

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Titulo

**Sensores para la evaluación de parámetros de funcionamiento de
un equipo de labranza vibratoria inducida**

Por:

BERNABÉ MURGUÍA COZAR

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Título

**Sensores para la evaluación de parámetros de funcionamiento de
un equipo de labranza vibratoria inducida**

Por:

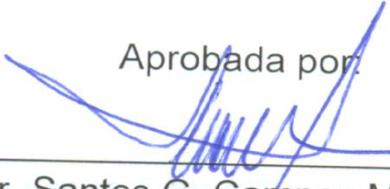
BERNABÉ MURGUÍA COZAR

Tesis

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

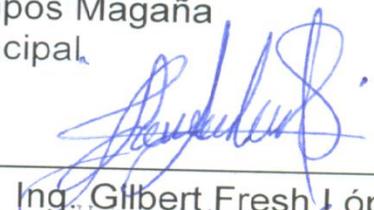
Aprobada por:



Dr. Santos G. Campos Magaña
Asesor principal



Ing. Diego Cruz Hernández
Coasesor



Ing. Gilbert Fresh López López
Coasesor
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la división de ingeniería


Coordinación de
Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 2015

Agradecimientos

A **Dios** por darme la vida y por estar presente en cada momento de mi vida y ayudarme a tomar las mejores decisiones.

A la familia **Murguía Cozar** por todo el apoyo y la confianza que depositaron en mí cuando pase por malos y buenos momentos de mi vida gracias a ellos.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por ofrecerme sus instalaciones y brindarme los recursos para poder desarrollarme en el ámbito profesional y personal.

Al personal académico que estuvo siempre dispuesto a ayudar cuando se requería en especial ha:

Ing. Héctor Uriel Serna Fernández.

Ing. Juan Antonio Guerrero Hernández.

Dr. Martín Cadena Zapata.

Mc. Elizabeth De La Peña Casas.

Y especial mención al Dr. Santos Gabriel Campos Magaña asesor de tesis por su dedicación y por compartir parte de sus conocimientos.

Dedicatoria

A mi padre Bernabé Murguía Fernández por el apoyo incondicional los mejores consejos y por brindarme siempre el mejor ambiente familiar, por formarme con los cimientos con los que estoy formado, gracias a ti pa' todo esto ha sido posible.

A mi madre Ofelia Cozar Moreno por todo el cariño que me da, por haber confiado y apoyado en todas mis decisiones

A mis hermanos Cristi, Saúl, Ceci, Brian. Por el amor que me brindan incondicionalmente y por estar ahí incondicionalmente cuando los necesito

A mi novia Nelly por todo su cariño y amor con el que me ha dado fuerza para terminar la carrera y por ser la mujer que necesito a mi lado.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Labranza	5
2.1.1 Tipos de labranza.....	5
2.1.2 Labranza vertical.....	7
2.1.3 Ventajas de la labranza vertical	7
2.1.4 Labranza vibratoria inducida	8
2.2 Diseño y evaluación de herramientas de labranza.....	10
2.2.1 Transductores de fuerza	11
2.2.2 Sensor de anillo extendido.....	12
2.2.3 Galgas extensiométricas.....	13
2.2.4 Puente deWheatstone.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Fase I: laboratorio.....	17
3.1.1. Calibración TOE.....	17
3.1.2. Proceso de calibración del transductor octagonal.....	18
3.1.3 Posiciones de calibración.....	19
3.1.4 Acondicionamiento del equipo de adquisición	19
3.1.5 Adquisición de datos	20
3.1.6Calibración del torquímetro	20
3.1.7 Análisis de datos	21
3.1.8 Medidor de velocidad angular	22

3.2 Fase de campo	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Presentación del equipo	24
4.2 Calibración de octagonal	25
4.2.1 Calibración del octagonal extendido para la fuerza horizontal	25
4.2.2. Calibración del octagonal extendido para la fuerza vertical	27
4.3. Calibración de torquímetro	29
4.4 Calibración del sensor de velocidad	31
4.5 Pruebas de campo.....	33
4.5.1 Datos de fuerza horizontal o de tiro	33
4.5.2 Datos de fuerza vertical o de penetración.....	35
4.5.3 Datos de torque.....	37
V. CONCLUSIONES	40
5.1 Conclusiones	40
5.2 Recomendaciones.....	41
VI. LITERATURA CITADA	42
Anexos	47
A. Circuito de Velocidad Angular	47
B. Hoja de datos de microcontrolador PIC16F84	48
C. Hoja de datos de sensor H21A1	49

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Transductores tipo anillo: (a) anillo liso extendido; (b) anillo octagonal extendido “EOR”, (Chen et al., 2005)	12
2.2. Galgas extensiométricas para una y múltiples direcciones	13
2.3. Puente de Wheatstone (Godwin, 1993)	16
3.1. Diagrama del proceso de calibración del octagonal extendido	18
3.2. A) Posición de calibración vertical, b) Posición de calibración horizontal	19
3.3. Brazo de palanca con dos distancias (0.85 y 0.65m) acoplado al torquímetro ...	20
4.1. Partes que integran el aparato de verificación de parámetros de un subsolador vibratorio.	24
4.2. A) posición cargas para determinar la constante en la fuerza horizontal. B) posición cargas para determinar la constante en la fuerza vertical.....	25
4.3. Grafica escalonada de voltajes (mV) de la fuerza horizontal	26
4.4. Grafica de línea ajustada y ecuación de respuesta.....	27
4.5. Grafica escalonada de voltaje (mV) del eje vertical	28
4.6. Grafica de línea ajustada y ecuación de respuesta.....	29
4.7. Grafica escalonada generada con voltajes mV del torquímetro	30
4.8. Grafica de línea ajustada y ecuación de respuesta.....	31
4.9. Diferencia de fuerza de tiro a dos profundidades sin vibración	34
4.10. Pruebas a la misma profundidad de 0.40m, vibrando y sin vibrar	34
4.11. Fuerza de dos pruebas a la misma profundidad de 0.30m, vibrando y sin vibrar	35
4.12. Comparación de fuerzas verticales para diferentes amplitudes, para la profundidad de 0.40	36
4.13. Fuerza vertical (KN) de la prueba 60 de amplitud a una profundidad de 0.30 ..	36
4.14. Fuerza vertical con 70 mm de amplitud, 0.30 m de profundidad.....	37
4.15. Grafica de torque (Nm) para la amplitud de 70 mm y una profundidad de 0.40 m	38

ÍNDICE DE CUADROS

2.1. Comparación entre sistemas de labranza para la medición de diferentes parámetros (Cook y Lewis, 1989)	8
3. 1 Magnitudes de pesos para la aplicación de fuerzas.....	18
3.2. Valores de voltajes para calibrar el octagonal.....	19
3.3. Valores de voltajes para calibrar el torquímetro	21
3.4. Factores a evaluar con sus variables	23
4.1. Relación de pesos contra medias de voltajes y sus 5 repeticiones de calibración	26
4.2. Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerza horizontal	27
4.3. Relación de peso contra medias de voltaje con 5 repeticiones.....	28
4.4. Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerzas vertical.....	29
4.5. Fuerza (Nm) vs. Voltaje (mV) para el torquímetro.....	30
4.6. Datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerzas de torque	31
4.7. Calibración del sensor de velocidad empleando tres diferentes valores de capacitores.....	32
4.8. Velocidad y frecuencia de oscilación del cincel.....	32
4.9. Asignación de nomenclatura de prueba donde: A1= 60 y A2=70 mm de amplitud, P1= 0.30 y P2= 0.40 m de profundidad y V1= 1.5 (A1) y V2= 2.5 kmh ⁻¹ (A3) de velocidad.....	33
4.10. Fuerzas de tiro considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada arreglo.....	38
4.11. Fuerza de penetración considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada arreglo.....	39
4.12. Torque considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada arreglo	39

RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado en la UAAAN y forma parte del proyecto de investigación titulado “Caracterización de la fuerza de inercia de un sistema de masa desbalanceada: aplicado en un subsolador-vibratorio-inteligente” que tiene como objetivo reducir el consumo energía en la operación de labranza primaria integrando las tecnologías de labranza vibratoria, profundidad critica y labranza inteligente. El propósito del trabajo fue la Calibración y verificación de los sensores integrados en un sistema de labranza vibratorio inducido, transductor octagonal extendido, torquímetro y velocidad angular; en condiciones de laboratorio y campo.

En condiciones de laboratorio se determinaron las ecuaciones de calibración de los sensores antes mencionados, obteniendo una constante de calibración para la fuerza de tiro $47.74mVN^{-1}$ con una correlación de 99.7%, fuerza de penetración $75.00mVN^{-1}$ con una correlación de 99.8% y la constante de calibración para el torque de $0.4538mV(Nm)^{-1}$ con una correlación de 98.8% mostrando alta confiabilidad de los sensores. En condiciones de campo las variables utilizadas fueron amplitudes de 60 y 70 mm, velocidad de avance 1.5 y 2.5 kmh⁻¹ y profundidades de trabajo de 0.30 y 0.40 m comparando con la fuerza de un cincel sin vibración a profundidades de 0.30 y 0.40 m. Los parámetros cuantificados fueron fuerza de tiro, penetración y torque y fueron registrados en el sistema de adquisición de datos LogBook 360. Gráficamente se observa una disminución de la fuerza de tiro del sistema vibratorio en comparación con el sistema rígido.

Conociendo la confiabilidad de los sensores se pueden determinar las magnitudes reales de las fuerzas que demanda el sistema vibratorio inducido y compararlo con un sistema de labranza tradicional en campo.

Correo Electronico; Bernabé Murguía Cozar, bernamc91@gmail.com

Palabras clave: *consumo de energía, labranza tradicional, Labranza vibratoria inducida, sensores.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad debido al uso excesivo e inadecuado de los implementos de labranza, se provoca la degradación de suelo y genera la baja rentabilidad de los cultivos; la búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implantación de sistemas de labranza de tipo conservacionista (no inversión del suelo), incluyendo a la labranza vertical, con el fin de disminuir el impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo. Por lo anterior es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo (Camacho y Rodríguez, 2007).

La labranza primaria adquiere importancia en la preparación del suelo debido a que la remoción es alta y que esta labor afecta en gran medida las propiedades físicas del suelo y directa e indirectamente las propiedades químicas y biológicas. Por otra parte, es la actividad agrícola que demanda la mayor cantidad de combustible fósil (IDAE, 2006). Es importante señalar que la preparación de los suelos debe favorecer la producción de los cultivos y mantener la calidad de los mismos.

