, 2003)

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 eficiencia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la 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 consiguiente es posible preparar entre 50 hasta 80% más de superficie por día con la labranza vertical, si se le compara con la labranza convencional.

(FAO, 1997). Lamentablemente no existe ningún implemento mecánico capaz de crear una estructura estable del suelo. La labranza mecanizada sólo puede destruirla. Por lo tanto, necesitamos un nuevo concepto de la labranza y sobre todo conocimientos profundos sobre la forma de intervención que estamos ejerciendo con cada uno de los equipos.

### **2.1.6 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. Además 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 rastros sobre el suelo.

### **2.1.7 Acción sobre el suelo.**

(FAO, 2000) Cada implemento tiene un rango de velocidad en el cual el resultado del trabajo es el mejor; para arados de vertedera cilíndrica y vertical con velocidades bajas, hasta 4 o 5 Km/h; para vertederas helicoidales e inclinadas puede ser hasta 10 Km/h. Sin embargo a más alta velocidad el arado pulveriza demasiado el suelo y lo tira demasiado lejos. Al contrario, el arado de cincel y la rastra de púas solo trabajan bien con velocidades comprendidas entre 8 y 12 Km/h porque desmenuzan y mezclan los grumos por impacto. Por otro lado las rastras de púas o la de disco usadas con tracción animal no tienen tanto efecto de pulverización sino solamente de nivelación.

### **2.1.8 Consumo de energía**

(FAO, 2000) Con el aumento de velocidad de labranza hay un aumento exponencial de la fuerza de tiro y por lo tanto de la energía necesaria. Esto se refleja en el consumo de combustible del tractor y así como los costos operativos. Por esta razón el aumento de velocidad no es la manera adecuada para aumentar el rendimiento de una operación de labranza: con la doble velocidad ( $8 \text{ Km-h}^{-1}$  en vez de  $4 \text{ Km-h}^{-1}$ ) se duplica el rendimiento pero se necesitan cuatro veces más energía y combustible.

### **2.1.9 Sistema de labranza vibratorio inducido.**

El desarrollo en la construcción de máquinas agrícolas ha propiciado que en la actualidad exista una gran diversidad, con las características más disímiles en función del tipo de labor a realizar, las exigencias agrotécnicas de los cultivos, y las condiciones de suelo y ambiente donde laboran. Los aperos de labranza no escapan a esta realidad, siendo uno de las que más acaparan la atención de productores e investigadores, debido a la gran variedad de condiciones de suelo a laborar.

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. Según Leyva (2009), los de brazos rígidos poseen un mayor requerimiento traccional, 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 traccional, disminuyéndola en 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); 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 se requiere 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, o de masas desbalanceadas (Leyva, 2009).

Según 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.

A pesar de las diferencias entre los distintos métodos de excitación en los escarificadores que vibran de manera forzada y libre, los resultados de las investigaciones experimentales muestran, que la demanda de resistencia traccional no difiere significativamente para ambos tipos de escarificadores (Soeharsono y Radite, 2010).

Según Awad-Allah *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 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.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se describe el proceso para las pruebas realizadas, una parte fue en laboratorio lo cual se describe el maquinado de piezas y en otra parte se describe la fase de campo, donde se llevaron a cabo las pruebas del arado de cincel vibratorio.

#### 3.1. Fase de Laboratorio.

##### 3.1.1. Calibración del Transductor Octagonal extendido (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 el software de *LogView*, *Excel*, *Minitab V15* y *Matlab R2010a*.
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. Además suministra el voltaje de excitación al sensor en un rango de 1 - 10 V y 100 mA.
3. Convertidor analógico – digital LogBook360. Es un módulo interconectado entre el DBK43A y la computadora por medio del cable de ethernet, 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 y 64  $kNm$  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 (N)
3	470.88
1	716.13
2	343.35
2	294.30

### 3.1.2. Proceso de calibración del transductor octagonal

En la (Fig.3.1) se muestra el diagrama del proceso de calibración del octagonal para las fuerzas horizontal y vertical



**Fig. 3.1. Diagrama del proceso de calibración del octagonal extendido.**

### 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 donde se pueda simular la aplicación de fuerzas de roturación de suelo en laboratorio.

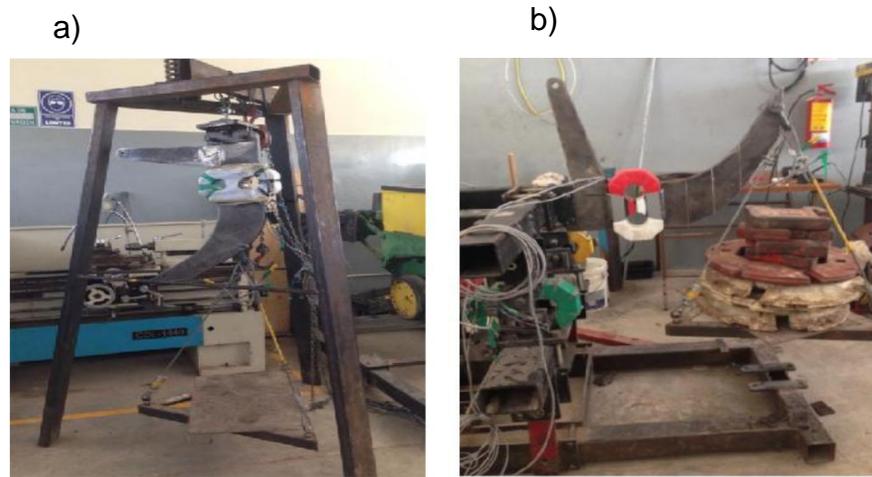


Fig. 3.2. a) Posición de calibración vertical, b) Posición de calibración horizontal

### 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, canal 5 y cable negro-verde, canal 6.

Verificar los valores que se muestran en el (Cuadro 3.2).

**Cuadro 3. 2 Valores de voltajes para calibrar el octagonal**

SENSOR	CABLE	CANAL	VOLTAJE DE EXCITACIÓN	GAIN (V)	SCALING (V)
	Negro- Azul	CH 5	5.5	4.5	4.5
<b>Octagonal</b>	Negro- Verde	CH 6	5.5	4.5	4.5

Los voltajes de ganancia (gain) y escalamiento (scaling) se visualizan en el software LogView y se ajustan en el DBK43A, 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 *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 realizaron en intervalos de 400 datos, al iniciar y finalizar se dejaron 400 datos como referencia del peso cero. Y con ello obtener graficas escalonadas para su posterior análisis

### 3.1.6 Calibración del taquímetro

Se utilizó el diagrama de flujo mostrado en la (Fig. 3.1)

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 y 0.65 *m* de largo que convirtiera la fuerza vertical en par torsional como se muestra en la (Fig. 3. 3).



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

Se utilizaron cuatro pesos en total, dos de 294.30 y dos de 343.35  $N$ , en ese orden de ascenso y descenso contrario.

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

La toma de datos se realizaron 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 voltajes para calibrar el torquímetro**

SENAOR	CABLE	CANAL	VOLTAJE DE EXITACION	GAIN (V)	SCAILING (V)
Torquímetro	Blanco-Amarillo	HC 7	9.5	2.5	2.5

### 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 toman siempre los valores absolutos. Los primeros y últimos 400 datos representan la carga cero, por tanto 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 V15* Para obtener la ecuación de calibración y la correlación existente.

En caso del torquímetro los datos se ordenaron de forma decreciente en kN-m 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 (N-m) y la velocidad angular ( $\text{Rad-S}^{-1}$ ), 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:

Dos micro controladores PIC16F84A, la hoja de datos se puede consultar en el Anexo A. 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 optoelectrónico infrarrojo de corte H21A1 la hoja de datos se puede consultar en el Anexo B.

Un encoder con 5 muescas por revolución, montado en la flecha donde se encuentra la biela que trasmite la potencia al cincel oscilatorio, este interrumpe la señal del sensor óptico generando las señales digitales.

Se colocó también un capacitor cerámico entre la señal de salida y tierra para evitar los rebotes, con capacidad de  $0.1 \mu\text{f}$  (104), para mejorar la calidad de respuesta en función del número de pulsos a registrar.

Un display JHD162A en el que se visualiza la frecuencia a la que está girando la flecha.

### 3.1.2. Diseño original.

El diseño de la propuesta original de (Murguía, 2015) a ser rediseñado para el aumento de revoluciones en la flecha que transmite la fuerza al cincel y así aumentar las vibraciones.

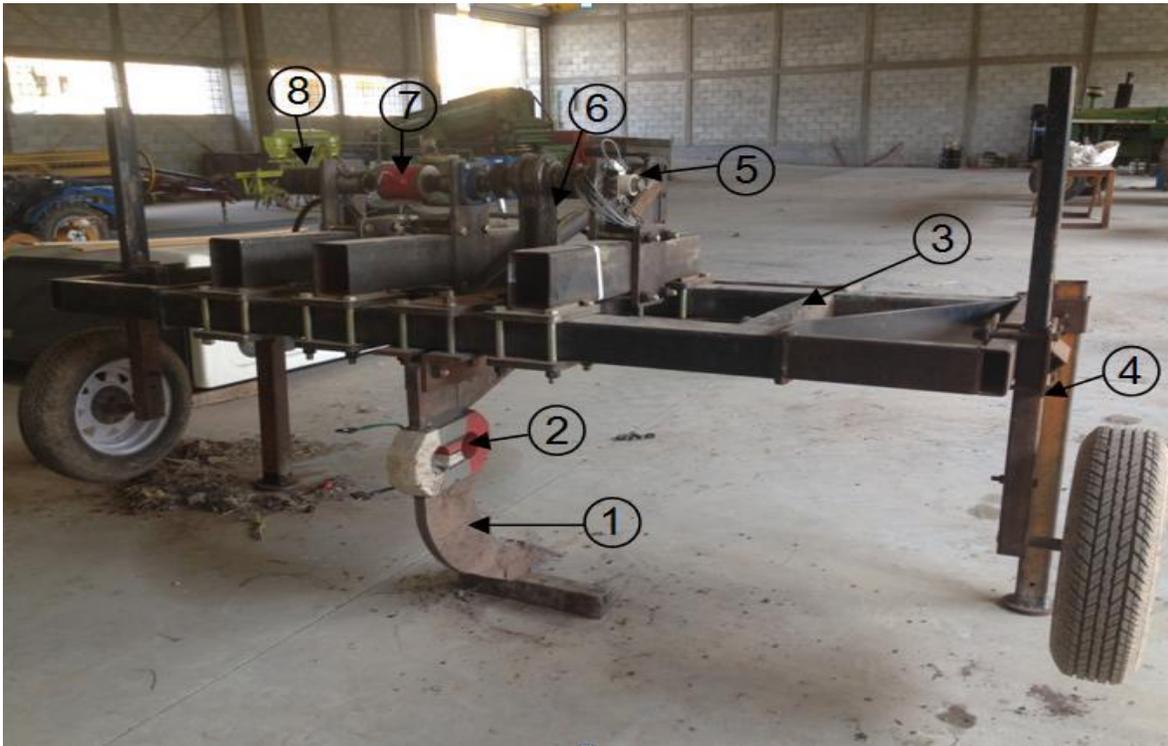


Fig. 3.4 Diseño original del arado de cincel vibratorio. Partes que integran el aparato de verificación de parámetros de un subsolador vibratorio. (1) Cincel (2) Transductor octagonal extendido (3) Bastidor (4) llantas de control de profundidad (5) Sensor medidor de velocidad (6) Biela (trasmite movimiento al cincel) (7) Torquímetro (8) Motor hidráulico.

### 3.1.3. Proceso de maquinado de piezas.

Maquinado de piezas en el torno convencional, que se realizó en el taller de Máquinas y Herramientas del Departamento de Maquinaria Agrícola, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, imágenes mostradas sobre el proceso de maquinado de piezas, para el acoplamiento de engranes al motor Parker.

Esta pieza sirvió como aumento de la flecha del motor Parker en la cual embona, ya que la flecha se encuentra reducida de longitud, a la vez conecta la flecha y el engrane, se podría considerar como un buje.



**Fig. 3.5 Maquinado de pieza para el para el acoplamiento de la flecha del motor Parker.**

En la fig. 3.2 Se muestra el maquinado para el soporte del engrane de 19 dientes, también fue soldado al engrane con la finalidad de tener mayor seguridad de que no pueda correrse, esta pieza va conectada al engrane y a la vez con la otra pieza antes mencionado en la fig. 3.2, con la cual también fue soldado.



