

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Titulo

Evaluación de sensores en campo en el funcionamiento de un equipo de labranza vibratoria inducida

Por:

CARLOS CANTORIO ANTONIO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA

Evaluación de sensores en campo en el funcionamiento de un equipo de
labranza vibratoria inducida

Por:

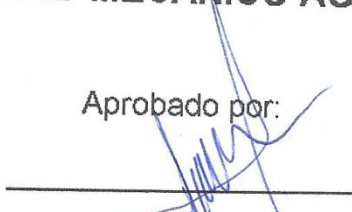
CARLOS CANTORIO ANTONIO

TESIS

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por:



Dr. Santos G. Campos Magaña

Asesor Principal



Ing. Héctor Emilio Ramírez González

Sinodal



M.C Genaro Demuner Molina

Sinodal



Dr. Luis Samaniego Moreno

Coordinador de la División de Ingeniería

Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Mayo, 2016

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA TERRA MATER

Por permitirme formar parte de ella y que a cambio de nada me formo con nuevas ideas, logrando así mi formación profesional y hacer de mí una persona comprometida con mi profesión. Siempre llevare su nombre en alto y que el desempeño profesional siempre lo haré bajo su nombre y con la responsabilidad de hacer lo mejor posible.

Al personal académico gracias porque siempre estuvo dispuesto a guiarme, apoyarme y a estar en los momentos en donde más los necesite. Por su amistad gracias.

Ing. Héctor Uriel Serna Fernández.

Ing. Juan Antonio Guerrero Hernández

Dr. Martín Cadena Zapata

Ing. Héctor Emilio Ramírez González

M.C Genaro Demuner Molina

Mi agradecimiento especial Dr. Santos Gabriel Campos Magaña por haber aceptado asesorarme, brindarme su valioso tiempo, su amistad, su apoyo incondicional para la culminación de este trabajo.

Ing. Diego Cruz Hernández e Ing. Gilbert Fresh López López

Gracias por su apoyo diario, desde el inicio de este proyecto estuvieron acompañándome dándome sugerencias, asesorías, llegando así con éxito a la culminación de esta tesis.

A MI NOVIA

María del Carmen Meza Jiménez, Gracias amor, porque desde que te conocí hasta el día de hoy me has acompañado en todo momento, siempre estas a mi lado, en las buenas y en las malas; por tu comprensión, paciencia y amor, dándome ánimos de fuerza para seguir luchando día a día por mis objetivos personales y profesionales por todo eso y mucho más te amo flaquita.

A MIS AMIGOS

Gracias, a todos mis amigos, sin excluir a ninguno, pero en especial a Damián, Bibiano Antonio, Miguel, Eduardo, y Magdaleno porque siempre estuvimos juntos en el progreso universitario, pero más que nada gracias por su amistad.

DEDICATORIA

A Dios

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado mucha salud para lograr mis objetivos, por guiarme con tu espíritu y no haberme soltado de la mano en el transcurso de este trayecto, gracias Dios por tu infinita bondad y amor.

A mis padres

Gracias porque siempre han sido el pilar de todos mis proyectos, sin duda alguna son las personas que más admiro y amo en esta vida, mis conceptos, mis valores morales y mi superación se las debo a ustedes, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de suyo.

*A mi madre, **Cornelia Antonio López** gracias, por haberme apoyado en todo momento, porque tú eres la persona que siempre me ha motivado para salir adelante. Por tu confianza, paciencia y sabios consejos que me has brindado, pero sobre todo gracias por tu amor. Te amo mamá.*

*A mi padre, **Zenón Cantorio López** Gracias por tu apoyo y orientación que me has dado, por iluminar mi camino y darme la pauta para poder realizarme en mis estudios y en mi vida. Por darme todos los ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ti, hoy puedo ver alcanzada mi meta ya que siempre estuviste impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera y por el orgullo que sientes por mí, fue lo que me hizo llegar hasta el final, pero sobre todo gracias por tu amor. Te amo papá.*