De acuerdo con Aluko y Seig (2000) la movilización del suelo es causada por cizallamiento, donde las partículas se someten a compresión por tensión, situación en que el suelo se agrieta, y por deformación plástica, situación indeseada ya que el suelo sólo se deforma en la superficie de contacto con la herramienta, lo cual puede conllevar a la compactación. Por otra parte, McKyes (1985) describe que para el trabajo con cinceles existe una profundidad crítica, en la cual no existe remoción lateral de suelo, y que esta depende del ancho de trabajo del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo. Para trabajar a profundidades mayores a la profundidad crítica, es recomendable el uso de alas laterales acopladas a los cinceles en la punta de ellos, lo cual reduce también la resistencia específica y favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo.

De acuerdo con Raper y Bergtold (2007), se puede hacer mucho para disminuir el costo de las operaciones con labranza vertical, vía a reducción de uso de

energía, seleccionando la adecuada geometría de los implementos, la adecuada profundidad de trabajo y humedad en el perfil del suelo. Diferentes estudios realizados muestran que en el manejo apropiado de una labor agrícola, puede conseguirse una disminución en el consumo de combustible de hasta un 30 por ciento (IDAE, 2006).

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

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

El propósito del presente trabajo es evaluar los parámetros de amplitud y frecuencia de vibraciones inducidas en laboreo de suelos agrícolas, su efecto sobre la fuerza tractiva y la potencia aplicada en un sistema de labranza vibratoria inducida.

1.1 Objetivo general

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

1.2 Objetivos específicos

- Calibración de los sensores transductor octagonal extendido, torquímetro y velocidad angular en condiciones de laboratorio.
- Integrar al sistema de labranza vibratoria los sensores transductor octagonal extendido, el torquímetro y de velocidad angular.
- Verificar el funcionamiento del sistema de labranza vibratoria en condiciones de campo.

1.3 Hipótesis

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

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Labranza

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

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

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

2.1.1 Tipos de labranza

La labranza primaria, es la labranza tradicional que se extiende a toda la capa arable. Estas sirven para eliminar compactaciones superficiales, abrir el suelo y crear una estructura grumosa para acumular agua y muchas veces también incorporar, a través de la arada, plagas, malezas y semillas de malezas. La profundidad de la labranza primaria depende de la fuerza de tracción disponible. Con tracción animal es normalmente entre 10 y 20 cm, con el tractor especialmente con el aumento de potencia de los tractores modernos, se llega en algunos países hasta 40 cm. Existe una amplia polémica sobre la profundidad de la labranza primaria. En general no se debería aumentar la profundidad de labranza sólo porque se dispone de la potencia

necesaria. En suelos con una capa de suelo delgada, esto puede literalmente destruir el suelo, lo que ocurre frecuentemente cuando se usan tractores. El incremento de cosecha que coincide a veces con una profundización de la capa arable, sólo en pocos casos es sostenible. Esto depende mucho de la fertilidad y la profundidad del suelo. Por otro lado, con una buena estructura del suelo las raíces de las plantas llegarán a las partes más profundas sin necesidad de una labranza profunda. A largo plazo, la labranza profunda consume más combustible mientras que los beneficios no están asegurados.

La labranza secundaria sirve para preparar el suelo para la siembra. Esto incluye la uniformidad de la superficie, la nivelación, la formación de camellones o surcos para irrigación y para establecer la cama de siembra. Normalmente la labranza secundaria nivela y pulveriza el suelo y una profundización de la misma solamente llevara a una perdida innecesaria de humedad. Cuando el suelo está todavía suelto hay que incluir también una re-compactación en la labranza secundaria. La creación de una cama de siembra tradicional surge a consecuencia de la insuficiencia de la técnica para sembrar en un terreno virgen. También se debe considerar que la labranza secundaria deja, en un clima tropical, una superficie pulverizada en condiciones críticas con gran peligro de erosión (Friedrich, 1997).

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

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

2.1.2 Labranza vertical

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

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

2.1.3 Ventajas de la labranza vertical

La labranza vertical sostiene mejor la productividad de los suelos debido a la presencia de los rastrojos en la superficie que protegen el suelo contra los procesos de erosión. Esta cobertura de rastrojos también impide la formación de costras

superficiales (planchado) que pueden provocar una baja emergencia de los cultivos. Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir no forman una capa dura en el subsuelo (piso de arado) que limita la profundización de las raíces. En cambio los discos de la branza convencional ocasionan capas duras. Debido a que la labranza vertical no invierte el suelo, hay menos descomposición de la materia orgánica y menos pérdida de humedad, que es muy importante para la siembra (Barber, 1997). (Ver Cuadro 2.1). Un ejemplo de los efectos de la labranza vertical sobre el contenido de humedad en el suelo, la cobertura de rastrojo y el rendimiento de maíz en comparación con otros sistemas de labranza.

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

Sistema de labranza	Humedad (%)	Cobertura de rastrojo (%)	Rendimiento de maíz (tHa^{-1})
Labranza cero	13	90	7.77
Labranza vertical	12	36	5.58
Arado de disco	9	14	4.70
Labranza convencional	6	3	3.57

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

2.1.4 Labranza vibratoria inducida

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

Los escarificadores son aperos de labranza que han alcanzado gran utilización en las tecnologías actuales de preparación de suelos, los mismos pueden ser de brazos rígidos, semirrígidos o flexibles, y vibratorios. Los de brazos rígidos poseen

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

Los escarificadores de brazos vibratorios poseen órganos de trabajo activos, o lo que es lo mismo, son sometidos a vibrar de manera forzada, al ser accionados por la fuente energética. Estos escarificadores reducen la resistencia traccional de 30 a 52% con respecto al rígido (Leyva *et al.*, 1998; Soeharsono y Radite, 2010) citados por (Marín *et al.*, 2011); además de ser idóneos para laboreo mínimo por el efecto que logran sobre el suelo en una pasada, aunque este tipo de escarificadores puede aumentar hasta un 50% el consumo de potencia con respecto a los rígidos (Yow y Smith, 1976), producto del aumento de la cantidad de energía que es requerida para imprimirle inercia a la herramienta de labranza y sus mecanismos (Soeharsono y Radite, 2010). Según el tipo de mecanismo generador de vibraciones pueden ser: de biela y manivela, hidrostáticos o neumáticos generadores de pulsaciones intermitentes e inerciales, ó de masas desbalanceadas (Leyva, 2009). (Shahgoli *et al.*, 2010), los estudios realizados en los últimos cincuenta años revelan que, las oscilaciones de las herramientas de labranza pueden ser muy efectivas en la disminución de la fuerza de tiro y el aprovechamiento de la potencia transferida del motor del tractor durante la descompactación del suelo.

Según Awad *et al.* (2009) la velocidad de trabajo tiene efectos directos y proporcionales a la resistencia traccional de los escarificadores vibratorios; pues la misma se incrementa hasta en un seis por ciento cuando la velocidad de avance aumenta en un 200%. Kushwaha y Zhang, (1998), afirman que la fuerza de tiro se incrementa con el incremento de la velocidad de avance del apero, producto de la

aceleración del suelo y la dependencia que tiene ésta de la resistencia intrínseca del suelo, pues los resultados investigativos de (Wismer y Luth, 1972), evidencian que las características de la variación de la fuerza de tiro con respecto a la velocidad de avance del apero están conectadas con el tipo de suelo a laborar.

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

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

2.2 Diseño y evaluación de herramientas de labranza

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

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

2.2.1 Transductores de fuerza

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

La idea de emplear anillos octagonales extendidos (EOR siglas en inglés) en un sistema de medición fue introducido por primera vez por (Lowen *et al.*, 1951). Hoag y Yoerger (1975) derivaron ecuaciones analíticas de distribución de fuerzas para transductores simples y octagonales de anillos extendidos para diferentes cargas y condiciones límites utilizando el método de tensión de energía. Se determinaron dos ecuaciones para el momento de flexión en la sección del anillo prolongado, mismas que se utilizan para el cálculo del momento en la sección utilizando el (EOR). McLaughlin (1996) detectó algunos errores en las ecuaciones de Hoag y Yoerger (1975) y las corrigió.

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

O'Dogherty (1975) diseñó un transductor para determinar las fuerzas de corte y verticales usando una cuchilla en remolacha azucarera utilizando el anillo octogonal extendido. Informó de una buena linealidad, histéresis baja en ciclos de carga y descarga, y sensibilidades cruzadas entre 4,1 y 6,5% para las fuerzas de corte y vertical, respectivamente en el proceso de calibración del transductor. Godwin *et al.*,

(1987) diseñaron tres transductores de (EOR) usando tres diferentes materiales con diferentes relaciones de radio y diferentes espesores del anillo (r / t).

McLaughlin *et al.*, (1998) diseño y fabricó un octagonal de doble anillo extendido (DEOR por sus siglas en inglés) acoplado a una barra de tiro. Ellos calibraron el transductor utilizando métodos de carga uniaxiales y triaxiales. Los autores derivaron la regresión de un modelo para predecir las fuerzas de tiro, verticales, y las cargas laterales, e informó de las sensibilidad cruzada del sensor de 1,9 y 7,0% para las fuerzas de tiro y verticales respectivamente.

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

2.2.2 Sensor de anillo extendido

Los transductores octagonales de anillo extendidos han sido desarrollados como los que se muestran en la Figura (2.1); tanto el anillo extendido y anillo octagonal extendido deben tener una sección central donde los accesorios de carga pueden ser atornillados. Las galgas extensiométricas están montadas en las secciones más delgadas de anillo para la medición de fuerza. (Hoag y Yoerger, 1975).

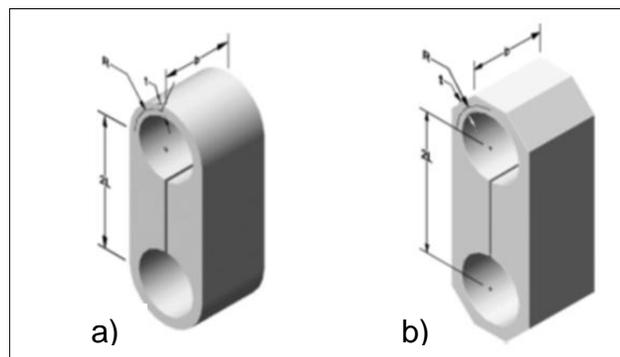


Fig.2.1. Transductores tipo anillo: (a) anillo liso extendido; (b) anillo octagonal extendido “EOR”, (Chen *et al.*, 2005)

2.2.3 Galgas extensiométricas

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

Se pueden lograr mediciones simultáneas de esfuerzos en más de una dirección colocando galgas de un solo elemento en la dirección correcta. Sin embargo, para simplificar esta tarea y tener mayor exactitud, se dispone de galgas múltiples elementos o rosetas como se muestra en la Fig. 2.2.