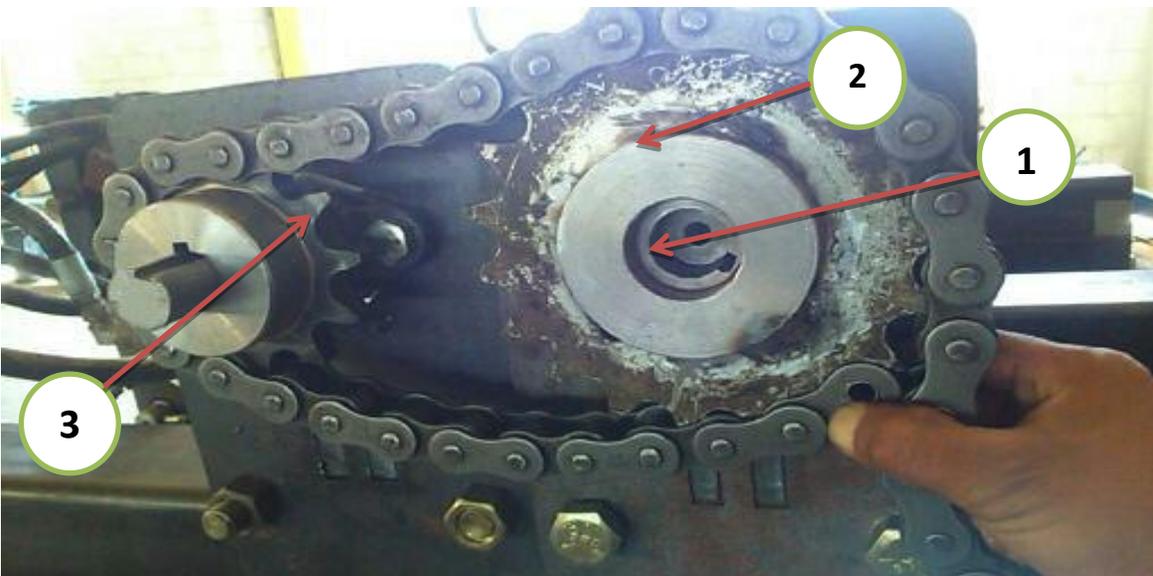
**Fig. 3.6 Maquinado de pieza para el acoplamiento del engrane de 19 dientes.**

En la fig. 3.4 se muestra los barrenos de la placa para una chumacera, en la cual va el engrane de 9 y de 12 dientes con las cuales se realizaron las pruebas. En esta placa se atornilla la chumacera la cual atraviesa la flecha con la que conecta al torquimetro.



**Fig. 3.7 Barrenos para el acoplamiento de una chumacera.**

En la fig. 3.5 se hace una presentación de las piezas antes maquinados, también se muestra los dos engranes de las cuales se mencionaban anteriormente, la flecha que embona con el engrane de 12 dientes y la chumacera establecida en la placa.



**Fig. 3.8 buje conector de la flecha y al engrane (1), Soporte del engrane (2), Chumacera (3)**

### 3.1.4. Presentación del Equipo

En la siguiente Fig. 3.6 se hacemos la presentación del equipo ya terminado, todos las partes que lo conforman, una cadena de paso 80, el engrane de 19 dientes, dos placas para montar el engrane antes mencionado y en la parte trasera está montado el motor Parker, también se implementó un tensor para evitar que la cadena tienda a salir, esto también con la finalidad de tensar la cadena, también se muestra el engrande de 12 dientes con la cual se realizó una de las pruebas (19-12) y para la prueba de (19-9) fue de la misma manera, solo se cambió el engrane.

Como se muestra en la Fig. 3.6 también se soldaron las dos placas para evitar que se corrieran o bien alguna de ellas pudiera moverse con la fuerza que se trabaja en campo.

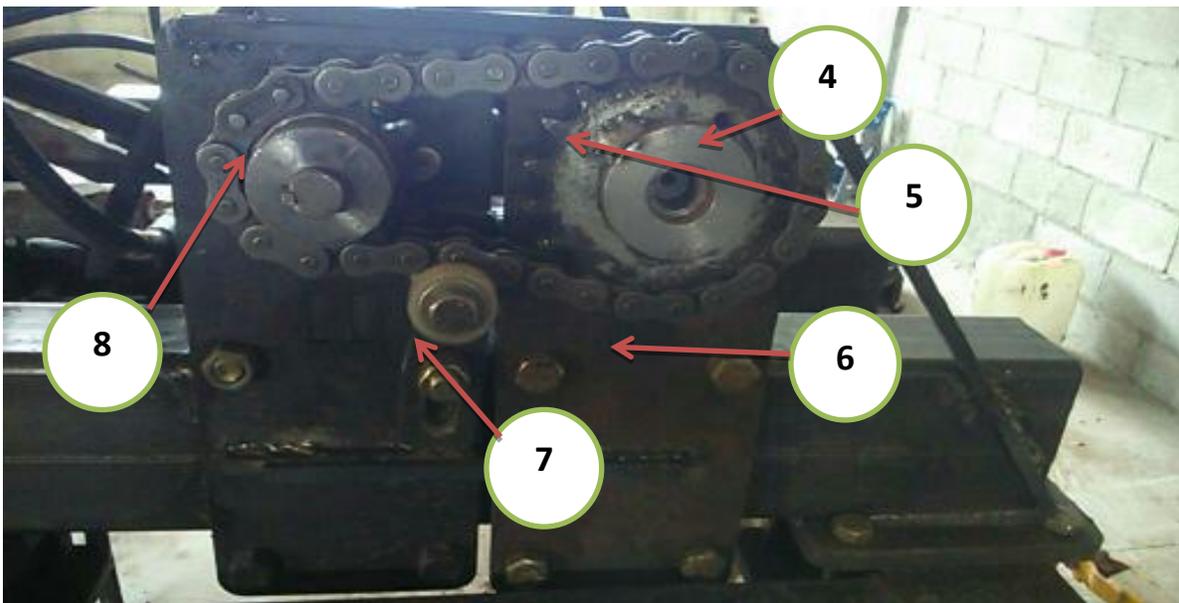


Fig. 3.9 Cadena de paso 80 (4), Engrane de 19 dientes (5), Placa (6), Tensor (7), Engrane de 12 dientes (8).

En la siguiente Figura 3.10 se muestra el motor Parker con la cual se realizaron las pruebas.



Fig. 3.10 Motor Parker.

### 3.1.5. Medidor de velocidad angular.

Antes de llevar a cabo la adquisición de datos para medir la velocidad angular, se realizaron pruebas en laboratorio, mandando señal en un sensor optoelectrónico infrarrojo de corte H21A1 para verificar que realmente este mandando señal al Display JHD162A.

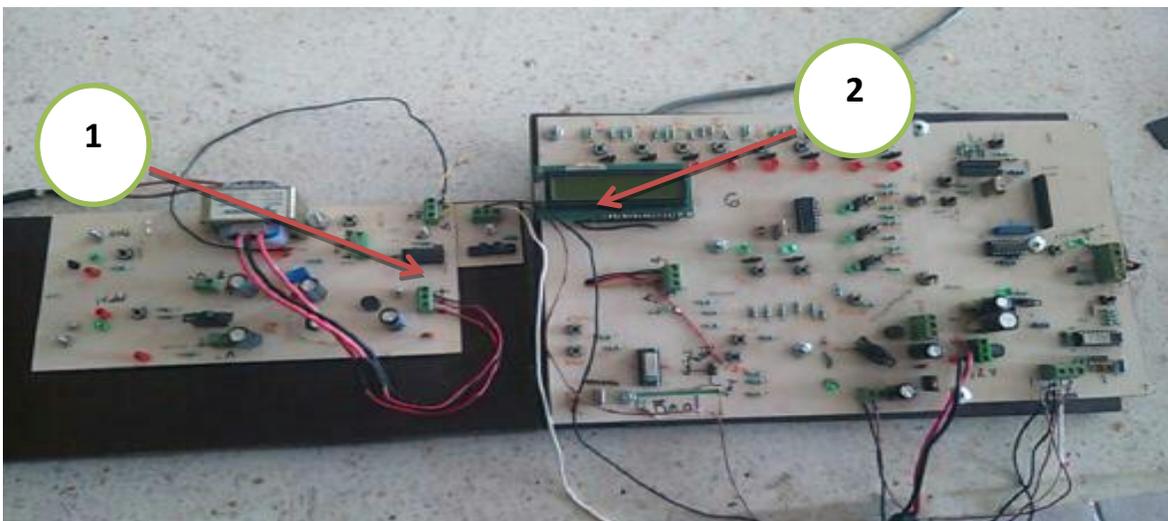


Fig. 3.11 Sensor Optoelectrónico infrarrojo de corte H21A1 (1), Display JHD162A (2).

De las pruebas realizadas visualizamos que el programa tiene un cierto límite para la adquisición de datos, por lo cual se tuvo la necesidad de reprogramar para poner un retardo de 5 segundos en la adquisición de los datos, ya que anterior desarrollado por (Murguía, 2015), tenía un retardo de 10 segundos, por lo tanto se tuvo que reprogramar el PIC16F84 como se muestra en la Fig. 3.9



Fig. 3.12 Reprogramación del PIC16F84 con retardo de 5 Seg.

### **3.1.6. Componentes empleados para la medición de la velocidad angular:**

Dos micro controladores PIC16F84A, ya que por el uso que se le puede dar así como también se adapta fácilmente para industriales, aparatos sensores remotos para automóviles de bajo consumo etc., con lo cual se escogió esta herramienta para poder medir la velocidad angular de nuestro equipo.

Un Sensor optoelectrónico infrarrojo de corte H21A1. Que manda las señales al Display JHD162A, donde posteriormente se puede visualizar la frecuencia con la que está girando la flecha.

Un encoder con 5 muescas por revolución, montado en la flecha donde se encuentra la biela que trasmite la potencia al cincel oscilatorio, este interrumpe la señal del sensor óptico generando las señales digitales.

### 3.2. Fase de campo

En la fase de campo con base a la tesis de (Murguía, 2015) se evaluaron los siguientes factores que afectan el consumo de energía, combinando la teoría vibratoria, velocidad y profundidad de trabajo, se hizo un total de 10 pruebas donde se realizaron 4 repeticiones con una combinación de engranes de (19-9 dientes), 4 de (19-12) y con 2 pruebas testigo sin vibración, con una profundidad de 0.36 m.

Las pruebas realizadas se llevaron a cabo a una distancia de 50m de largo, tomando 2500 datos a una profundidad de 0.36 m y con una frecuencia de 20 Hz, dejando 1 m entre corrida y corrida de cincel, con la idea de que el suelo se pudo haber disturbado si es menor la distancia en cada corrida.

**Cuadro 3. 4 Factores a evaluar con sus variables.**

<b>Factores a evaluar con sus variables</b>	
<b>Factor</b>	<b>Variable</b>
Velocidad	1.5Km/h
Amplitud	70 mm
Profundidad	0.36m

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.**

##### **4.1. Resultados obtenidos en la calibración de la velocidad de oscilación del equipo empleando dos relaciones de transmisión.**

En la Fig. 4.1 y 4.2 se muestran las dos relaciones de transmisión empleadas en el proceso de evaluación del aparato de labranza vibratorio inducido. La primera figura muestra la relación de 19:12 y la segunda relación empleada fue con 19:9. Estas relaciones permitieron el incremento en la misma proporción de 1.583 y de 2.11 en relación a la transmisión directa de 1:1 como se muestra en la Figura 4.1.



**Fig. 4.1** Relación de engranes de 19:12



**Fig. 4.2** Relación de engranes de 19:9

En la Fig. 4.3 se muestra el sistema empleado para la determinación de las revoluciones conectada al eje vibratorio como se describe en el capítulo de metodología.



**Fig. 4. 3 Sistema para la determinación de la velocidad angular.**

En el Cuadro (4.1.1) se muestra la relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de 19:12. El registro del número de pulsos fue multiplicado por una constante de 2.7 la cual fue obtenida durante la calibración del sensor de velocidad, el cual tiene cinco muescas por revolución, el procedimiento de la obtención de la constante de la constante se explicó en el capítulo de materiales y métodos. En los Cuadros (4.1.2 y 4.1.3) muestra que existe una diferencia significativa entre las revoluciones aplicadas al eje vibratorio en comparación con las revoluciones del motor.

**Cuadro 4.1.1 Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de (19:12).**

	Revoluciones del motor			Revoluciones del motor		
	1500	1700	2000	1500	1700	2000
	Numero de pulsos del sensor por minuto			RPM de la flecha de oscilación		
	94	107	116	225.6	256.8	278.4
	94	106	115	225.6	254.4	276
	93	105	115	223.2	252.0	276
	94	105	115	225.6	252	276
	93	104	116	223.2	249.6	278.4
	93	104	116	223.2	249.6	278.4
<b>Media</b>	<b>93.5</b>	<b>105.16</b>	<b>115.5</b>	<b>224.4</b>	<b>252.4</b>	<b>277.2</b>

**Cuadro 4.1.2 Análisis de varianza de la curva de calibración del sensor de velocidad con un a relación de transmisión de 19:12**

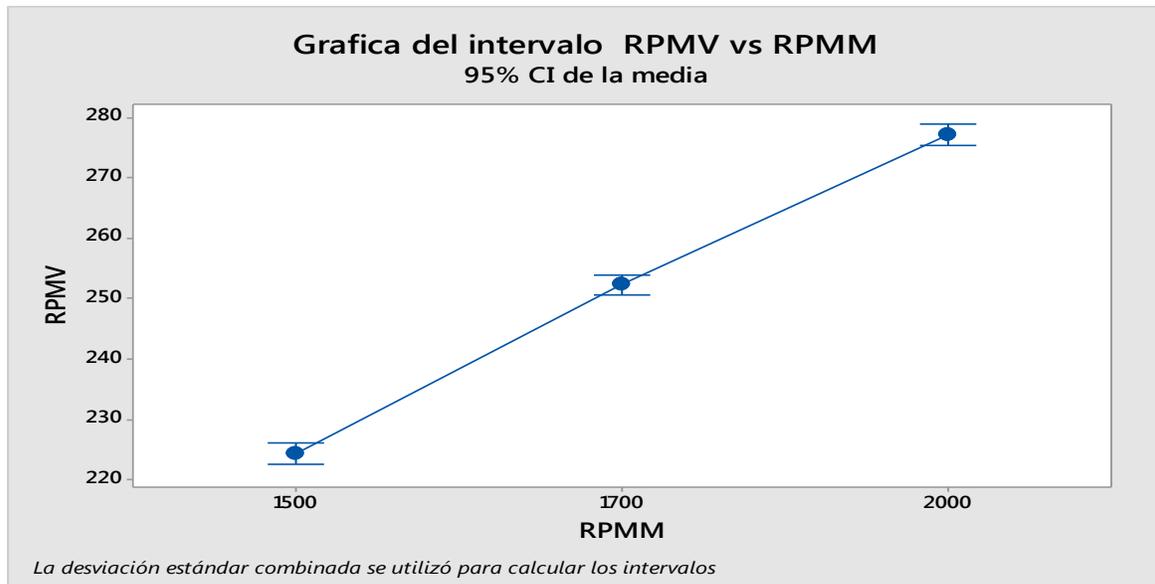
Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
RPMM	2	8373.76	4186.88	1108.81	0.000
Error	15	56.64	3.78		
Total	17	8430.40			

R-sq 99.33%

**Cuadro 4.1.3 Contraste de medias entre velocidades para una relación de transmisión 19:12**

RPMM	N	Medias	StDev	Agrupamiento
2000	6	277.200	1.315	A
1700	6	252.40	2.810	B
1500	6	224.400	1.315	C

Medias que no comparten la misma letra tienen diferencia significativa. Tukey Simultanea IC del 95%.



**Fig. 4. 4** Línea de ajuste entre la velocidad del motor hidráulico y la velocidad del eje de oscilación para una relación de transmisión de 19:12

En el cuadro (4.1.4) se muestra la relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de 19:9. En los Cuadros (4.1.5 y 4.1.6) muestran que existe una diferencia significativa entre las revoluciones aplicadas al eje vibratorio en comparación con las revoluciones del motor.

**Cuadro 4.1.4** Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de (19:9).

Revoluciones del motor			Revoluciones del motor			
1500	1700	2000	1500	1700	2000	
Numero de pulsos del sensor por minuto			RPM de la flecha de oscilación			
111.0	140.0	153.0	266.4	336.0	367.2	
120.0	140.0	153.0	288.0	336.0	367.2	
124.0	139.0	153.0	297.6	333.6	367.2	
124.0	138.0	152.0	297.6	331.2	364.8	
124.0	137.0	152.0	297.6	328.8	364.8	
123.0	136.0	152.0	295.2	326.4	364.8	
<b>Media</b>	<b>121.0</b>	<b>138.3</b>	<b>152.5</b>	<b>290.4</b>	<b>332.0</b>	<b>366.0</b>

**Cuadro 4.1.5 Análisis de varianza de la curva de calibración del sensor de velocidad con un a relación de transmisión de 19:9**

**Análisis de varianza**

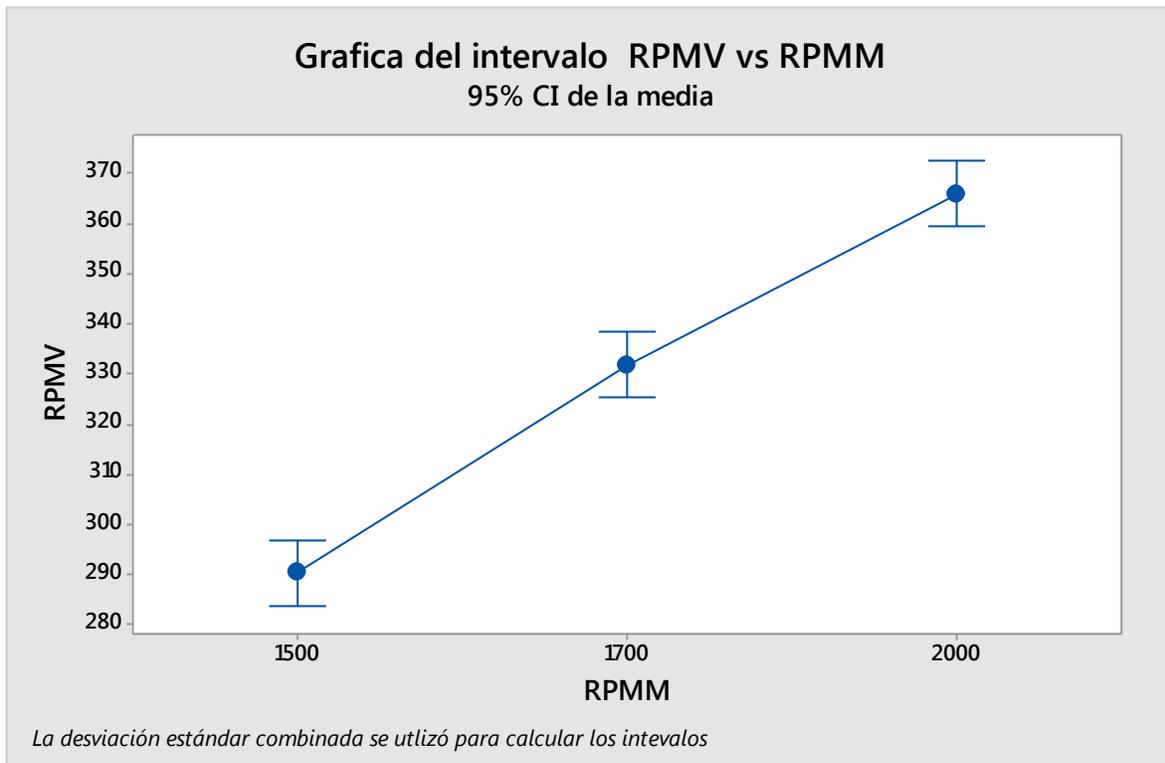
Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
RPMM	2	17203.8	8601.92	152.56	0.000
Error	15	845.8	56.38		
Total	17	18049.6			

R-sq 95.31%

**Cuadro 4.1.6 Contraste de medias entre velocidades para una relación de transmisión 19:9**

RPMM	N	Media	St Dev	Agrupamiento
2000	6	366.000	1.315	A
1700	6	332.000	3.920	B
1500	6	290.400	12.330	C

Las medias que no comparten una misma letra tienen diferencia significativa Tukey Simultanea IC del 95%



**Fig. 4. 5 Línea de ajuste entre la velocidad del motor hidráulico y la velocidad del eje de oscilación de 19:9**

#### 4.2. Resultados de las mediciones de las magnitudes de las fuerzas aplicadas con dos diferentes relaciones de transmisión en la separación de datos positivos y negativos.

El análisis mostrados en los siguientes cuadros de resultados se hicieron separando los valores de impacto positivos y negativos arrojados por las gráficas de evaluación, para determinar la efectiva fuerza de tiro, fuerza de penetración y torque del ciclo de trabajo efectivo. En las Figuras Fig. 4.6 y Fig. 4.7, se muestran la manipulación de los datos en Excel para separar la parte de trabajo efectivo de la parte de la carrera que no realiza ningún laboreo de suelo.

Para la separación de datos, primeramente se traslada la gráfica a 0, para poder hacer la separación de datos, como se muestra en la Fig. 4.8 y 4.9

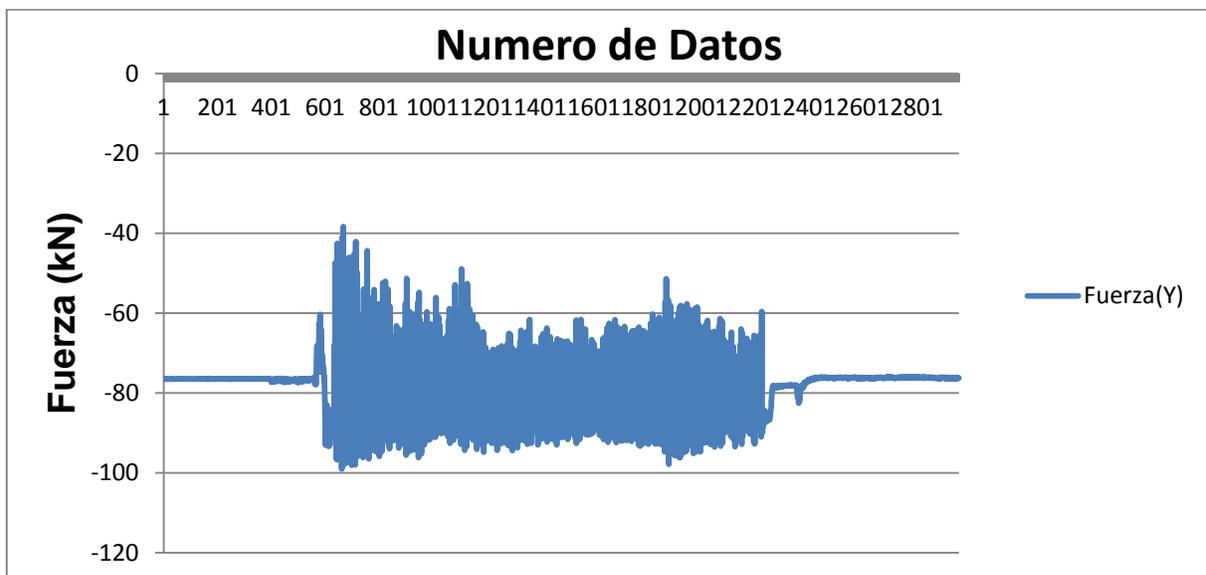


Fig. 4. 6 Grafica ejemplo de datos originales de la fuerza de penetración.

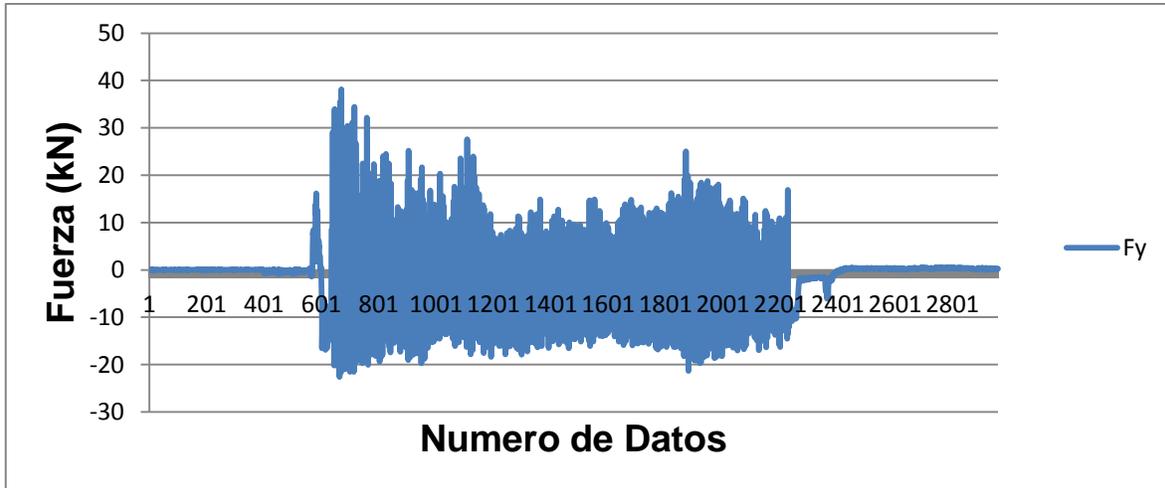


Fig. 4. 7 Grafica de datos originales de la fuerza de penetración trasladado a cero

Continuando con el proceso se utilizan las siguientes funciones para la separación de los datos.