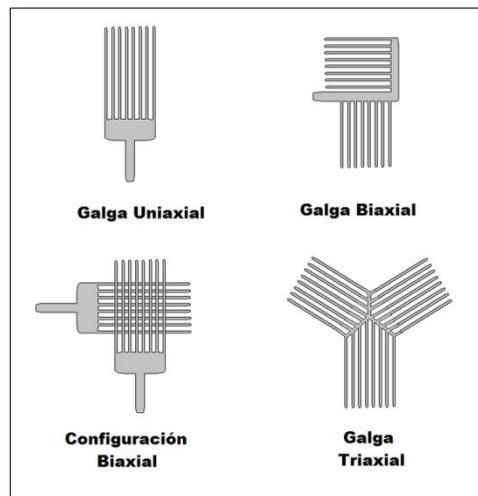


Fig.2.2. Galgas extensiométricas para una y múltiples direcciones

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

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

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

Dónde:

ε = Deformación

L = Longitud original

dL = Cambio en longitud debido a la deformación

σ = Esfuerzo

E = Modulo de elasticidad

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

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

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

R = Resistencia sin deformación

L = Incremento de la resistencia sin deformación

K = Número fijo proporcional

ε = Deformación

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

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

Dónde:

ρ = Resistividad

L = Longitud.

A = Área de la sección

En éste punto, Vaughan (1975) citado por Ozuna (2011) menciona que una viga bajo una carga de tensión simple, ésta incrementa en su longitud y al mismo tiempo es correspondiente a un decremento en la sección transversal. Este es conocido como el efecto Poisson, de manera que la deformación es medida en cualquiera de los planos perpendiculares correspondientes a la carga aplicada, una deformación negativa con valores muy pequeños será detectada. La magnitud de esta deformación es pequeña dependiendo de la relación de Poisson (μ), y esta constante varia de material a material. Este usualmente es sobre 0.3, así que la deformación medida perpendicular a la carga será aproximadamente 0.3 veces la deformación paralela a la carga.

2.2.4 Puente de Wheatstone

Los dispositivos electrónicos que son normalmente usados para medir $\epsilon K = dR/R$ para convertir esta medición de cambio de resistencia en deformación, son el potenciómetro y el puente de Wheatstone como es mostrado en la Figura (2.9). El puente de Wheatstone puede determinar lecturas de galgas de tensión dinámicas y estáticas. El voltaje de la excitación puede ser CA o DC. Aquí solo DC es considerada.

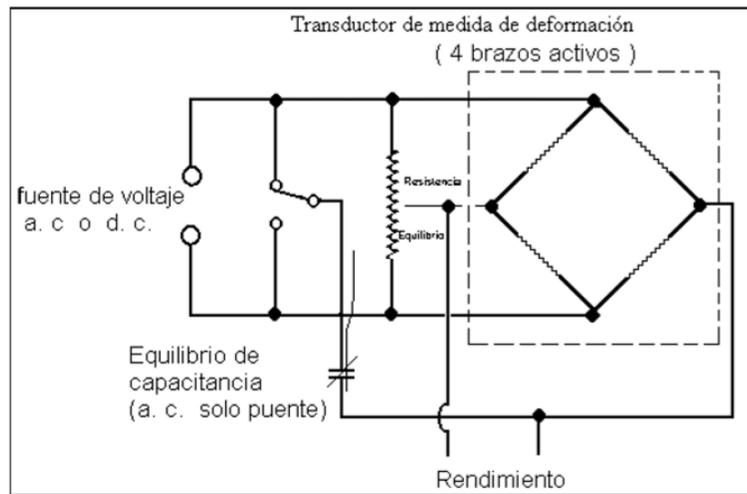


Fig.2.3. Puente de Wheatstone (Godwin, 1993)

De esto se puede desprender la ecuación (2.4)

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

Dónde:

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

III. MATERIALES Y MÉTODOS

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

3.1. Fase I: laboratorio

3.1.1. Calibración TOE

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

1. Computadora Dell Optiplex GX520, con los software *LogView*, *Excel*, *Minitab V15* y *Matlab 2010*.
2. Amplificador – acondicionador de señal DBK43A, con ocho canales de entrada, con ganancia de 100 a 1250x (ϵ), fabricado por lotech, 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 kN 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.

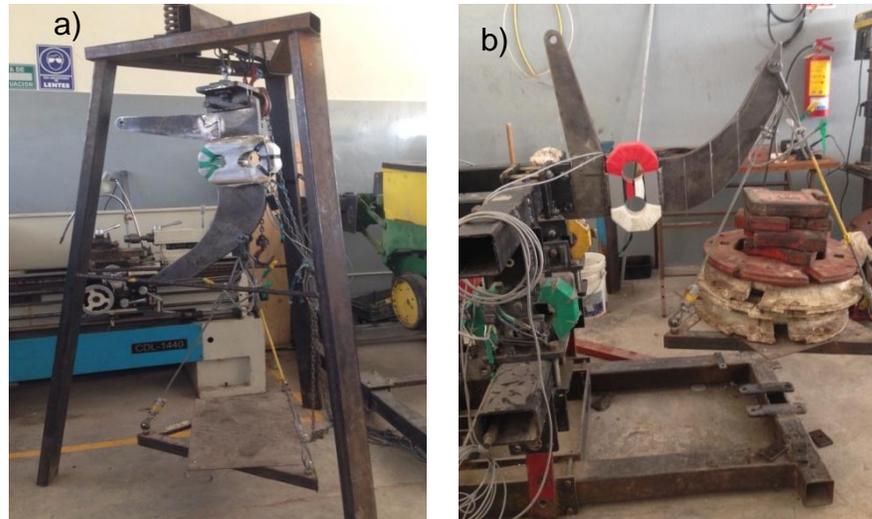


Fig.3.2. a) Posición de calibración vertical, b) Posición de calibración horizontal

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)	SCAILING (V)
Octagonal	Negro- Azul	CH 5	5.5	4.5	4.5
	Negro- Verde	CH 6	5.5	4.5	4.5

Los voltajes de ganancia (gain) y escalonamiento (escailling) 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 torquímetro

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 utilizando 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

SENSOR	CABLE	CANAL	VOLTAJE DE EXCITACIÓN	GAIN (V)	SCALING (V)
Torquímetro	Blanco-Amarillo	CH 7	2.5	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 grafica escalonada. Para su análisis de la manera siguiente:

Los datos obtenidos se encuentran en Volts (V), las magnitudes son muy pequeñas, se convierten los datos a mili Volts (mV), en caso de que los valores sean negativos se tomaran siempre los valores absolutos. Los primeros y últimos 400 datos representan la carga cero, por 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 grafica 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 y la velocidad angular, se contaba solo con un medidor de torque por tanto fue necesario desarrollar un sensor para su medición.

Componentes empleados para la medición de la velocidad angular:

Dos micro controladores PIC16F84A, la hoja de datos se puede consultar en el Anexo B. en los cuales se cargaron programas llamados *rebote cero* y *frecuencia* respectivamente.

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

Un Sensor optoelectrónico infrarrojo de corte H21A1 la hoja de datos se puede consultar en el Anexo C.

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, para esto se hicieron evaluaciones con tres diferentes capacitores 102, 103 y 104, seleccionando el que diera mejor 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.

3.2 Fase de campo

En campo se evaluaron tres factores que afectan el consumo de energía, combinando la teoría vibratoria, velocidad y profundidad de trabajo, un total de 8 combinaciones por cuatro repeticiones más 16 pruebas testigos sin vibración a la profundidad de 0.30 y 0.40 *m*. Los parámetros se muestran en el Cuadro 3.4.

Cada prueba se realizó en 50 *m* de largo, tomando 2500 datos a una frecuencia de 20 *Hz*, Dejando 1 *m* entre pasada y pasada de cincel.

Cuadro 3.4. Factores a evaluar con sus variables

Factor	Variable
Velocidad	$1.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
	$2.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
Amplitud	60 mm
	70 mm
Profundidad	0.30 m
	0.40 m

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se muestra el aparato con el que se trabajó, las calibraciones y sus ecuaciones de respuesta del transductor octagonal (TOE), torquímetro (T) y sensor de velocidad angular, así como la información del funcionamiento en condiciones de campo.

4.1 Presentación del equipo

En la (Fig. 4.1) se muestran las partes que conforman el aparato de verificación de parámetros de funcionamiento en un subsolador vibratorio.

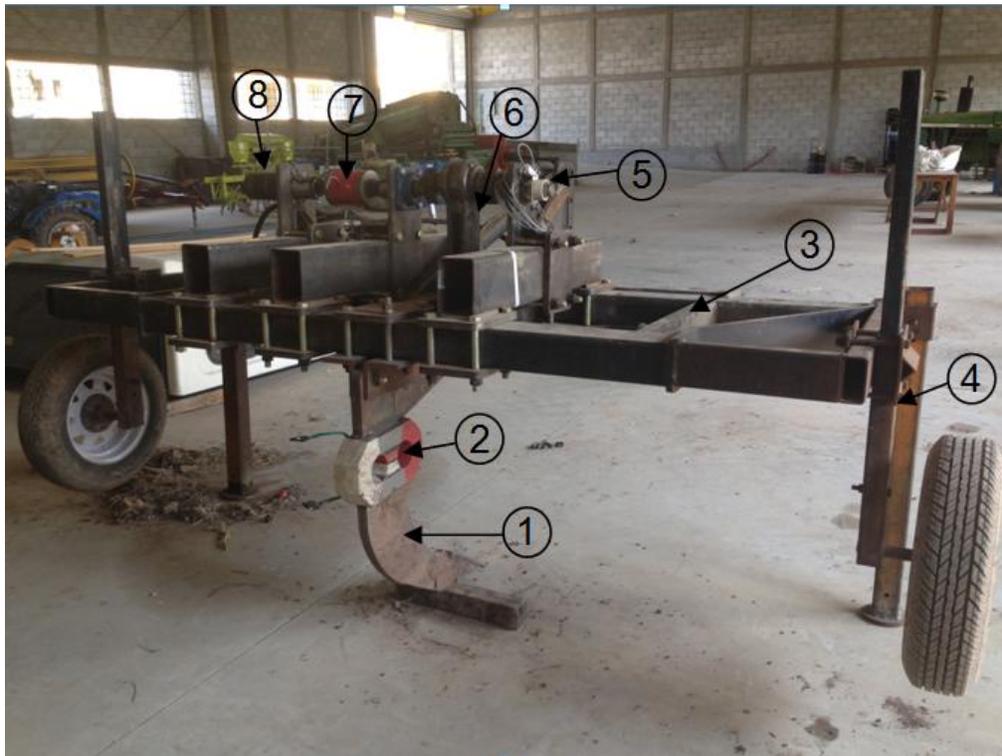


Fig.4.1. Partes que integran el aparato de verificación de parámetros de un subsolador vibratorio. (1) Cincel (2) Transductor octagonal extendido (3) Bastidor(4) llantas de control de profundidad (5) Sensor medidor de velocidad (6) Biela (trasmite movimiento al cincel) (7) Torquímetro (8) Motor hidráulico.