Función para la separación de **positivos** =IF(E4>0,E4,"")

Función para la separación de **negativos** =IF(E4<0,E4,"")

	Fuerza (Y)	Fuerza(X)	Torque	Fy	Fx	Fx	T	Fy	Fy	Fx	Fx	T	T
	Vertical	Horizontal	Torque	Positivo	Negativo								
3	-77.8575	12.1398	0.1247	0	-12.1398	0	0.0000						
4	-77.8875	12.1398	0.1246	0.03	-12.1398	0	-0.0001	0.03					-0.00014
5	-77.76	12.198	0.1243	-0.0975	-12.198	-0.05824	-0.0004		-0.0975	-0.05824			-0.00041
6	-77.8875	12.2128	0.1252	0.03	-12.2128	-0.07304	0.0005	0.03		-0.07304	0.00049		
7	-77.76	12.1837	0.1249	-0.0975	-12.1837	-0.04392	0.0001		-0.0975	-0.04392	0.00014		
8	-77.8725	12.2052	0.1241	0.015	-12.2052	-0.0654	-0.0006	0.015		-0.0654			-0.00062
9	-77.805	12.1761	0.1250	-0.0525	-12.1761	-0.03628	0.0002		-0.0525	-0.03628	0.00021		
10	-77.85	12.1546	0.1245	-0.0075	-12.1546	-0.0148	-0.0002		-0.0075	-0.0148			-0.00021
11	-77.85	12.1255	0.1246	-0.0075	-12.1255	0.01432	-0.0001		-0.0075	0.01432			-0.00014
12	-77.8125	12.1761	0.1249	-0.045	-12.1761	-0.03628	0.0001		-0.045	-0.03628	0.00014		
13	-77.85	12.2563	0.1246	-0.0075	-12.2563	-0.11649	-0.0001		-0.0075	-0.11649			-0.00014
14	-77.85	12.1618	0.1247	-0.0075	-12.1618	-0.02196	0.0000		-0.0075	-0.02196			
15	-77.8125	12.147	0.1247	-0.045	-12.147	-0.00716	0.0000		-0.045	-0.00716			
16	-77.895	12.1546	0.1247	0.0375	-12.1546	-0.0148	-0.0001	0.0375		-0.0148			-6.8E-05
17	-77.8575	12.1837	0.1247	0	-12.1837	-0.04392	-0.0001			-0.04392			-6.8E-05
18	-77.715	12.1837	0.1253	-0.1425	-12.1837	-0.04392	0.0006		-0.1425	-0.04392	0.00055		
19	-77.94	12.1398	0.1245	0.0825	-12.1398	0	-0.0002	0.0825					-0.00021

Fig. 4. 8 Separación de las fuerzas y torque de Positivos con Negativos

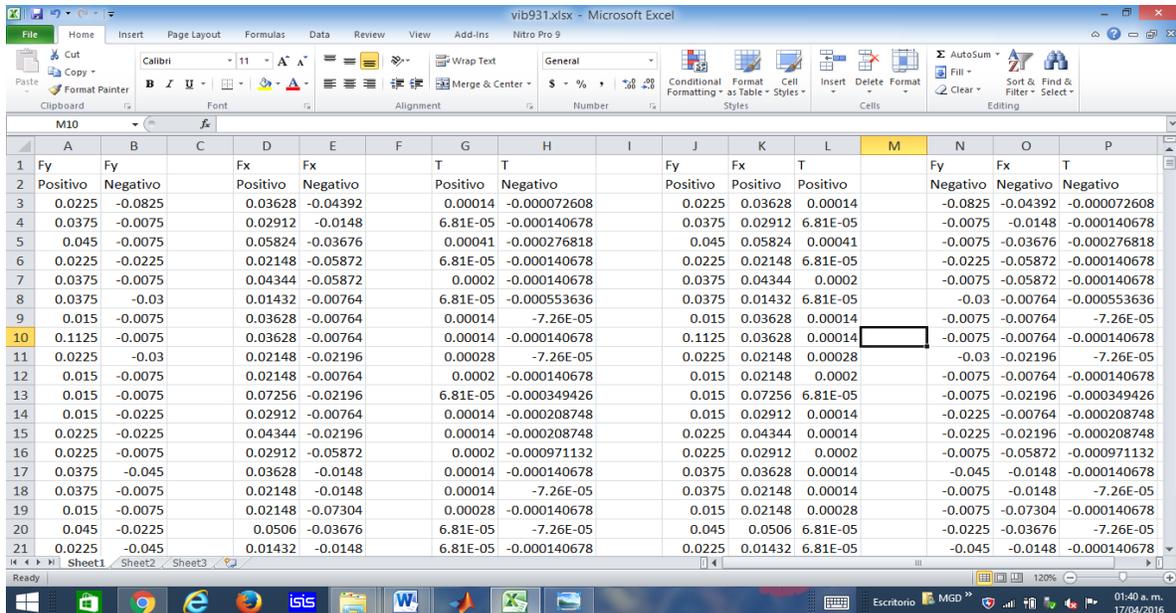


Fig. 4. 9 Reacomodo de datos de las fuerzas y torque solo positivos y en las siguientes columnas los negativos.

## 4.2.1. ANALISIS DE DATOS POSITIVOS

### 4.2.1.1. Fuerza Horizontal

En la Fig. 4.10 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de tiro trabajando a  $1.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  con una velocidad media de oscilación de 277.2 rpm para esto se llevó a cabo un análisis espectral empleando el programa analisis3 en el ambiente *MatLab R2010a*, considerando en esto toda la magnitud del espectro de las mediciones positivos.

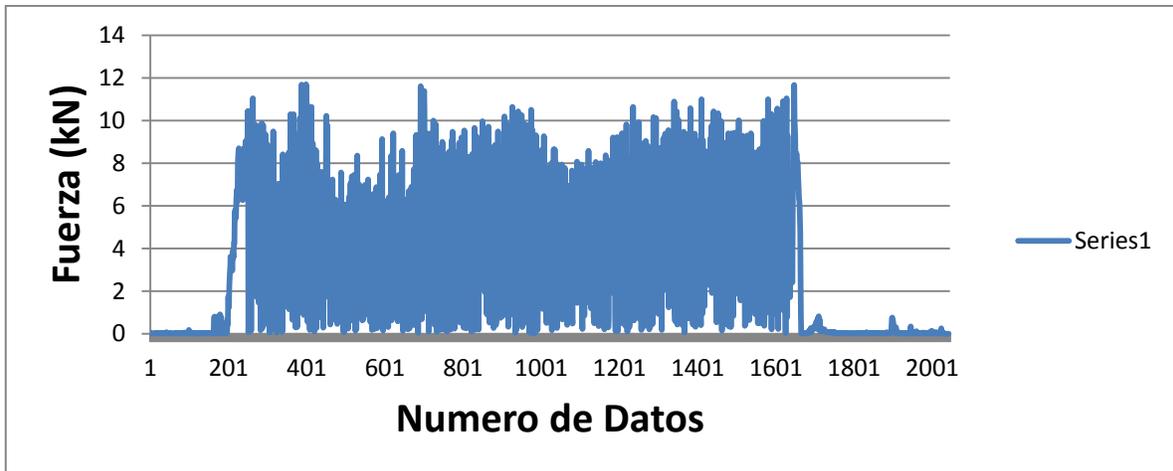


Fig. 4. 10 Análisis de la Fuerza Horizontal de datos positivos

El Cuadro 4.2.1 Muestra la media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de  $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$  a una frecuencia de impacto de 277.2 rpm. Con la relación de engranes de 19:12 dientes. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 7.85 kN y el valor de la potencia aplicada de la velocidad respectiva 3.27 kW

**Cuadro 4.2.1 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de  $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$  a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas(19-12)	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	5.94	4.30	10.25
R2	3.93	1.46	5.40
R3	4.83	2.03	6.86
R4	6.04	2.84	8.89
<b>Media</b>	<b>5.18</b>	<b>2.65</b>	<b>7.85</b>

El Cuadro 4.2.2 Muestra la media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de  $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$  a una frecuencia de impacto de 366 rpm. Con la relación de engranes de 19:9 dientes. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 6.51 kN y el valor de la potencia aplicada de la velocidad respectiva fue de 2.71 kW.

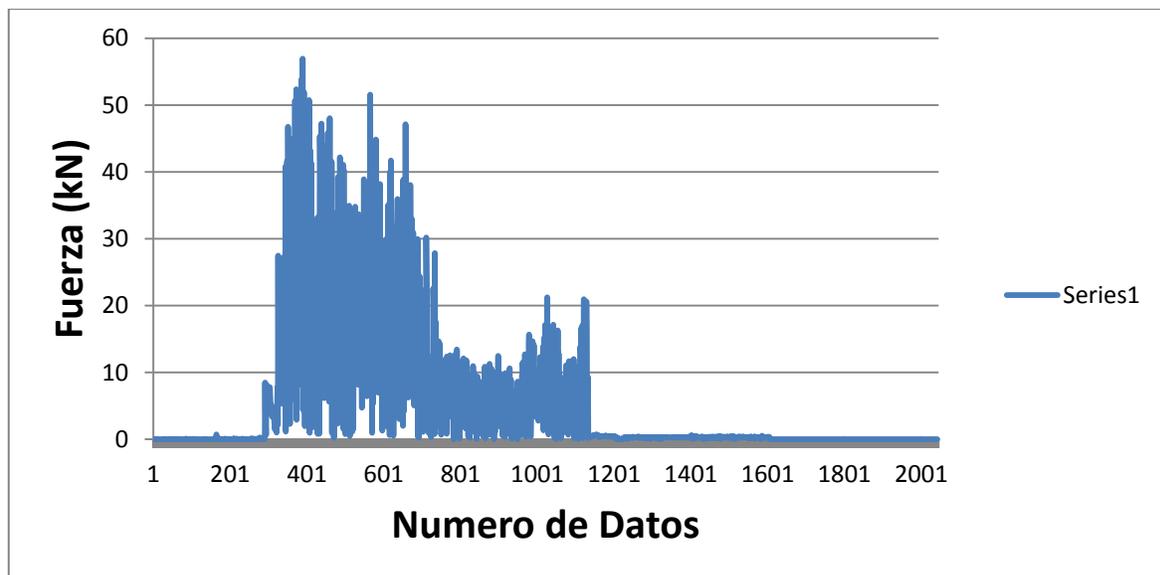
**Cuadro 4.2.2 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas(19-9)	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	5.47	1.34	6.82
R2	3.84	3.81	7.66
R3	4.81	1.49	6.30
R4	1.88	3.37	5.26
<b>Media</b>	<b>4.00</b>	<b>2.50</b>	<b>6.51</b>

Del Cuadro 4.2.1 y 4.2.2 Podemos observar que se requiere una menor fuerza de tiro cuando se incrementa la frecuencia de impacto. Esta se ve reducida en una proporción de 16.05 %, lo cual es favorable.

#### 4.2.1.2. Fuerza vertical

En la Fig. 4.11 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de penetración trabajando a 1.5 km-h<sup>-1</sup> con una velocidad media de oscilación de 277.2 rpm.



**Fig. 4. 11 Análisis de la Fuerza Vertical de datos positivos**

En el Cuadro 4.2.3 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el espectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 9.98 kN. Con la relación de engranes de 19:12 dientes

**Cuadro 4.2.3 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas(19-12)	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	6.84	1.41	8.26
R2	7.85	1.36	9.22
R3	9.28	2.25	11.54
R4	8.69	2.20	10.90
<b>Media</b>	<b>8.16</b>	<b>1.80</b>	<b>9.98</b>

En el Cuadro 4.2.4 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el espectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 9.89 kN. Con la relación de engranes de 19:9 dientes.

**Cuadro 4.2.4 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas(19-9)	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	6.43	1.11	7.55
R2	6.17	1.55	7.72
R3	6.06	1.13	7.20
R4	10.51	6.58	17.09
<b>Media</b>	<b>7.29</b>	<b>2.59</b>	<b>9.89</b>

Del Cuadro 4.2.3 y 4.2.4 Podemos observar que la fuerza de penetración es casi proporcional cuando se incrementa la frecuencia de impacto. Esta se ve reducida en una proporción del 0.90 %, lo cual no es significativo y por consecuencia se puede considerar que es de la misma magnitud.

### 4.2.1.3. Torque

En la Fig. 4.12 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de torque trabajando a la misma velocidad de  $1.5 \text{ km-h}^{-1}$  con una velocidad media de oscilación de 277.2 rpm.

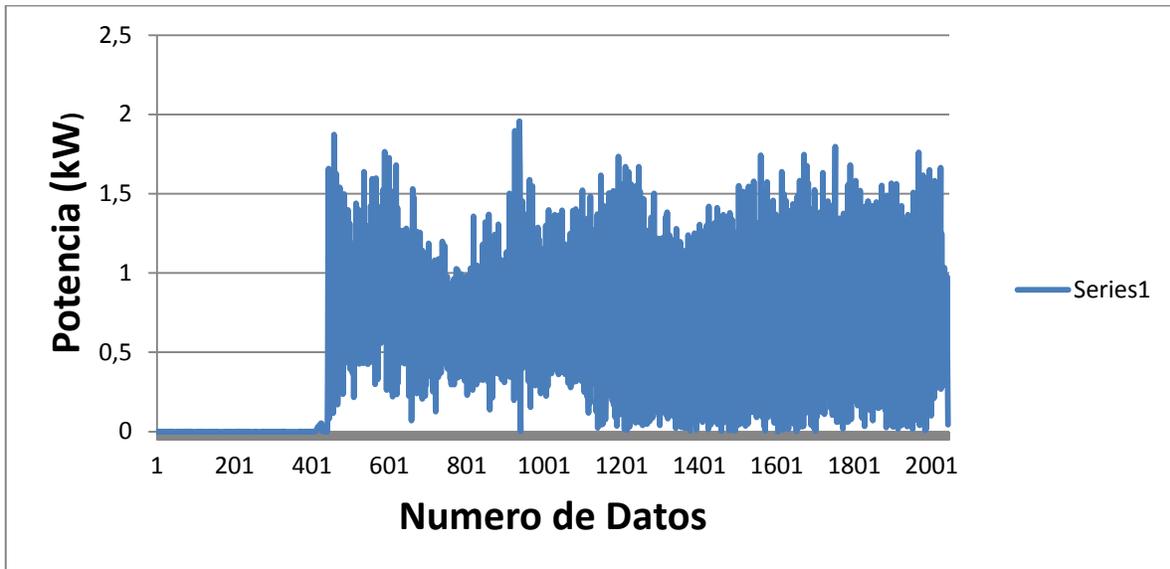


Fig. 4. 12 Análisis del torque de datos positivos.

En el Cuadro 4.2.5 se muestran los resultados del análisis espectral del torque, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 0.24 N-m, Con la relación de engranes de 19:12 dientes.

**Cuadro 4.2. 5 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de  $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$  a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas(19-12)	Media	Espectral		M+E (N-		
	(N-m)	kW	(N-m)	kW	m)	kW
R1	0.21	6.01	0.06	1.79	0.27	7.79
R2	0.16	4.65	0.05	1.42	0.21	6.07
R3	0.19	5.54	0.07	2.04	0.26	7.58
R4	0.19	5.57	0.06	1.83	0.26	7.40
<b>Media</b>	<b>0.19</b>	<b>5.44</b>	<b>0.06</b>	<b>1.77</b>	<b>0.24</b>	<b>7.21</b>

En el Cuadro 4.2.6 se muestran los resultados del análisis espectral del torque, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 0.26 N-m y con una relación de engranes de 19:9 dientes.

**Cuadro 4.2.6 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas(19-9)	Media (N-m)	kW	Espectral (N-m)	kW	M+E (N-m)	kW
R1	0.19	7.21	0.09	3.51	0.28	10.72
R2	0.19	7.26	0.08	3.01	0.27	10.27
R3	0.19	7.51	0.03	1.35	0.23	8.86
R4	0.14	5.45	0.12	4.78	0.27	10.23
<b>Media</b>	<b>0.18</b>	<b>6.86</b>	<b>0.08</b>	<b>3.16</b>	<b>0.26</b>	<b>10.02</b>

Del Cuadro 4.2.5 y 4.2.6 Podemos observar que en el caso del torque no presenta gran diferencia aunque se aumente la frecuencia de impacto con una media de 0.25 N-m, pero hay una diferencia significativa en relación a la potencia aplicada y esta se ve incrementada en un 28%, cuando se aumenta la velocidad de 277.2 a 366 rpm.

## 4.2.2. ANALISIS DE DATOS NEGATIVOS.

### 4.2.2.1. Fuerza Horizontal

En la Fig. 4.10 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de tiro trabajando a  $1.5 \text{ km-h}^{-1}$  con una velocidad media de oscilación de  $277.2 \text{ rpm}$ , considerando en esto toda la magnitud del espectro de las mediciones negativas.

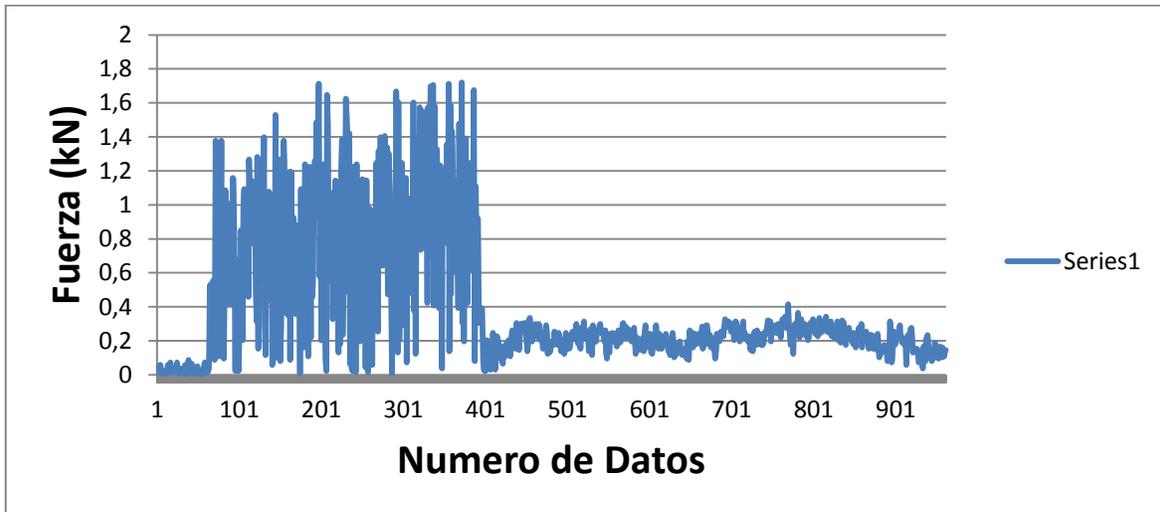


Fig. 4. 13 Análisis de la Fuerza Horizontal de datos negativos

El Cuadro 4.2.7 Muestra la media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de  $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$  a una frecuencia de impacto de  $277.2 \text{ rpm}$ . Con la relación de engranes de 19:12 dientes. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de  $0.23 \text{ kN}$ .

**Cuadro 4.2.7 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de  $1.5 \text{ Km-h}^{-1}$  a una frecuencia de impacto de  $277.2 \text{ RPM}$ .**

Replicas(19-12)	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	0.10	0.10	0.20
R2	0.03	0.00	0.03
R3	0.38	0.02	0.40
R4	0.16	0.15	0.32
<b>Media</b>	<b>0.16</b>	<b>0.06</b>	<b>0.23</b>

En el Cuadro 4.2.8 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de tiro, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el espectro de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de .63 kN y con la relación de engranes de 19:9 dientes

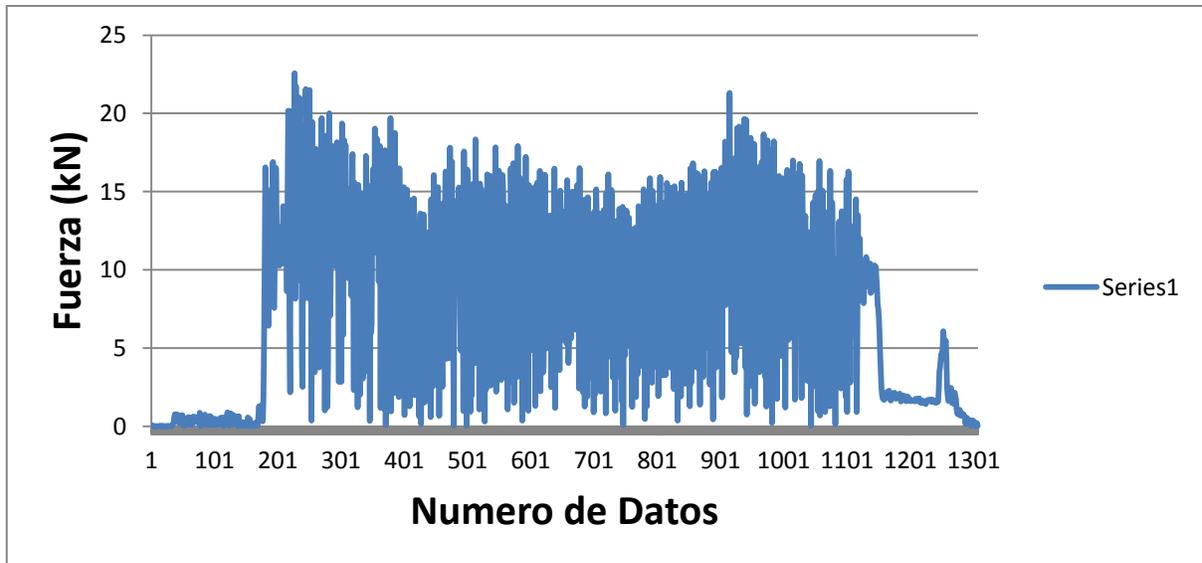
**Cuadro 4.2. 8 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas(19-9)	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	0.19	0.03	0.23
R2	0.45	0.29	0.75
R3	0.46	0.37	0.83
R4	0.57	0.13	0.70
<b>Media</b>	<b>0.42</b>	<b>0.20</b>	<b>0.63</b>

Del Cuadro 4.2.7 y 4.2.8 se observa que los valores de fuerza de tiro cuando el cincel impacta en el suelo en su carrera de retorno son del orden de 0.23 y 0.63 kN para las frecuencias de impacto de 277.2 y de 366 rpm cuyas magnitudes no son significativas en comparación de la magnitud de la fuerza en su carrera de trabajo.

#### **4.2.2.2. Fuerza Vertical**

En la Fig. 4.14 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de penetración, trabajando a la misma velocidad de 1.5 km-h<sup>-1</sup> con una velocidad media de oscilación de 277.2 rpm, considerando en esto toda la magnitud del espectro de las mediciones de valores negativos.



**Fig. 4. 14 Análisis de la Fuerza Vertical de datos negativos**

En el Cuadro 4.2.9 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 11.63 kN y con la relación de engranes de 19:12 dientes.

**Cuadro 4.2. 9 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas(19-12)	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	10.79	2.27	13.07
R2	8.69	1.55	10.25
R3	9.33	1.54	10.87
R4	10.25	2.11	12.36
<b>Media</b>	<b>9.76</b>	<b>1.86</b>	<b>11.63</b>

En el Cuadro 4.2.10 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 11.30 kN y con la relación de engranes de 19:9 dientes.

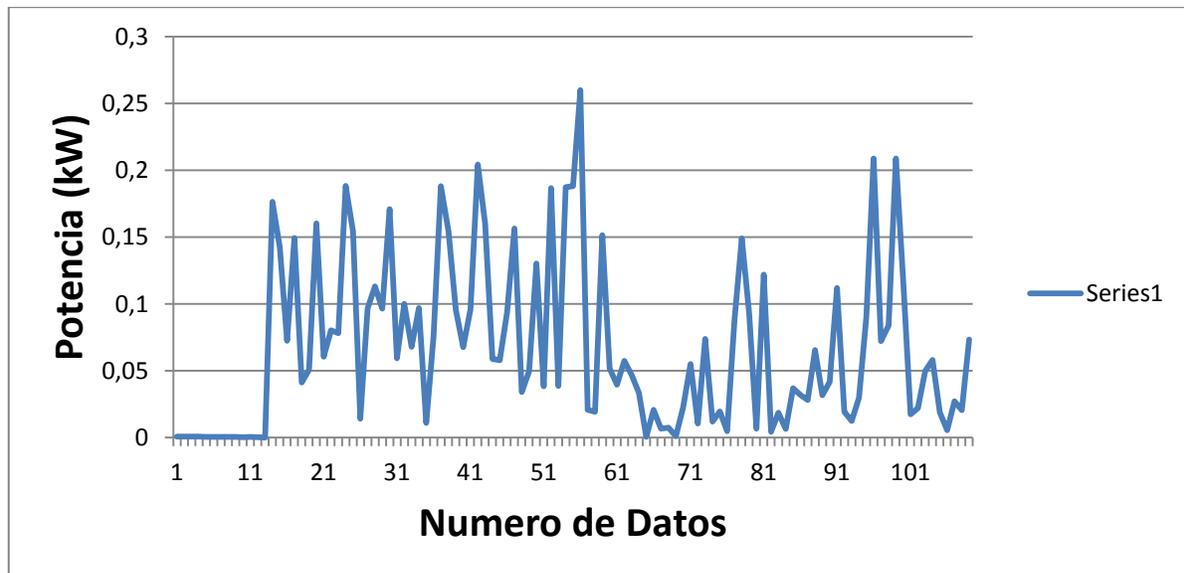
**Cuadro 4.2.10 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas(19-9)	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	9.57	1.57	11.14
R2	7.31	1.56	8.88
R3	10.02	1.86	11.89
R4	11.33	1.95	13.28
<b>Media</b>	<b>9.56</b>	<b>1.73</b>	<b>11.30</b>

Del Cuadro 4.2.9 y 4.2.10 se puede observar que la fuerza de penetración negativa se reduce al momento de aumentar la frecuencia de impacto. Esta se ve reducida en una proporción de 2.8 % la cual nos indica que la fuerza de penetración se mantiene constante a pesar del cambio de frecuencia de impacto.

#### 4.2.2.3. Torque

En la Fig. 4.15 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de torque, trabajando a la misma velocidad de 1.5 km-h<sup>-1</sup> con una velocidad media de oscilación de 277.2 rpm, considerando en esto toda la magnitud del espectro de las mediciones considerando solo valores negativos.



**Fig. 4. 15 Análisis del Torque de datos negativos**

En el cuadro 4.2.11 se muestran los resultados del análisis espectral del torque, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 0.03 N-m y Con la relación de engranes de 19:12 dientes.