4.2 Calibración de octagonal

En la (Fig. 4.2) se muestra los bastidores para calibración del TOE para determinar las constantes. En la (Fig.4.2a) se muestra el bastidor de calibración para determinar la constante para la fuerza horizontal (tiro) y en la figura (4.2b) se muestra el bastidor de calibración para determinar la constante de la fuerza vertical (penetración).

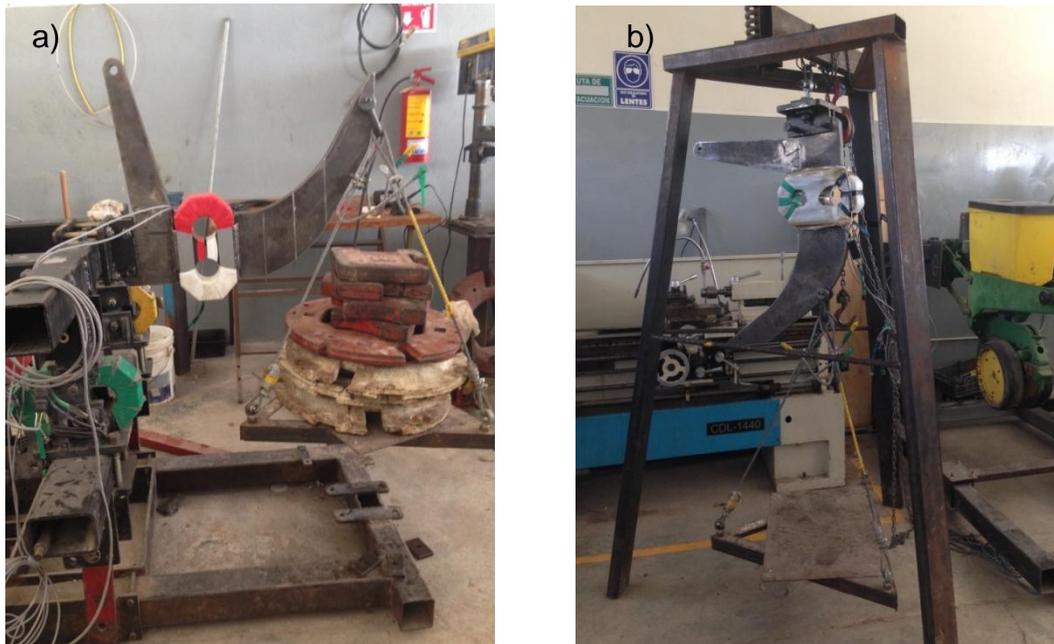


Fig. 4. 2 a) posición cargas para determinar la constante en la fuerza horizontal. b) posición cargas para determinar la constante en la fuerza vertical

4.2.1 Calibración del octagonal extendido para la fuerza horizontal

La (Fig. 4.3) muestra la grafica escalonada de voltajes generada al subir y bajar cada uno de los ocho pesos empleados para la calibración.

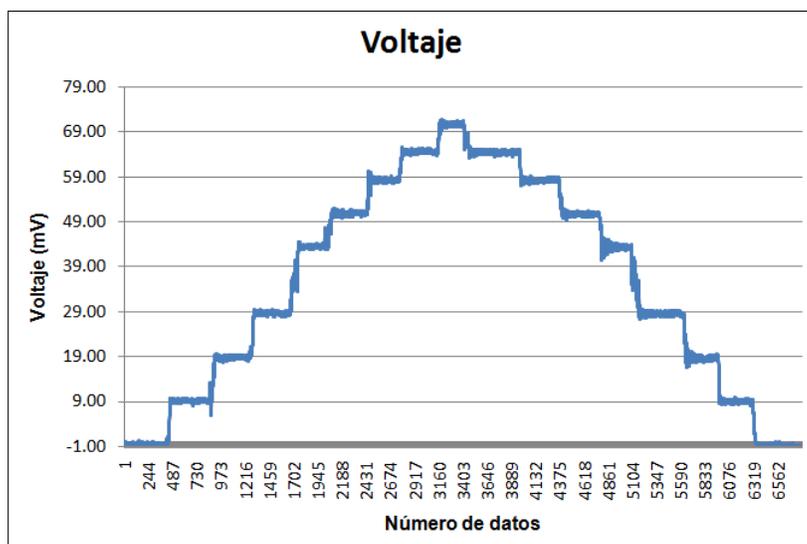


Fig.4.3. Grafica escalonada de voltajes (mV) de la fuerza horizontal

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

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

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

En el (Cuadro 4.2) se muestra el análisis de varianza de la regresión para obtener el valor de la constante de calibración de la fuerza horizontal. El valor de la constante fue de $47.74 mV$ por N con un coeficiente de correlación de 99.7%

Cuadro 4.2 Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerza horizontal

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

En la (Fig. 4.4) se muestra la ecuación de regresión con la constante mencionada de 47.74 *mV* por *N*.

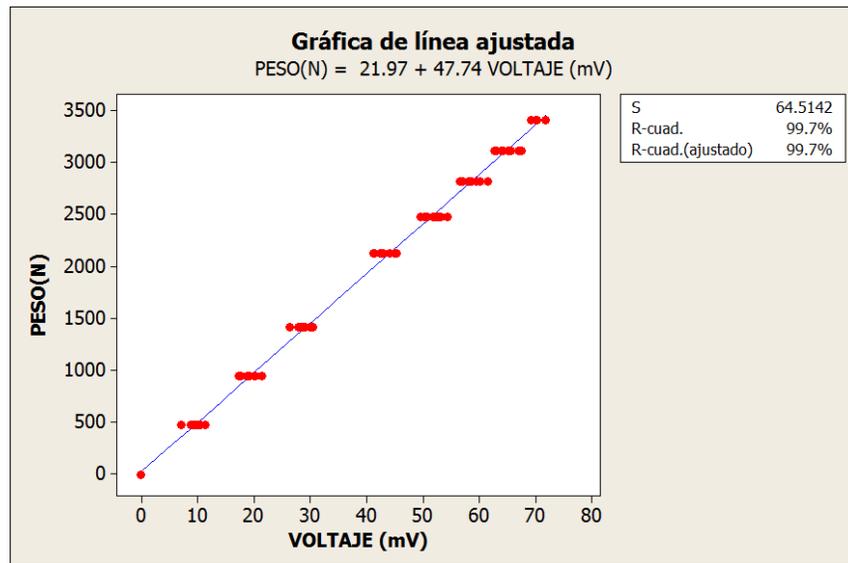


Fig.4.4 Grafica de línea ajustada y ecuación de respuesta

4.2.2 Calibración del octagonal extendido para la fuerza vertical

La (Fig. 4.5) muestra la grafica escalonada de voltajes generada al subir y bajar cada uno de los ocho pesos empleados para la calibración en la fuerza vertical.

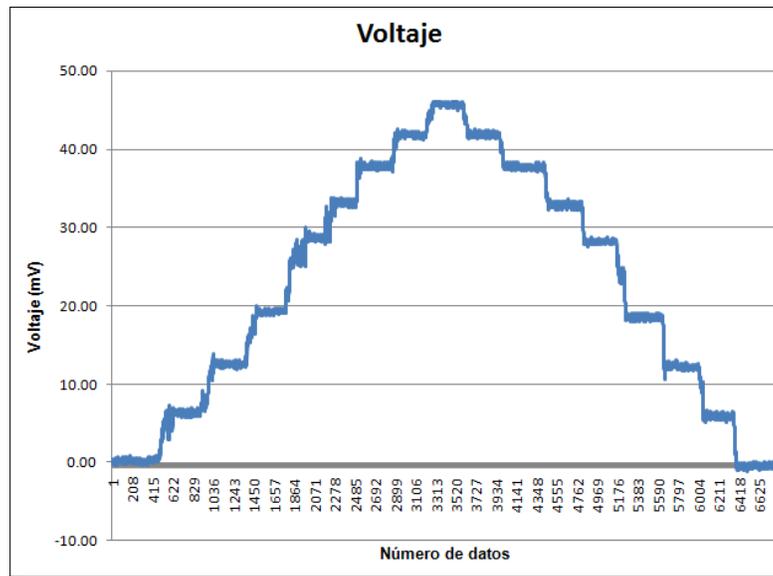


Fig.4.5 Grafica escalonada de voltaje (mV) del eje vertical

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

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

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

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

Cuadro 4.4 Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para fuerzas vertical

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

En la (Fig. 4.6) se muestra la ecuación de regresión con la constante mencionada de 75.00 *mV* por *N*.

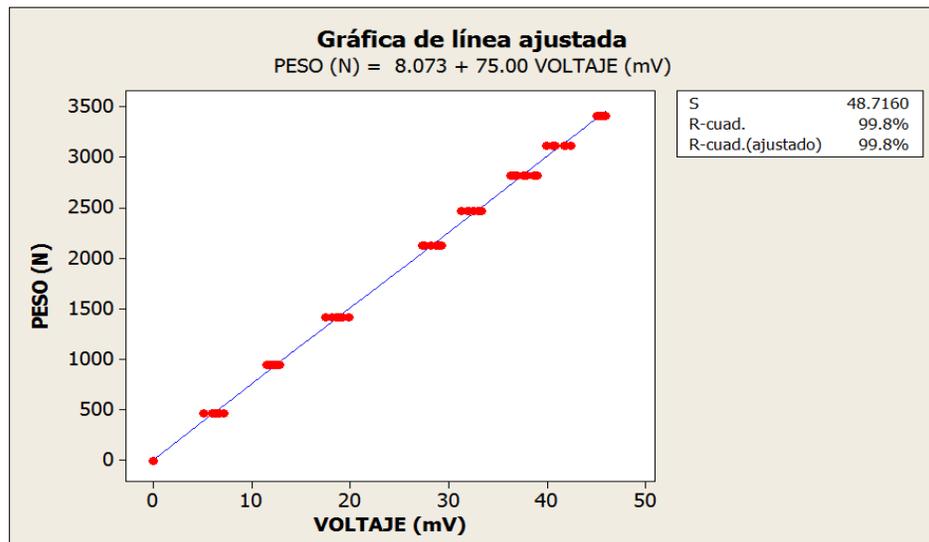


Fig.4.6. Grafica de línea ajustada y ecuación de respuesta

4.3. Calibración de torquímetro

En la (fig. 4.7) se puede observar la deformación en (*mV*) generada a partir del ascenso y descenso de cuatro pesos con un brazo de palanca de 0.85 *m*.