**Cuadro 4.2.11 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas(19-12)	Media (N-m)	kW	Espectral (N-m)	kW	M+E (N-m)	kW
R1	0.02	0.71	0.01	0.37	0.04	1.08
R2	0.02	0.65	0.01	0.13	0.03	0.78
R3	0.02	0.57	0.01	0.19	0.03	0.76
R4	0.03	0.76	0.01	0.24	0.03	0.99
<b>Media</b>	<b>0.08</b>	<b>0.66</b>	<b>0.01</b>	<b>0.23</b>	<b>0.03</b>	<b>0.90</b>

En el Cuadro 4.2.12 se muestran los resultados del análisis espectral del torque, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 0.02 N-m y con la relación de engranes de 19:9 dientes.

**Cuadro 4.2.12 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas(19-9)	Media kW	kW	Espectral kW	kW	M+E kW	kW
R1	0.00	0.13	0.01	0.01	0.01	0.43
R2	0.01	0.25	0.00	0.01	0.01	0.25
R3	0.02	0.66	0.01	0.02	0.02	0.89
R4	0.01	0.40	0.01	0.02	0.02	0.78
<b>Media</b>	<b>0.01</b>	<b>0.36</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.59</b>

Considerandos solo los datos negativos podemos observar que del Cuadro 4.2.11 y 4.2.12 se refleja que al momento de aumentar la frecuencia de impacto la parte negativa del torque tiende a reducirse en una proporción de 34.44 %.

### 4.3. Resultados de las mediciones de las magnitudes de las fuerzas aplicadas en la separación de datos positivos y negativos agrupando valores máximos a una frecuencia de 20 Hz.

Los siguientes Cuadros de resultados se hicieron separando los valores de impacto positivos y negativos pero a la vez tomando cada 20 datos el valor máximo para así poder analizar los puntos máximos de las gráficas y así determinar la efectiva fuerza de tiro, fuerza de penetración y torque del ciclo de trabajo efectivo. En las Figuras 4.16 se muestra la manipulación de los datos en Excel para separar la parte de trabajo efectivo de la parte de la carrera que no realiza ningún laboreo de suelo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Fuerza (FY)	Fuerza (FX)	Torque (T)		Fuerza (FY)	Fuerza (FX)	Torque (T)		Fuerza (FY)	Fuerza (FX)	Torque (T)								
2	Fy	Fx	T		Fy	Fx	T		Fy	Fx	T								
3	0.0225	0.0362824	0.000136		0.1125	0.072565	0.000413		0.1125	0.072565	0.000413								
4	0.0375	0.0291214	6.81E-05						0.0675	0.058243	0.00069								
5	0.045	0.0582428	0.000413						0.045	0.065404	0.00069								
6	0.0225	0.021483	6.81E-05						0.045	0.072565	0.000413								
7	0.0375	0.0434434	0.000204						0.045	0.072565	0.000554								
8	0.0375	0.014322	6.81E-05						0.06	0.043443	0.000967								
9	0.015	0.0362824	0.000136						0.135	0.079726	0.00083								
10	0.1125	0.0362824	0.000136						0.15	0.043443	0.001175								
11	0.0225	0.021483	0.000277						0.0825	0.065404	0.000554								
12	0.015	0.021483	0.000204						0.06	0.094525	0.001243								
13	0.015	0.0725648	6.81E-05						0.1125	0.065404	0.002146								
14	0.015	0.0291214	0.000136						0.0825	0.079726	0.001938								
15	0.0225	0.0434434	0.000136						0.0675	0.065404	0.002628								
16	0.0225	0.0291214	0.000204						0.0825	0.094525	0.002491								
17	0.0375	0.0362824	0.000136						0.0675	0.079726	0.380012								
18	0.0375	0.021483	0.000136						0.1725	0.072565	0.681562								
19	0.015	0.021483	0.000277						0.405	0.058243	0.601058								
20	0.045	0.0506044	6.81E-05						16.13775	0.087364	1.393211								
21	0.0225	0.014322	6.81E-05						33.9675	0.443982	2.081944								
22	0.0375	0.0291214	0.000136						38.1675	0.174728	1.774358								
23	0.045	0.007161	0.000204		0.0675	0.058243	0.00069		34.437	0.240132	1.860535								

Fig. 4. 16 Valores máximos tomando cada 20 datos.

### 4.3.1. ANALISIS DE DATOS POSITIVOS

#### 4.3.1.1. Fuerza de Horizontal

En la Fig. 4.17 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de tiro, trabajando a la misma velocidad de  $1.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  con una velocidad media de oscilación de  $277.2 \text{ rpm}$  considerando máximos valores positivos.

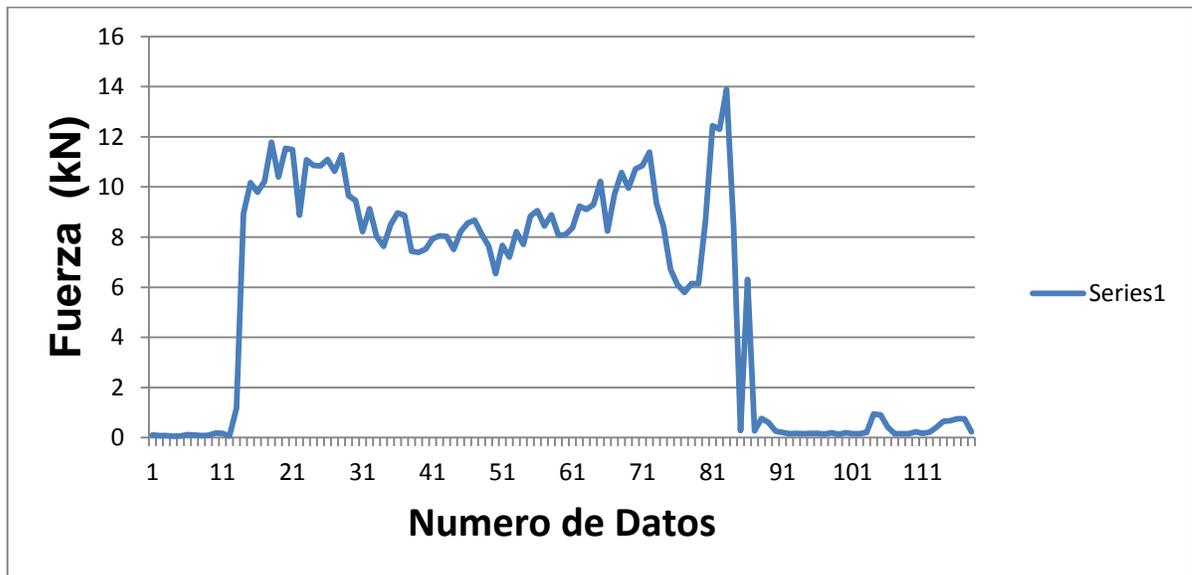


Fig. 4. 17 Fuerza Horizontal de datos con una frecuencia de muestreo de valores máximos a 20 Hz.

En el Cuadro 4.3.1 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de tiro, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores máximos y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de  $11.56 \text{ kN}$  y el valor de la potencia aplicada de la velocidad respectiva fue de  $4.73 \text{ kW}$ . Con la relación de engranes de 19:12 dientes.

**Cuadro 4.3.1 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	12.68	1.46	14.15
R2	8.74	0.57	9.31
R3	8.68	2.02	10.70
R4	11.22	0.86	12.09
<b>Media</b>	<b>10.31</b>	<b>1.22</b>	<b>11.56</b>

En el Cuadro 4.3.2 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de tiro, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 11.60 kN y el valor de la potencia aplicada de la velocidad respectiva fue de 4.75 kW. Con la relación de engranes de 19:9 dientes.

**Cuadro 4.3.2 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	10.78	1.28	12.07
R2	8.29	3.06	11.36
R3	9.26	0.97	10.24
R4	11.58	1.16	12.75
<b>Media</b>	<b>9.98</b>	<b>1.62</b>	<b>11.60</b>

Del Cuadro 4.3.1 y 4.3.2 se puede observar que la magnitud de la fuerza de tiro para una frecuencia de 277.2 fue de 11.56 kN y para la frecuencia de 366 rpm, esta fuerza fue de 11.60 kN, con esto se puede apreciar que no hay diferencia en la fuerza de tiro cuando se incrementa la velocidad de impacto.

### 4.3.1.2. Fuerza vertical

En la Fig. 3 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de penetración, trabajando a la misma velocidad de  $1.5 \text{ km-h}^{-1}$  con una velocidad media de oscilación de  $277.2 \text{ rpm}$ , considerando en esto la magnitud del espectro de las mediciones de valores máximos positivos.

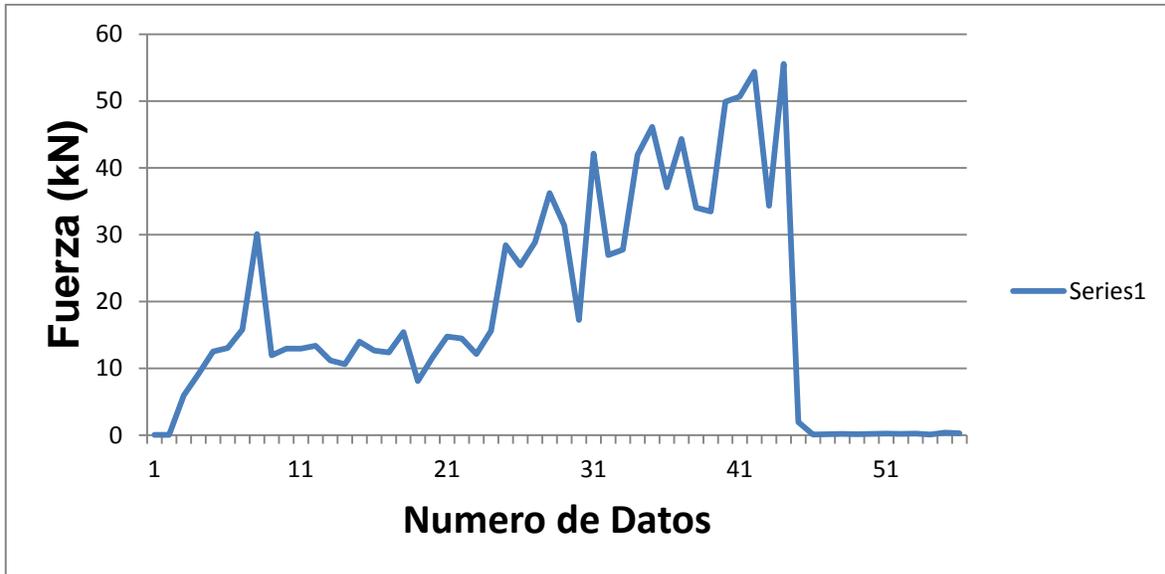


Fig. 4. 18 Fuerza Vertical de datos con una frecuencia de muestreo de valores máximos a 20 Hz.

En el Cuadro 4.3.3 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el espectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de  $44.42 \text{ kN}$ . Con la relación de engranes de 19:12 dientes.

**Cuadro 4.3.3 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	20.72	9.12	29.85
R2	27.39	16.68	44.08
R3	30.97	16.47	47.45
R4	35.87	20.43	56.30
<b>Media</b>	<b>28.74</b>	<b>20.43</b>	<b>44.42</b>

En el Cuadro 4.3.4 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 39.76kN y con la relación de engranes de 19:9 dientes.

**Cuadro 4.3.4 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	14.29	6.32	20.61
R2	25.63	15.32	40.95
R3	28.27	19.08	47.35
R4	44.69	5.45	50.14
<b>Media</b>	<b>28.22</b>	<b>11.54</b>	<b>39.76</b>

Del Cuadro 4.3.3 y 4.3.4 en este caso se observa que se requiere una menor fuerza de penetración cuando se aumenta la frecuencia de impacto. Esta se ve reducida en una proporción de 10.49 %

### 4.3.1.3. Torque

En la Fig. 4.19 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de torque, trabajando a la misma velocidad de  $1.5 \text{ km-h}^{-1}$  con una velocidad media de oscilación de  $277.2 \text{ rpm}$ , considerando la magnitud del espectro de las mediciones de los máximos valores positivos.

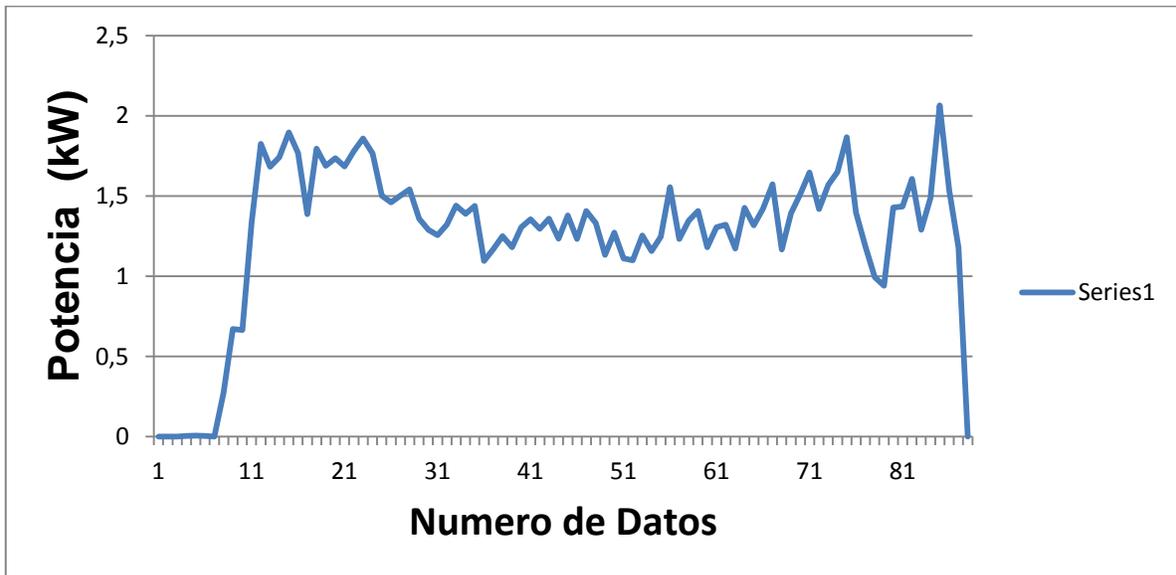


Fig. 4. 19 Datos del torque obtenidos a una frecuencia de muestreo de valores máximo de 20 Hz.

En el Cuadro 4.3.5 se muestran los resultados del análisis espectral del torque, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el espectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de  $13.36 \text{ kW}$  y con la relación de engranes de 19:12 dientes.

**Cuadro 4.3. 5 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas(19-12)	Media (N-m)	kW	Espectral (N-m)	kW	M+E (N-m)	kW
R1	0.49	14.38	0.05	1.47	0.54	15.85
R2	0.34	9.94	0.02	0.63	0.36	10.57
R3	0.39	11.25	0.06	1.63	0.44	12.88
R4	0.45	13.13	0.03	1.02	0.49	14.15
<b>Media</b>	<b>0.42</b>	<b>11.91</b>	<b>0.04</b>	<b>1.19</b>	<b>0.46</b>	<b>13.36</b>

En el Cuadro 4.3.6 se muestran los resultados del análisis espectral del torque, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 17.87 kW y con la relación de engranes de 19:9 dientes.

**Cuadro 4.3. 6 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas(19-9)	Media (N-m)	kW	Espectral (N-m)	kW	M+E (N-m)	kW
R1	0.45	17.36	0.02	0.80	0.47	18.16
R2	0.39	14.90	0.07	2.78	0.46	17.67
R3	0.34	13.02	0.10	3.85	0.44	16.88
R4	0.46	17.66	0.03	1.12	0.49	18.78
<b>Media</b>	<b>0.41</b>	<b>15.73</b>	<b>0.06</b>	<b>2.14</b>	<b>0.47</b>	<b>17.87</b>

Del Cuadro 4.3.7 y 4.3.8 Podemos observar que se requiere una mayor torque cuando se incrementa la frecuencia de impacto. Esta se ve incrementada en una proporción de 25.23 % lo cual es muy notable.

## 4.3.2. ANALISIS DE DATOS NEGATIVOS

### 4.3.2.1. Fuerza Horizontal

Se llevó un análisis complementario de los valores negativos que arrojaron los muestreos para lo cual se manipularon en Excel como se muestra en la Fig. 4.20.

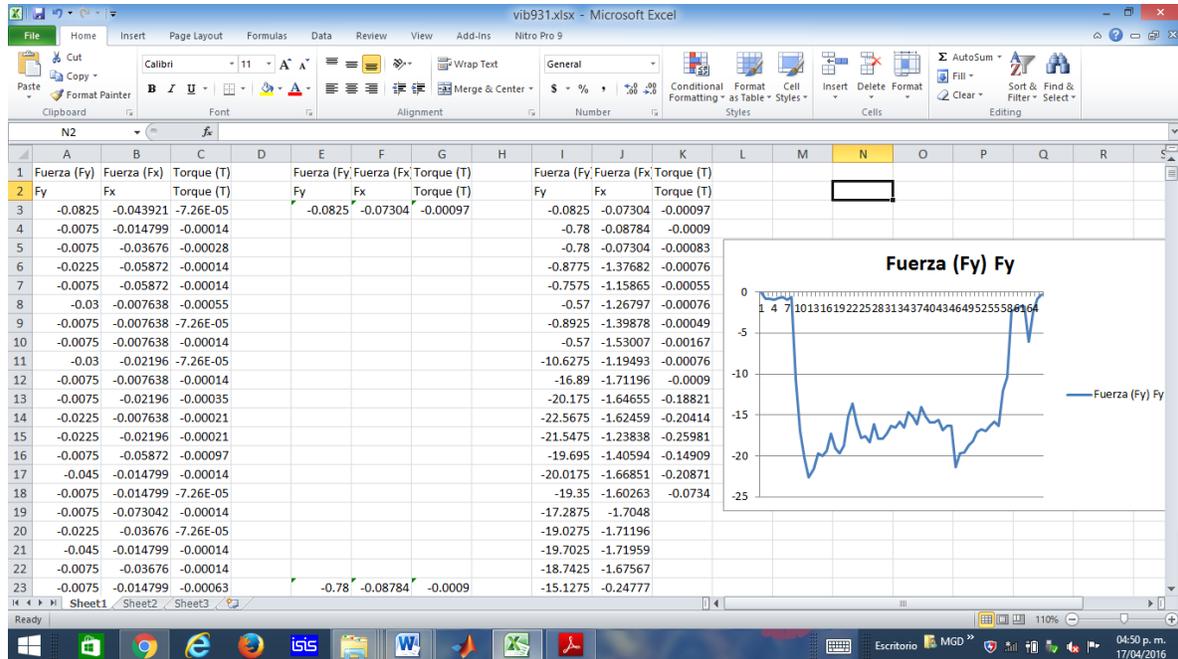


Fig. 4. 20 Datos Negativos tomando valores máximos cada 20 datos

En la Fig. 4.21 Se muestra un ejemplo más de las magnitudes de las fuerzas de tiro, trabajando a la misma velocidad de 1.5 km-h<sup>-1</sup> con una velocidad media de oscilación de 366 rpm considerando en esto magnitud del espectro de las mediciones de los máximos valores negativos.

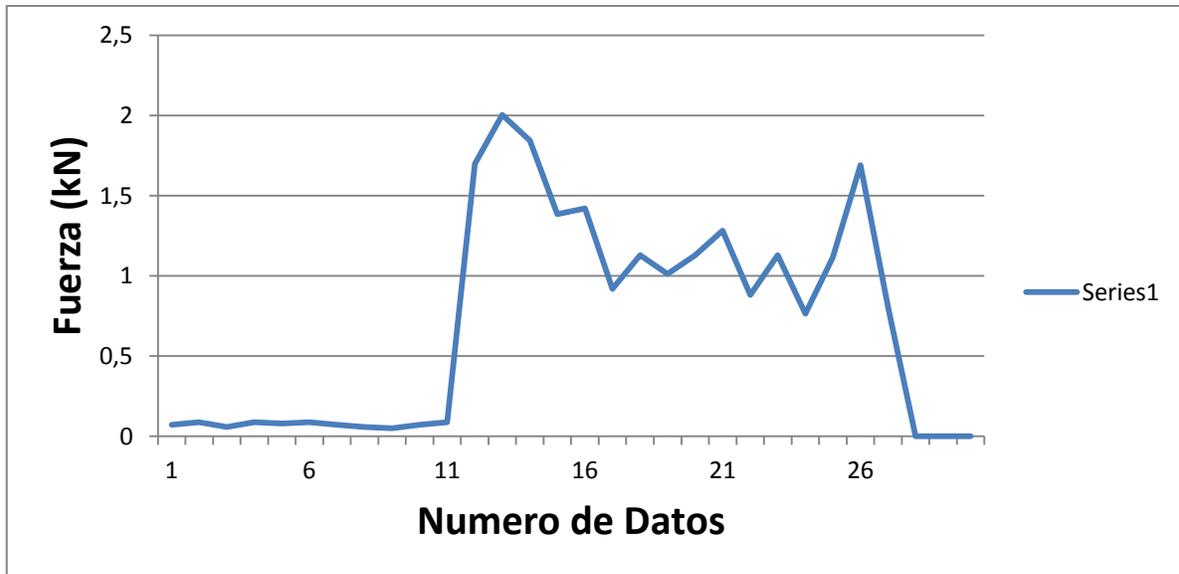


Fig. 4.21 Fuerza Horizontal tomando valores máximos cada 20 datos.

En el Cuadro 4.3.7 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de tiro, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 0.62 kN y con la relación de engranes de 19:12 dientes.

**Cuadro 4.3.7 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	0.27	0.42	0.70
R2	0.22	0.38	0.60
R3	0.66	0.30	0.96
R4	0.16	0.07	0.24
<b>Media</b>	<b>0.33</b>	<b>0.29</b>	<b>0.62</b>

En el Cuadro 4.3.8 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de tiro, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el espectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 1.50 kN y la relación de engranes de 19:9 dientes.

**Cuadro 4.3.8 Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	1.44	0.21	1.65
R2	1.07	0.16	1.23
R3	1.13	0.33	1.46
R4	1.16	0.50	1.66
<b>Media</b>	<b>1.20</b>	<b>0.30</b>	<b>1.50</b>

Del cuadro 4.3.7 y 4.3.8 Podemos observar que la magnitud de la fuerza de tiro fue de 0.62 kN para una frecuencia de impacto de 277.2 y de 1.50 kN para una frecuencia de impacto de 366 rpm, se puede considerar que la magnitud de la fuerza y potencia de impacto no se ve afectada por la velocidad angular del cincel.

#### 4.3.2.2. Fuerza vertical

En la Fig. 4.22 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de penetración, trabajando a la misma velocidad de 1.5 km-h<sup>-1</sup> con una velocidad media de oscilación de 366 rpm, considerando la magnitud del espectro de las mediciones de los máximos valores negativos.

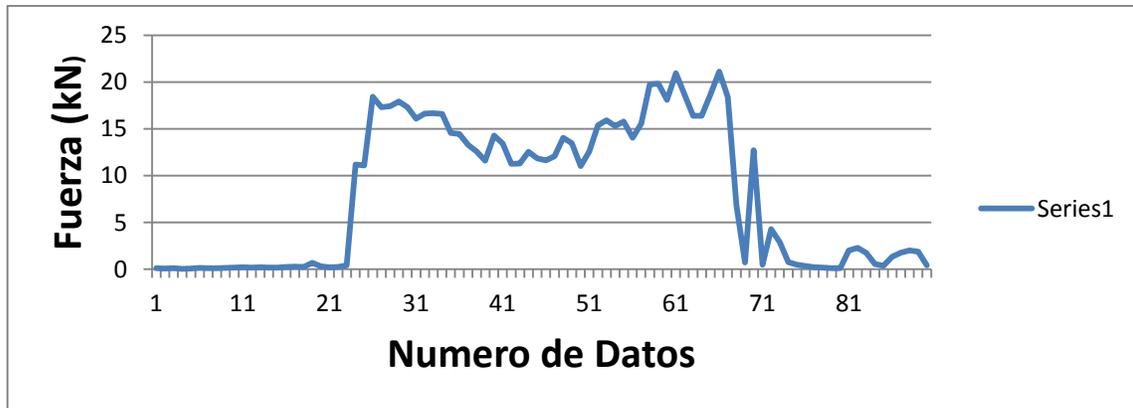


Fig. 4. 22 Fuerza Vertical tomando valores máximos cada 20 datos.

En el Cuadro 4.3.9 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 19.37 kN y la relación de engranes de 19:12 dientes.

**Cuadro 4.3. 9 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	19.75	2.64	22.39
R2	13.39	1.16	14.55
R3	18.02	2.70	20.73
R4	16.81	3.00	19.82
<b>Media</b>	<b>16.99</b>	<b>2.38</b>	<b>19.37</b>

En el cuadro 4.3.10 se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 19.90 kN, con la relación de engranes de 19:9 dientes.

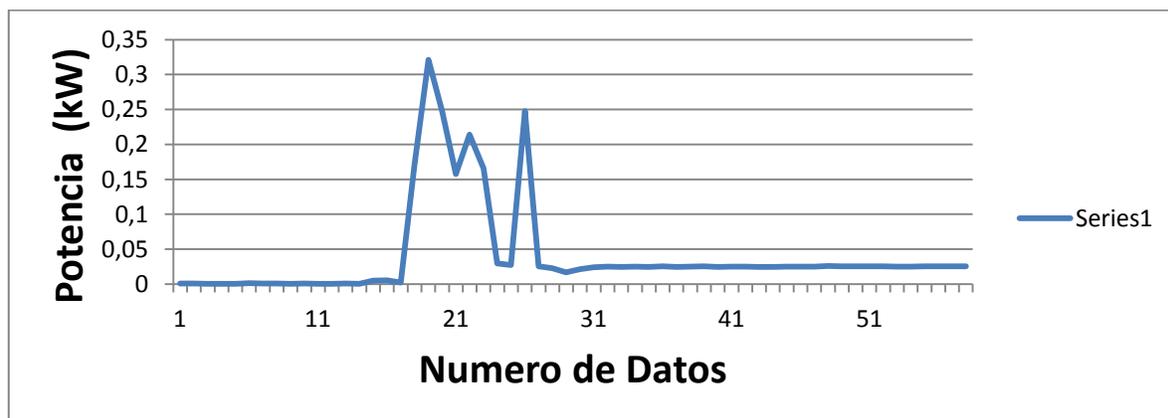
**Cuadro 4.3.10 Media de la fuerza de penetración y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas (Y)	Media (kN)	Espectral (kN)	M+E (kN)
R1	16.74	7.20	23.95
R2	13.77	2.28	16.06
R3	17.32	1.53	18.85
R4	18.46	2.26	20.73
<b>Media</b>	<b>16.57</b>	<b>3.32</b>	<b>19.90</b>

Del Cuadro 4.3.9 y 4.3.10 Podemos observar que la fuerza negativa de penetración se incrementa cuando la frecuencia de impacto aumenta, esto se refleja en una relación de 2.65%

#### 4.3.2.3. Torque

En la Fig. 4.23 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de torque, trabajando a la misma velocidad de 1.5 km-h<sup>-1</sup> con una velocidad media de oscilación de 366 rpm, considerando en esto la magnitud del espectro de las mediciones máximos de valores positivos.