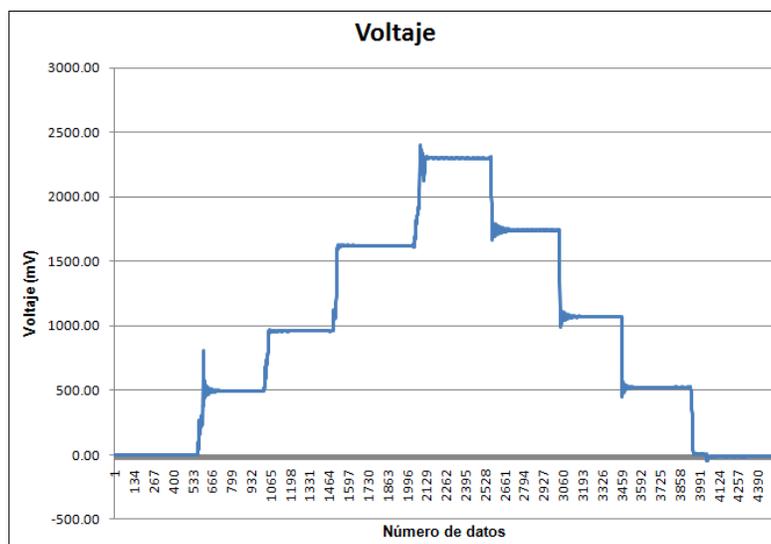


Fig.4.7. Grafica escalonada generada con voltajes mV del torquímetro

El (Cuadro 4.5) se muestra la magnitud de la fuerza (Nm), que genero la deformación, versus el valor medio del voltaje (mV) censado con cinco repeticiones de calibración.

Cuadro 4.5. Fuerza (Nm) vs. Voltaje (mV) para el torquímetro

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

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

pesos aplicados. El valor de la constante fue de 0.4538 *mV* por *Nm* con un coeficiente de correlación 98.8 %

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

Ecuación de regresión					
Fuerza (<i>Nm</i>) = 29.34 + 0.4538 VOLTAJE (<i>mV</i>)					
S = 29.1479 R-cuad. = 98.8% R-cuad.(ajustado) = 98.8%					
Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	4823408	4823408	5677.29	0.000
Error	68	57773	850		
Total	69	4881181			

En la (Fig. 4.8) se muestra la ecuación de regresión con la constante mencionada de 0.4538 *mV* por *Nm*.

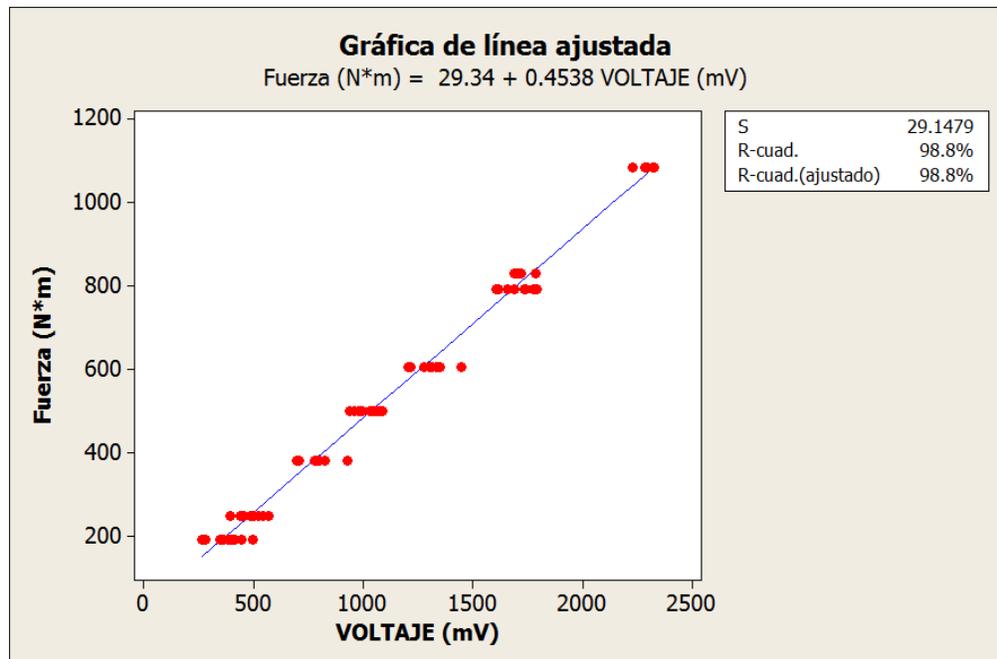


Fig.4.8. Grafica de línea ajustada y ecuación de respuesta

4.4 Calibración del sensor de velocidad

Para calcular la velocidad angular con la que gira la flecha que transmite la vibración, fue necesario instalar un encoder con cinco muescas por revolución. La calibración consistió en mandar una cantidad de pulsos y verificar que la pantalla LCD registrara la misma cantidad de pulsos enviados. Para evitar rebotes se colocó

un capacitor cerámico 104, comparándolo con otros dos capacitores (102 y 103) para seleccionar el de mejor respuesta, los datos del Cuadro 4.7 muestran el comportamiento de los tres capacitores. Mostrando el capacitor 104 la mejor respuesta.

Cuadro 4.7. Calibración del sensor de velocidad empleando tres diferentes valores de capacitores

# de pulsos enviados	# de pulsos recibidos		
	102	103	104
20	5	20	20
	63	20	20
	165	20	20
	189	18	20
	154	20	20
	113	20	20
	252	20	20
	49	19	20
	240	19	20
	137	20	20
	131	10	10
	104	10	10
	96	10	10
10	97	10	10
	77	10	10
	84	10	10
	121	10	10
	106	10	10
	113	10	10
	108	10	10

El Cuadro (4.8) se muestra la calibración de la velocidad de giro de la flecha y frecuencia de oscilación con la que se harán las pruebas de campo y se obtuvo un promedio de frecuencia de oscilación de 2.96 Hz.

Cuadro 4.8. Velocidad y frecuencia de oscilación del cincel

Tiempo (s)	# de pulsos	Frecuencia (Hz)	RPM
10	147	2.94	176.4
10	148	2.96	177.6
10	149	2.98	178.8
10	148	2.96	177.6
10	149	2.98	178.8

4.5 Pruebas de campo

Las pruebas de campo se realizaron en el campo experimental de la UAAAN “el bajío” ubicado 25° 21.52” N y 101° 50” O y a 1740.5 msnm y un suelo franco arcilloso.

El (Cuadro 4.9) muestra cómo fueron asignados los nombres para cada arreglo del sistema de labranza vibratoria combinando las tres variables *amplitud*, *profundidad* y *velocidad*.

Cuadro 4.9. Asignación de nomenclatura de prueba donde: A1= 60 y A2=70 mm de amplitud, P1= 0.30 y P2= 0.40 m de profundidad y V1= 1.5 (A1) y V2= 2.5 kmh⁻¹ (A3) de velocidad

Amplitud, Profundidad	V1	V2
A1,P1	6030 A1 (A1P1V1)	6030 A3
A1,P2	6040 A1	6040 A3
A2,P1	7030 A1	7030 A3
A2,P2	7040 A1	7040 A3

Se realizaron cuatro replicas por cada tratamiento obteniendo un total de 96, mas dos pruebas testigo que se hicieron con la velocidad uno a las dos profundidades con el cincel sin vibrar.

4.5.1 Datos de fuerza horizontal o de tiro

La (Fig. 4.9) se muestra una gráfica con la diferencia de la fuerza horizontal o de tiro que existe entre una pasada con P1 y P2, sin vibrar.

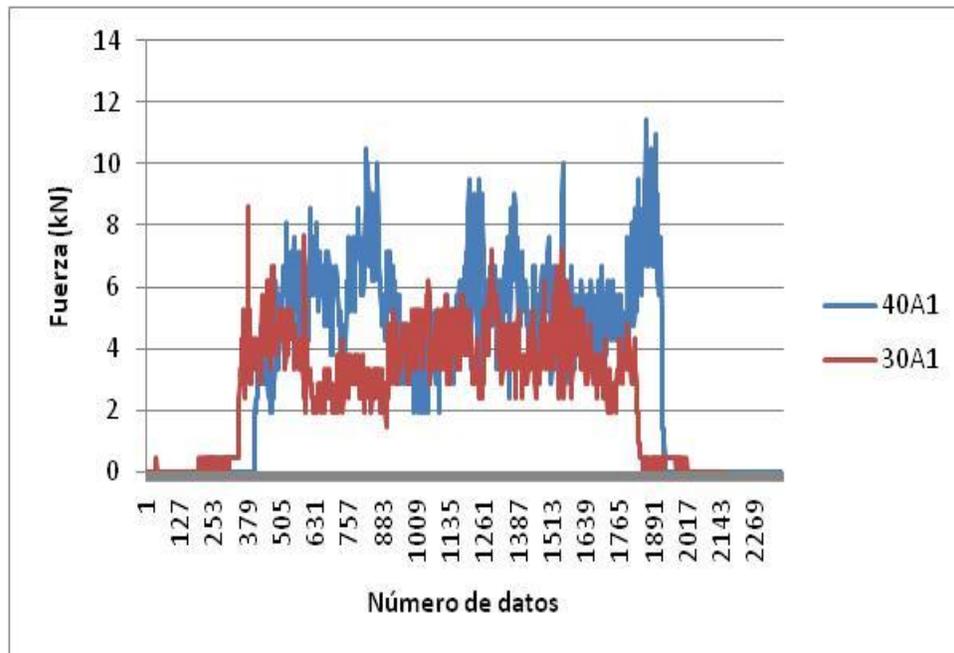


Fig.4.9. Diferencia de fuerza de tiro a dos profundidades sin vibración

En la (Fig. 4.10) se comparan las graficas de la fuerza obtenida en campo en dos repeticiones utilizando la misma velocidad de avance, misma profundidad 0.40 *m* y como única diferencia la vibración del subsolador en una de ellas, en la cual se observa menor deformación cuando se cuenta con vibraciones inducidas.