**Fig. 4. 23 Valores negativos del torque a 366 rpm cuando se agruparon valores máximos a una frecuencia de 20 datos**

En el cuadro 4.3.11 se muestran los resultados del análisis espectral del torque, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 0.08 N-m y con la relación de engranes de 19:12 dientes.

**Cuadro 4.3.11 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM.**

Replicas(19-12)	Media kW	kW	Espectral kW	kW	M+E kW	kW
R1	0.05	1.53	0.04	1.08	0.09	2.62
R2	0.06	1.65	0.02	0.53	0.08	2.19
R3	0.04	1.26	0.02	0.62	0.06	1.87
R4	0.06	1.82	0.02	0.58	0.08	2.41
<b>Media</b>	<b>0.05</b>	<b>1.57</b>	<b>0.02</b>	<b>0.70</b>	<b>0.08</b>	<b>2.27</b>

En el cuadro 4.3.12 se muestran los resultados del análisis espectral del torque, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 0.06 N-m, con la relación de engranes de 19:9 dientes.

**Cuadro 4.3.12 Media del torque y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h<sup>-1</sup> a una frecuencia de impacto de 366 RPM.**

Replicas(19-9)	Media kW	kW	Espectral kW	kW	M+E kW	kW
R1	0.03	1.21	0.03	1.26	0.06	2.47
R2	0.04	1.49	0.03	1.23	0.07	2.72
R3	0.03	1.28	0.02	0.88	0.06	2.17
R4	0.02	0.63	0.02	0.81	0.04	1.43
<b>Media</b>	<b>0.03</b>	<b>1.15</b>	<b>0.03</b>	<b>1.04</b>	<b>0.06</b>	<b>2.20</b>

Del Cuadro 4.3.11 y 4.3.12 se puede observar que la parte negativa del torque en la diferencia de las dos relaciones de engranes hay una pequeña diferencia sobre el torque negativos en una relación de 3.08 %, lo cual nos indica que al aumentar la frecuencia de impacto, disminuye el torque en la parte negativa.

## V. CONCLUSIONES.

Se observa que se requiere una menor fuerza de tiro cuando se incrementa la frecuencia de impacto. Esta se ve reducida en una proporción de 16.05 %, lo cual es favorable. Así mismo la potencia aplicada se ve reducida de 3.27 a 2.71 kW cuando se incrementa la frecuencia de vibración.

Se observa que el cambio de velocidad de impacto no tiene efecto sobre la magnitud de la fuerza de penetración

Se apreció que en el caso del torque no presenta gran diferencia aunque se aumente la frecuencia de impacto con una media de 0.25 N-m, pero hay una diferencia significativa en relación a la potencia aplicada y esta se ve incrementada en un 28%, cuando se aumenta la velocidad de 277.2 a 366 rpm.

A pesar de que se registraron valores de fuerza de tiro cuando el cincel impacta en el suelo en su carrera de retorno son del orden de 0.23 y 0.63 kN para las frecuencias de impacto de 277.2 y de 366 rpm estas magnitudes no son significativas en comparación de la magnitud de la fuerza en su carrera de trabajo.

Cuando se realizó el análisis de fuerza de tiro tomando los valores máximos cada 20 datos se pudo apreciar que no hay diferencia en la magnitud de la fuerza de tiro cuando se incrementa la velocidad de impacto.

## **VI. LITERATURA CITADA.**

**Planchart, R.** 2003. Labranza Vertical es una Agricultura Sostenible. Fundación para la Investigación Agrícola. Boletín Informativo N°2.

**Friedrich, T.** 1997. “Los principales tipos de labranza”. Boletín No. 8 de tierras y aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 4: 29-38pp. Roma Italia.

**Velázquez L. L.** 2011. Diseño y Evaluación de un Sistema Integral de Labranza para Zonas Semiáridas. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro Qro.

**Navarro, B. A., Figueroa, S. B., Ordaz, C. V. M. y González, C. F. V.** 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo de maíz y frijol. Colegio de post graduados. Montecillo México. Terra Latinoamericana, ISSN (Versión impresa): 1870-9982

**Centeno, A. y F. Gil.** 1976. Algunas Ideas Acerca de las Prácticas de Labranza en Venezuela. Material de Trabajo, UCV, Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela.

**FAO,** 2000. Manual de Practicas Integradas de Manejo y conservación de suelos. Boletín de Tierras y aguas de la FAO. Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

**Bowen, E. J. y Kratky, A. B.** 1980. Labranza reducida. Condensado informativo. Instituto de Agricultura Tropical de Hawái. Pp. 20-26

**Agamennoni, R., D Buschiazzo, J. Panigatti y F. Babinec.**1996. “Rotaciones Y Labranzas en la Región Semiárida Bonaerense Sur”. En Labranzas en la Región Semiárida Argentina., Ed. INTA CERLAP-San Luis.

**Velázquez, J.U.** 2011. “Rediseño de Prototipo para Labranza de Precisión”. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila. México.

**Murguía, B.C.** 2015. “Sensores para la evaluación de parámetros de funcionamiento de un equipo de labranza vibratoria inducida”. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila México.

**Schuller, P., D. E Walling, A. Sepulveda, A. Castillo, I. Pino.** 2007. Changes in Soil Erosion Associated With the Shift From Conventional Tillage to a no tillage System Documented Using 137 measurements. *Soil and Tillage Research* 94, 183-192

**Leyva, O.** 2009. "Fundamentación de una Tecnología para Laboreo Mínimo de Suelos Vertisoles Basada en la Aplicación de una Máquina Compleja en Cana de Azúcar". Tesis, Doctor en Ciencias, Universidad Agraria de La Habana. 143p. La Habana, Cuba.

## ANEXOS

### A. hoja de datos de microcontrolador PIC16F84

En la Fig. (A.1) se muestra la hoja de datos del microcontrolador en los cuales se grabaron los programas rebote cero y frecuencias.



**MICROCHIP**

# PIC16F84A

**18-pin Enhanced FLASH/EEPROM 8-Bit Microcontroller**

**High Performance RISC CPU Features:**

- Only 35 single word instructions to learn
- All instructions single-cycle except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- 1024 words of program memory
- 68 bytes of Data RAM
- 64 bytes of Data EEPROM
- 14-bit wide instruction words
- 8-bit wide data bytes
- 15 Special Function Hardware registers
- Eight-level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Four interrupt sources:
  - External RB0/INT pin
  - TMR0 timer overflow
  - PORTB 7-4<sup>+</sup> interrupt-on-change
  - Data EEPROM write complete

**Peripheral Features:**

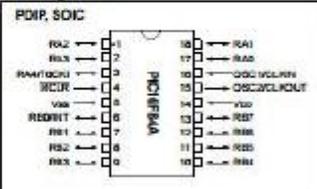
- 13 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
  - 25 mA sink max. per pin
  - 25 mA source max. per pin
- TMR0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler

**Special Microcontroller Features:**

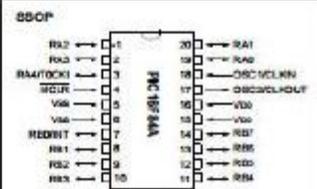
- 10,000 erase/write cycles Enhanced FLASH Program memory typical
- 10,000,000 typical erase/write cycles EEPROM Data memory typical
- EEPROM Data Retention > 40 years
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) - via two pins
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT), Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own On-Chip RC Oscillator for reliable operation
- Code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options

**Pin Diagrams**

**PDIP, SOIC**



**SSOP**



**CMOS Enhanced FLASH/EEPROM Technology:**

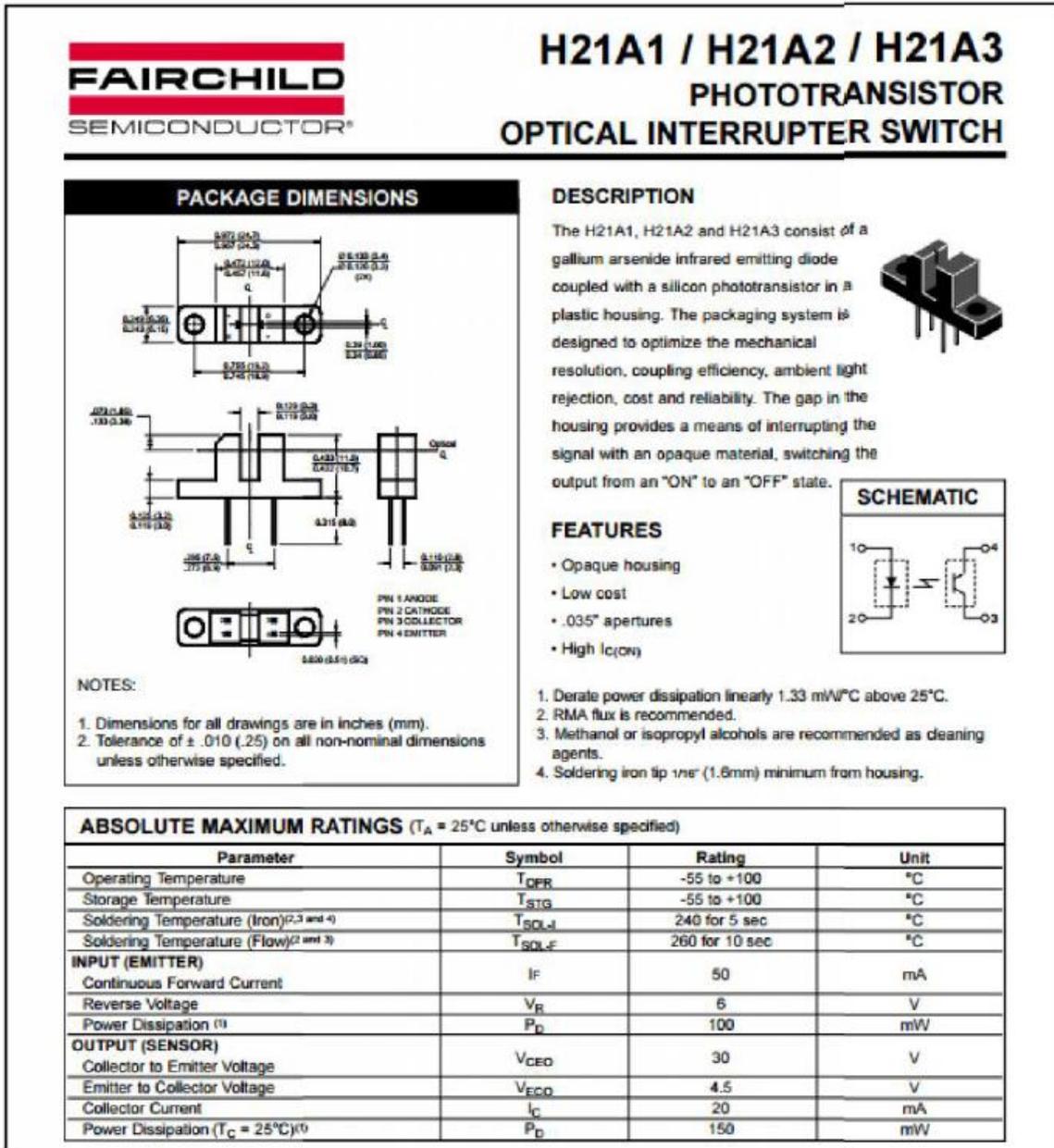
- Low power, high speed technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range:
  - Commercial: 2.0V to 5.5V
  - Industrial: 2.0V to 5.5V
- Low power consumption:
  - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
  - 15 µA typical @ 2V, 32 kHz
  - < 0.5 µA typical standby current @ 2V

© 2001 Microchip Technology Inc.

DS35007B-page 1

## B. Hoja de datos de sensor H21A1

En la Fig. (B.2) se muestra la hoja de datos de sensor óptico utilizado en el sensor de velocidad.



### C. Programa de analisis3.

En la Fig. (C.3) se muestra el programa con la cual se hizo el análisis de datos en el Programa de MATLAB R2012a.