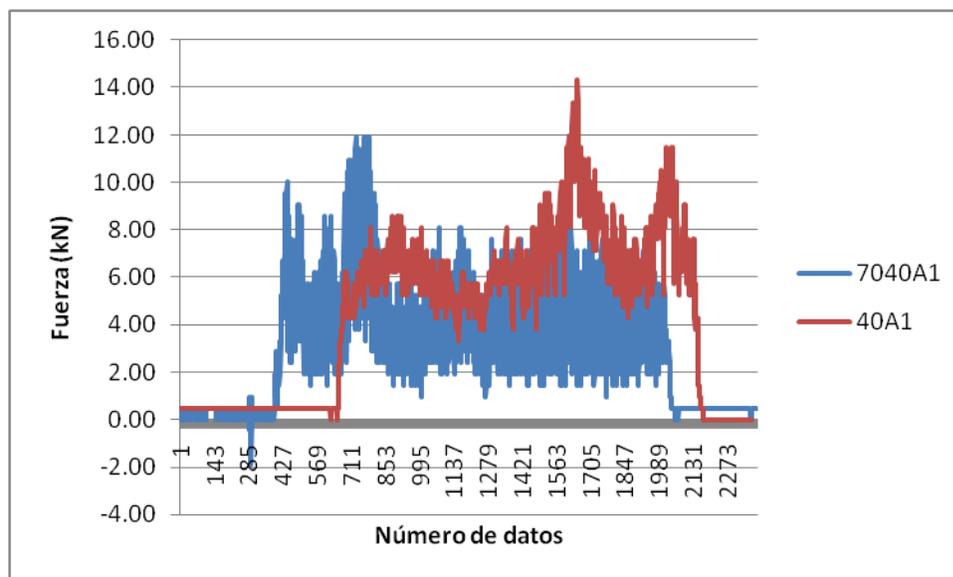


Fig.4.10. Pruebas a la misma profundidad de 0.40m, vibrando y sin vibrar

En la (Fig. 4.11) se comparan las graficas de fuerzas obtenidas en campo en dos repeticiones utilizando la misma velocidad de avance, misma profundidad 0.30 m y como única diferencia la vibración del subsolador en una de ellas en la cual se observa menor deformación cuando se cuenta con vibraciones inducidas.

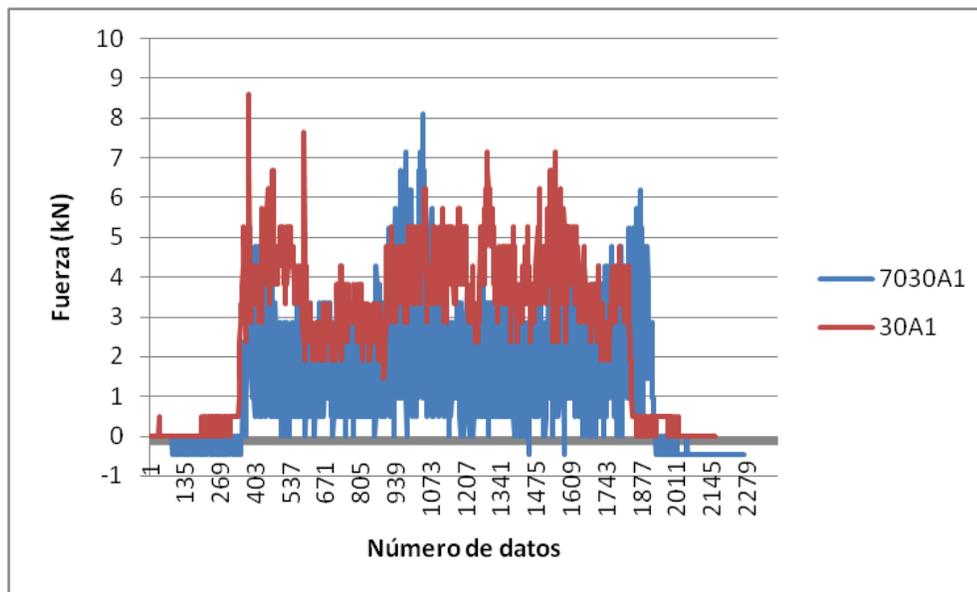


Fig.4.11. Fuerza de dos pruebas a la misma profundidad de 0.30m, vibrando y sin vibrar

4.5.2 Datos de fuerza vertical o de penetración

La (Fig. 4.12) Compara las fuerzas obtenidos en campo para el eje vertical utilizando frecuencias diferentes, misma velocidad y profundidad.

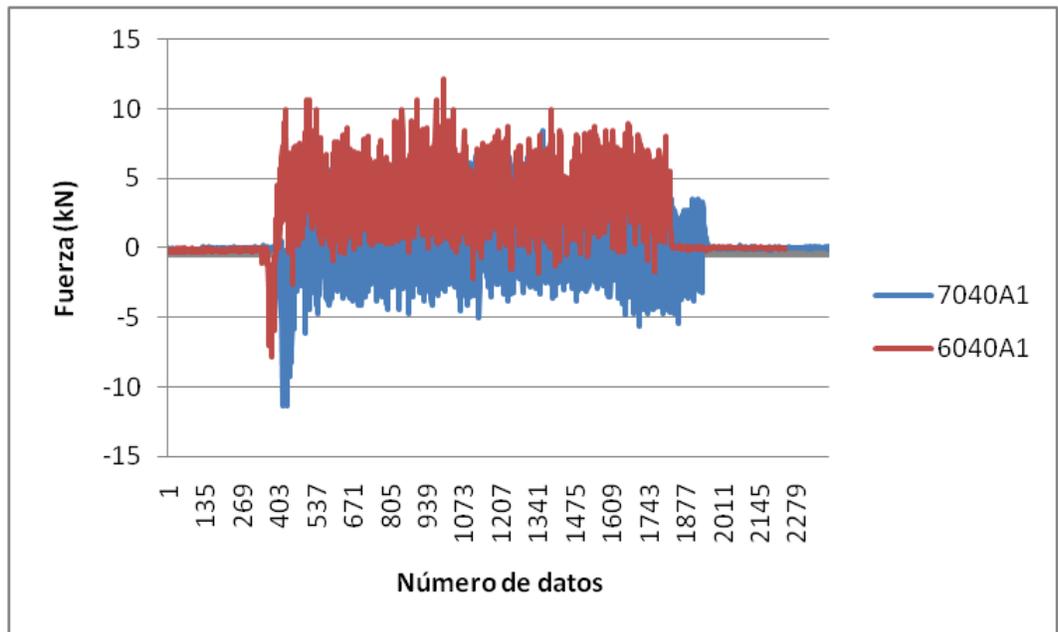


Fig.4.12. Comparación de fuerzas verticales para diferentes amplitudes, para la profundidad de 0.40

En la (Fig. 4.13) Se muestra la fuerza obtenido en campo para el eje vertical o fuerza de penetración la cual es mayor a cero para esta amplitud lo que significa que solo existe una dirección de la fuerza, como se ve en el principio de la grafica hay un valor negativo esta es la fuerza que presenta el suelo a la penetración la parte siguiente de la gráfica refleja la fuerza que mantiene la profundidad del implemento.

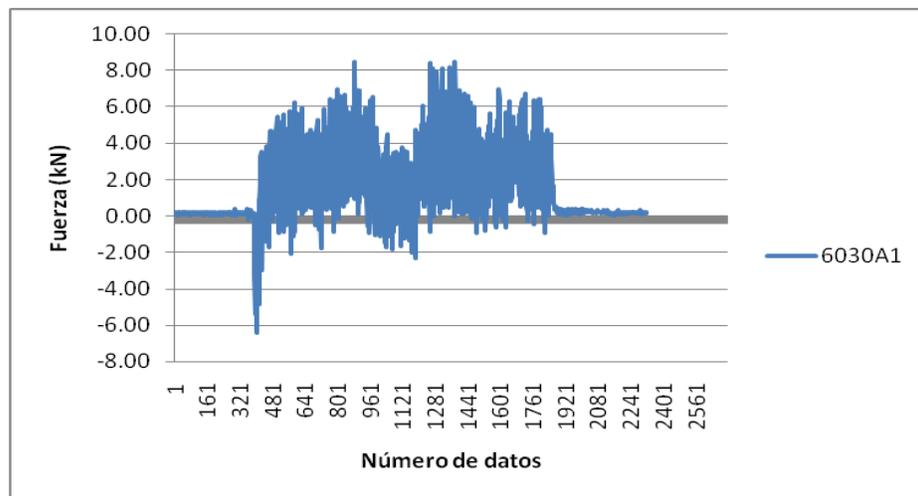


Fig.4.13. Fuerza vertical (KN) de la prueba 60 de amplitud a una profundidad de 0.30

La (Fig. 4.14) Muestra la fuerza obtenida en campo en el eje vertical o fuerza de penetración, la cual oscila en cero para esta amplitud lo que significa que ejercen fuerzas en direcciones opuestas una de rechazo a la penetración y otra de aceptación a la penetración.

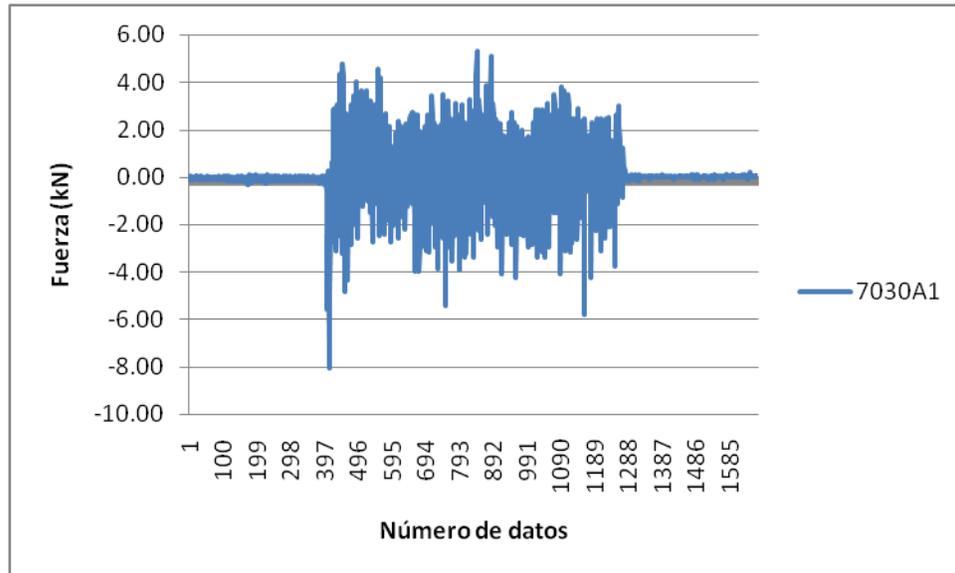


Fig.4.14. Fuerza vertical con 70 mm de amplitud, 0.30 m de profundidad

4.5.3 Datos de torque

La (Fig. 4.15) muestra la magnitud del torque obtenido en campo y se observan dos direcciones de momentos por lo tanto se analizó todo el espectro para determinar el par total aplicado.

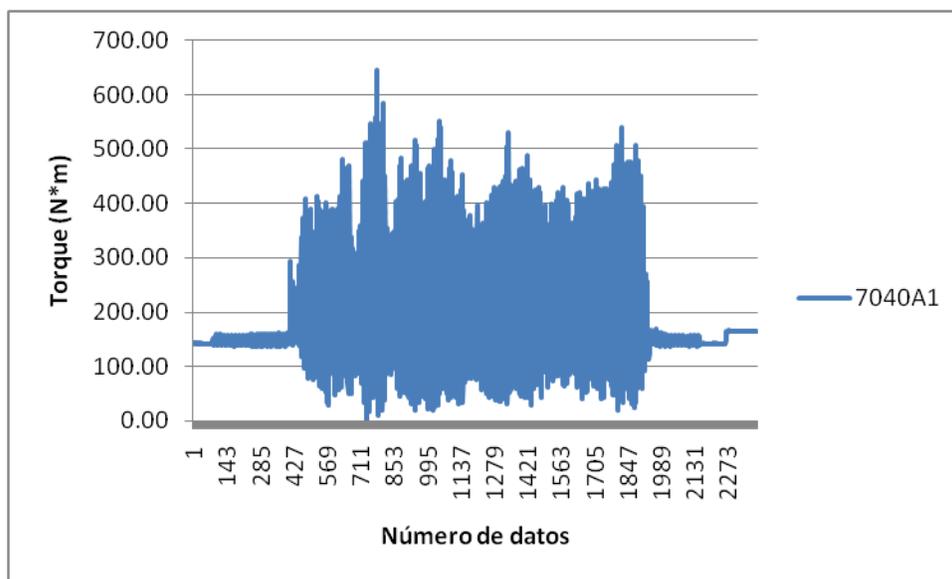


Fig.4.15. Grafica de torque (Nm) para la amplitud de 70 mm y una profundidad de 0.40 m

En el (Cuadro 4.10) se muestran la magnitud de la fuerza de tiro demandada por cada una de los arreglos realizados en campo para todas las repeticiones y promedio.

Cuadro 4.10. Fuerzas de tiro considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada arreglo

Prueba	FUERZA DE TIRO POR REPETICION				
	R1(kN)	R2(kN)	R3(kN)	R4(kN)	$\bar{x}F(kN)$
40A1	8.47	6.61	10.39	7.73	8.30
30A1	4.38	4.83	4.33	2.61	4.04
7030A1	1.20	1.47	1.49	1.28	5.44
6030A1	7.14	6.85	4.77	4.34	5.77
7040A1	5.11	7.64	8.67	9.32	7.69
6040A1	9.68	11.41	10.71	12.53	11.08
6030A3	7.98	7.86	10.20	6.20	8.06
7030A3	5.31	5.08	4.96	7.75	5.78
6040A3	11.33	19.79	19.39	14.39	16.33

*A1=1.5kmh⁻¹, A3=2.5kmh⁻¹

En el (Cuadro 4.11) se encuentran la fuerza de penetración demandada para cada arreglo.

Cuadro 4.11. Fuerza de penetración considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada arreglo

Prueba	FUERZA DE RESISTENCIA A LA PENETRACION POR REPETICION				
	R1(kN)	R2(kN)	R3(kN)	R4(kN)	$\bar{x}F(kN)$
401A	4.04	2.80	4.82	2.87	3.63
301A	1.87	1.98	1.81	0.71	1.59
7030A1	1.89	2.02	2.34	2.30	2.14
6030A1	3.73	2.20	1.94	4.59	3.11
7040A1	1.75	2.96	4.21	4.24	3.29
6040A1	4.29	5.48	5.70	5.74	5.30
6030A3	4.23	3.44	4.25	2.93	3.71
7030A3	1.75	2.23	1.53	2.06	1.89
6040A3	5.38	9.70	9.77	6.88	7.93

*A1=1.5kmh⁻¹, A3=2.5kmh⁻¹

En el (Cuadro 4.12) se encuentran el torque generado por el cincel y la resistencia a la falla del suelo.

Cuadro 4.12. Torque considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada arreglo

Prueba	TORQUE				
	R1 (Nm)	R2(Nm)	R3(Nm)	R4(Nm)	$\bar{x}F(Nm)$
401A	29.44	9.65	11.57	6.78	14.36
301A	6.99	3.01	1.52	2.54	14.06
7030A1	121.35	88.04	98.66	127.06	108.78
6030A1	157.70	180.39	209.29	131.60	169.74
7040A1	233.57	344.71	345.25	288.84	303.09
6040A1	309.85	277.00	300.91	329.28	304.26
6030A3	147.80	183.43	193.64	221.32	186.55
7030A3	183.61	249.36	204.21	178.30	203.87
6040A3	308.04	346.34	309.04	309.04	318.11

*A1=1.5kmh⁻¹, A3=2.5kmh⁻¹

V. CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

Se obtuvieron ecuaciones de calibración para los sensores TOE y torquímetro. Para las fuerzas de tiro y penetración del TOE, se presentan coeficientes de correlación de 99.7% y 99.8% respectivamente, y de par un coeficiente de correlación del 98.8%.

Se acondiciono el torquímetro con un medidor de velocidad angular para obtener la potencia hidráulica consumida por el sistema vibratorio.

El sistema de labranza vibratoria mostro un desempeño adecuado en la funcionalidad y operación de los sensores en condiciones de campo.

Se observo gráficamente que la demanda de fuerza de tiro en el sistema vibratorio disminuye en comparación con el sistema tradicional.

5.2 Recomendaciones

- Rediseñar el circuito para el medidor de velocidad angular utilizando el anexo A.
- Probar con sensor magnético la respuesta de la medición de velocidad angular
- Evaluar el sistema de labranza vibratoria con diferentes arreglos espaciales entre cuerpos.
- Evaluar el sistema con diferentes amplitudes y frecuencias de oscilación

VI. LITERATURA CITADA

- 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.
- Aluko, O.B. y D.A. Seig.** 2000. “An Experimental Investigation Of The Characteristics Of And Conditions For Brittle Fracture In Two-Dimensional Soil Cutting”. SoilTillage Res. 57:143-157pp.
- ASAE., Standards.** 2002.“Procedures For Using And Reporting Data Obtained With The Soil Cone Penetrometer”. 49th Ed. 542p. St. Joseph, Mich.
- Awad-allah, M., Mahgoub H., M. Abo-Elnor E., Y Shahin M.** 2009.“Experimental Investigation of the Effect of Vibration During Tillage Process of Multi Shank Plough Blade”. In: 13th International Conference on aerospace sciences & aviation technology, asat. 16 p. Cairo, Egipto.
- Barber, R.G., F, Navarro., y M Orellana.** 1993. “Labranza Vertical”. Centro de Investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical y Proyecto de Desarrollo Tierras Bajas del Este del Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia.
- Barber. R.** 1997. “Los Principales Tipos De Labranza. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos”. Boletín No. 8 de tierras y aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 8:59-86pp. Roma Italia
- Bonifaz del C.** 2012. “Evaluación de un Transductor Integral Para Determinar las Magnitudes de las Fuerzas que Actúan en los Implementos de Labranza”. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila. México.

- Boone, F. R.** 1988. "Weather And Other Environmental Factors Influencing Crop Responses To Tillage And Traffic". Soil Tillage Research 11(3-4): Pp.283-324pp.
- Camacho-Tamayo, J. H. y G. A. Rodríguez.** 2007. "Evaluación De Implementos De Labranza A Diferentes Velocidades De Operación Y Contenidos De Agua Del Suelo". Agricultura Técnica. 67(1). 60-67pp.
- Chen Y., Tessier S., y N, McLaughlin.**2005. "Doubled Extended Octagonal Ring (DEOR) Drawbar Dynamometer Written for Presentation at TheCSAE/SCGR2005" 26-29pp. Meeting Winnipeg. Manitoba
- Cook, M., W, Lewis.** 1989. "Conservation Tillage for Crop Production in Nort Carolina. Nort Carolina Agricultural Extension Service".Nort Carolina stateuniversity. Releigh. USA
- Cooper, W. D., A, D, Helfrick.** 1991. "Instrumentación, Electrónica Moderna Y Técnicas De Medición", vol. 1. 101p.México.
- FAO.** 2000. "Manual De Prácticas Integradas De Manejo Y Conservación De Suelos". Boletín de tierras y aguas de la FAO. 204p. Roma. Italia.
- FAO.** 2003. "Manual De Prácticas Integradas De Manejo De Conservación De Suelos".(Textodemanual).http://www.fao.org/ag/ags/agse/agse_s/7mo/iita/iita.htm
- Friedrich, T.** 1997. "Conceptos y Objetivos de la Labranza en Agricultura Conservacionista. Manual de prácticas integrada de manejo y conservación de suelos". Boletín No. 8 de tierras y aguas de la Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 4: 29-38pp. Roma Italia.
- Godwin, R. J.** 1975. "An Extended Octagonal Ring Transducer for Use in Tillage Studies". J. Agric. Eng. Res., 20: 347-352pp.

- Godwin, R.J.** 1987. "An Instrumentation System For Deep Tillage Research". Transactions of the ASAE 30 (6), 1578–1582pp.
- Godwin, R.J., A. J. Reynolds., O'Dogherty; Al-Ghazal, A. A.** 1993. A Triaxial Dinamometer for Force and Moment Measurements on Tillage Implements. J. Agric. Engng. Res. 55:189-205pp.
- Hoag, D.L., R.R. Yoerger.** 1975. "Analysis and Desing of Load Rings". Transactions of the ASAE 18(6):995-999pp.
- Hoogmoed. W. B.** 1999. "Tillage for Soil and Wáter Conservation in the Semiarid Tropic". Wageningen Agricultural University. The Netherlands.
- IDAE.** 2006. "Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola". Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. 2ª Edición corregida. Madrid, España.
- Kepner, R. A., Barger, E. L.** 1978. "Principles of Farm Machinery". Third Edition, The AVI Publishig Company, Inc Connecticut.
- Kheiralla, A.F., A. Yahya, M. Zohadie y W. Ishak.** 2003. "Design and Development of a Three-Point Auto Hitch Dynamometer for an Agricultural Tractor". AJSTD, 20(3 y 4): 271-288pp.
- Kushwaha, R., y Zhang X.** 1998. "Evaluation of Factors and Current Approaches Related to Computerized Design of Tillage Tools: a Review". Journal of Terrarmechanics. 35: 69-86pp.
- Lal, R.** 1995. "Tillage Systems in the Tropics: Management options and sustainability implications". Soils Bulletin 71. FAO, Rome, Italy
- Leyva, O.** 2009. "Fundamentación de una Tecnología para Laboreo Mínimo de Suelos Vertisoles Basada en la Aplicación de una Máquina Compleja en Caña de Azúcar". Tesis, Doctor en Ciencias, Universidad Agraria de La Habana. 143p. La Habana, Cuba.

- Leyva, O., A. Luna., M Torres., y M. Montejo.** 1998. "Evaluación de Diferentes Tecnologías de Laboreo Mínimo en Suelos Ferralíticos Rojos". Ciencias Técnicas Agropecuarias, 7(3): 13-16pp.
- Lili, X., L. Jihul.** 2013. "Dynamic Análisis Experimental Research of Vibratory Subsoiler System". Theoretical and Applied Information Technology 48(2) 1195- 1201pp.
- Lowen, E. G., E. R. Marshall.,yM. C. Shaw.** 1951. "Electric Strain Gauge Tool Dynamometers".Proc. Soc. Exp. Stress Analysis. 8(2): 1-16pp.
- Marín, L., O. Leyva., y Suárez, M.** 2011. "Efecto del Modo de Vibración y la Velocidad de Trabajo en la Disminución de la Resistencia Traccional de los Órganos Escarificadores Vibratorios". Ciencias Técnicas Agropecuarias 20(3) 57-62pp. Cuba.
- Martínez, R. A.**2008. "Sistema de Medición". Aplicación Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Mecanización. 52p. La Habana, (reseña).
- McKyes, E.** 1985."Soil Cutting and Tillage". Developments in Agricultural Engineering No 7. 217p. Elsevier, Amsterdam.
- McLaughlin, N. B.** 1996. "Correction of in Equation for Extended Ring Transducers". Trans. ASAE, 39(2): 443-444pp.
- McLaughlin, N. B., S. Tessier., y A. Guilbert.** 1998."Improved Double Extended Octagonal Ring Drawbar Transducer for 3-D Measurement". Can. Agric. Eng., 40: 257-264pp.
- O'Dogherty, M.J.** 1975. "A Dynamometer to Measure the Forces on a Sugar Beet Topping Knife".J. Agric. Eng. Res. 20, 339–345pp.
- Oussible, M., R. K. Crookston., W. E. Larson.** 1992. "Subsurface Compactio Reduces the Root and Shoot Growt and Grain Yield Components of Wheat". Agrom.J.79:882-886pp.

- Ozuna, G.** 2011. "Evaluación de un Transductor Integral de Fuerza Bajo Condiciones de Campo". Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila. México.
- Phillips, S.H., y H.M. Young Jr.** 1973."Agricultura sin Laboreo. Labranza Cero".Universidad de Kentucky.
- Raper, R. L. y J. S. Bergtold.**2007. "In Row Subsoiling: A review and Suggestions for Reducing Cost of this Conservation Tillage Operation". Appl. Eng. Agric. 23: 463-471pp.
- Shahgoli, G., J. Fielke.,J. Desbiolles., y C. Saunders.** 2010. "Optimising Oscillation Frequency in Oscillatory Tillage ", Soil & Tillage Research, 106.202-210pp.
- Soeharsono, G., y P Radite.** 2010. "Analytical Study of Self-Excited Vibration on Single Degree of Freedom Vibratory-Tillage", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 5(6): 61-66pp.
- Steiner, K. G.** 1998."Conserving Natural Resources and Enhancing food security by adopting no tillage".T"OB Publication No. F-5/e GTZ. Echborn. Germany.
- VaughanJ.** 1975.Application of B & K Equipment to Strain Measurements.
- Velázquez, J.U.** 2011. "Rediseño de Prototipo para Labranza de Precisión". Tesis. Licenciatura.Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila. México.
- Vivero, W.** 1998. "Prácticas de Conservación de Suelos". En Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable de Montañas. 36-361pp. (Quito, Ec.).
- Wismer, R., y H.Luth.** 1972. "Rate Effects in Soil Cutting". Journal of Terramechanics, 8(3): 11-21pp.
- Yow, J. y U. Smith.** 1976. "Sinusoidal Vibratory Tillage", Journal of Terramechanics, 13(4): 211-226pp.

Anexo B

B. Hoja de datos de microcontrolador PIC16F84

En la Fig. (B.2) 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 RB0MINT pin
 - TMR0 timer overflow
 - PORTB<7:4> interrupt-on-change
 - Data EEPROM write complete

Peripheral Features:

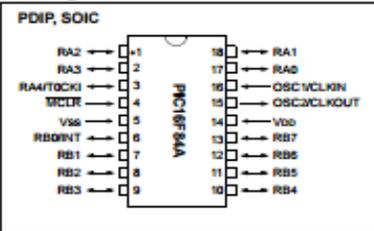
- 13 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
 - 25 mA sink max. per pin
 - 25 mA source max. per pin
- TMR0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler

Special Microcontroller Features:

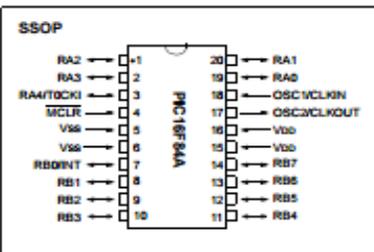
- 10,000 erase/write cycles Enhanced FLASH Program memory typical
- 10,000,000 typical erase/write cycles EEPROM Data memory typical
- EEPROM Data Retention > 40 years
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) - via two pins
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT), Oscillator Start-up Timer (OST)
- 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

Fig.B.2. Hoja de datos del microcontrolador PIC16F84A.

Anexo C

C. Hoja de datos de sensor H21A1

En la Fig. (C.3) se muestra la hoja de datos de sensor optico utilizado en el sensor de velocidad

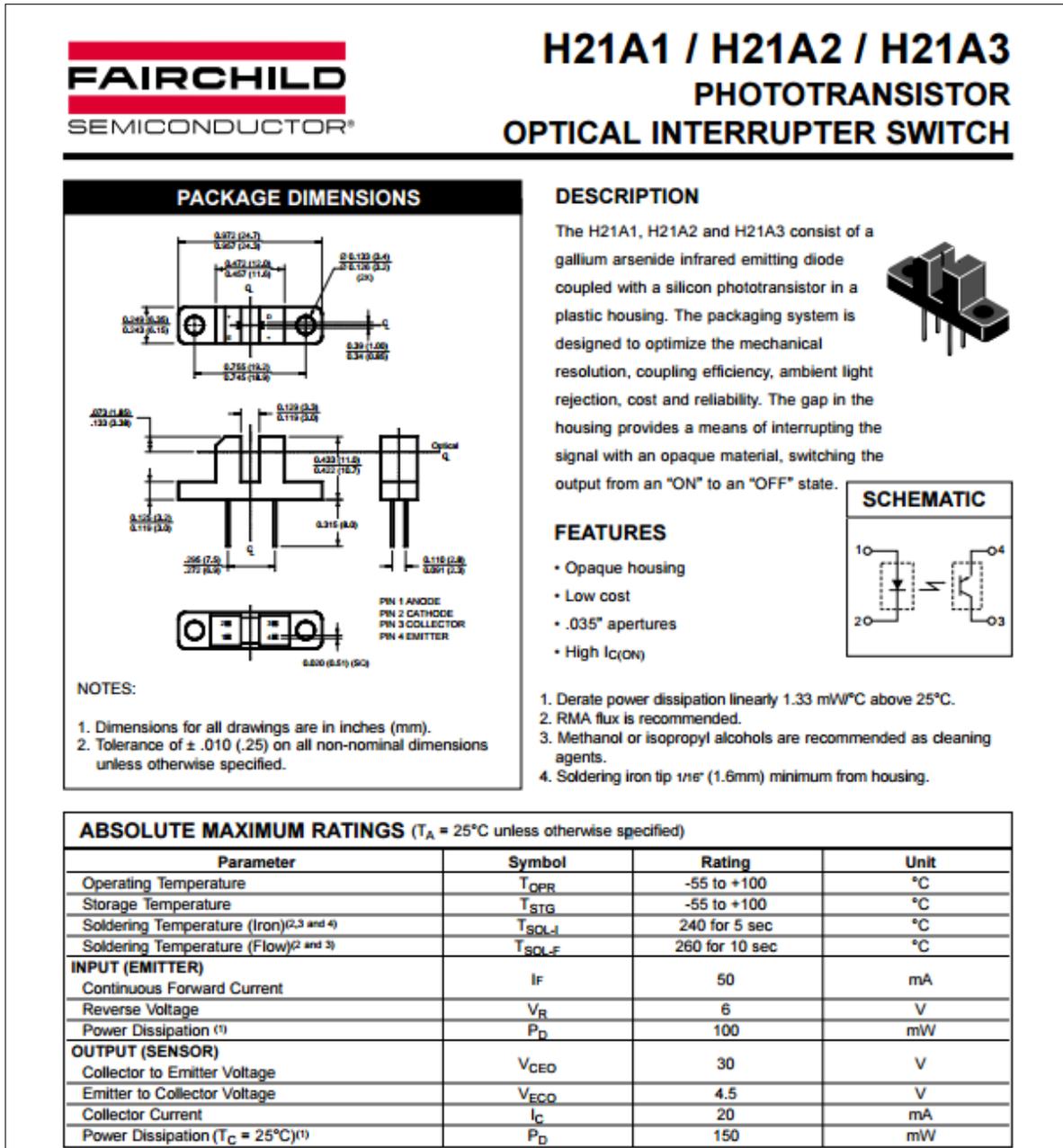


Fig. C.3. Hoja de datos del sensor H21A1.