A mis hermanos

Oscar Cantorio Antonio y José Zenón Cantorio Antonio les doy gracias por el gran apoyo incondicional que me han brindado, son parte de mi vida y también de esta meta, los considero excelentes amigos, me siento muy afortunado de tenerlos a mi lado, una vez más por efecto de sus consejos, cariño y paciencia se ha logrado otra meta. Los quiero mucho.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| DEDICATORIA..... | III |
| INDICE | IV |
| INDICE DE FIGURAS | VI |
| INDICE DE CUADROS | VIII |
| RESUMEN | X |
| 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..... | 8 |
| 2.1.4 Labranza vibratoria inducida..... | 9 |
| 2.2 Diseño y evaluación de herramientas de labranza | 12 |
| 2.2.1 Transductores de fuerza..... | 12 |
| 2.2.2 Sensor de anillo extendido | 14 |
| 2.2.3 Galgas extensiométricas | 15 |
| 2.2.4. Longitud de una galga: | 16 |
| 2.2.5 Puente de Wheatstone | 17 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 18 |
| 3.1. Fase I: laboratorio | 18 |
| 3.1.1. Calibración TOE | 18 |
| 3.1.2. Proceso de calibración del transductor octagonal | 19 |
| 3.1.3. Posiciones de calibración | 20 |
| 3.1.4. Acondicionamiento del equipo de adquisición | 20 |
| 3.1.5. Adquisición de datos | 21 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.6. Calibración del torquímetro | 21 |
| 3.1.7. Análisis de datos | 22 |
| 3.1.8 Medidor de velocidad angular..... | 23 |
| 3.2 Fase de campo | 24 |
| IV. RESULTADOS | 25 |
| 4.1 Calibración del octagonal extendido para la fuerza horizontal..... | 25 |
| 4.2 Calibración del octagonal extendido para la fuerza vertical | 27 |
| 4.3 Calibración de torque..... | 29 |
| 4.4 Calibración de la velocidad de oscilación del equipo empleando dos relaciones de transmisión. | 31 |
| 4.5. Resultados de las mediciones de las magnitudes de las fuerzas aplicadas con dos diferentes relaciones de transmisión. | 36 |
| V. CONCLUSIONES | 41 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 42 |
| LITERATURA CITADA..... | 43 |
| ANEXOS | 48 |
| A. Hoja de datos de microcontrolador PIC16F84..... | 48 |
| B. Hoja de datos del sensor H21A1 | 49 |
| C. Análisis 3..... | 50 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Arado con brazos vibratorios..... | 8 |
| Figura 2.2. Transductores tipo anillo: (a) anillo liso extendido; (b) anillo octagonal extendido "EOR", (Chen et al., 2005)..... | 14 |
| Figura 2.3. Galgas extensiométricas para una y múltiples direcciones..... | 15 |
| Figura 2.4. Longitud de un strain gage..... | 16 |
| Figura 2.5. Puente de Wheatstone (Godwin, 1993)..... | 17 |
| | |
| Figura 3.1. Diagrama del proceso de calibración del octagonal extendido..... | 19 |
| Figura 3.2. a) Posición de calibración vertical, b) Posición de calibración horizontal..... | 20 |
| Figura 3.3. Brazo de palanca con dos distancias (0.85 y 0.65m)..... | 21 |
| | |
| Figura 4.1. Grafica escalonada de voltajes (mV) de la fuerza horizontal. | 25 |
| Figura 4.2. Grafica de línea ajustada y ecuación de respuesta..... | 26 |
| Figura 4.3. Grafica escalonada de voltaje (mV) del eje vertical. | 27 |
| Figura 4.4. Grafica de línea ajustada y ecuación de repuesta | 28 |
| Figura 4.5. Grafica escalonada del voltaje (mV) de torque..... | 29 |
| Figura 4.6. Grafica de línea ajustada y ecuación de respuesta..... | 30 |
| Figura 4.7. Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de 19:12. | 31 |
| Figura 4.8. Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de 19:9. | 31 |
| Figura 4.9. Sensor optoelectronico para la determinación de las revoluciones conectada al eje vibratorio. | 32 |
| Figura 4.10. Línea de ajuste entre la velocidad del motor hidráulico y la velocidad del eje de oscilación para una relación de transmisión de 19:12..... | 34 |
| Figura 4.11. Línea de ajuste entre la velocidad del motor hidráulico y la velocidad del eje de oscilación a una relación de transmisión 19:9. | 35 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.12. Grafica fuerza de tiro trabajando a 1.5 km-h^{-1} a una frecuencia de oscilación de 277.2 RPM. | 36 |
| Figura 4.13. Grafica fuerza de tiro trabajando a 1.5 km-h^{-1} a una frecuencia de oscilación de 366.0 RPM. | 37 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 2.1. Comparación entre sistemas de labranza para la medición de diferentes parámetros (Cook y Lewis, 1989)..... | 9 |
| Cuadro 3.1. Magnitudes de pesos para la aplicación de fuerzas | 19 |
| Cuadro 3.2. Valores de voltajes para calibrar el octagonal | 20 |
| Cuadro 3.3. Valores de voltajes para calibrar el torquímetro | 22 |
| Cuadro 3.4. Factores a evaluar con sus variables..... | 24 |
| Cuadro 4. 1. Relación de pesos contra medias de voltajes y sus 5 repeticiones de calibración..... | 25 |
| Cuadro 4.2. Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para la fuera horizontal..... | 26 |
| Cuadro 4.3. Relación de peso contra medias de voltaje con 5 repeticiones | 27 |
| Cuadro 4.4. Ecuación de calibración y datos estadísticos del análisis de regresión lineal para la fuerza vertical..... | 28 |
| Cuadro 4.5. Fuerza (Nm) vs. Voltaje (mV) para el torquímetro | 29 |
| Cuadro 4.6. Datos estadísticos dela análisis de regresión lineal para el torque | 30 |
| Cuadro 4.7. Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de (19:12)..... | 33 |
| Cuadro 4.8. Análisis de varianza de la curva de calibración del sensor de velocidad con una relación de transmisión de 19:12..... | 33 |
| Cuadro 4.9. Contraste de medias y desviación estándar entre velocidades para una relación de transmisión 19:12 | 33 |
| Cuadro 4.10. Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de (19:9) | 34 |
| Cuadro 4.11. Análisis de varianza de la curva de calibración del sensor de velocidad con una relación de transmisión de 19:9..... | 35 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 4.12. Contraste de medias y desviación estándar entre velocidades para una relación de transmisión 19:9 | 35 |
| Cuadro 4.13. Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h ⁻¹ a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM. Relación de engranaje de 19:12. | 37 |
| Cuadro 4.14. Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h ⁻¹ a una frecuencia de impacto de 366.0 RPM. Con una relación de engranaje de 19:9..... | 38 |
| Cuadro 4.15. Fuerza de penetración con el valor medio y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 km-h ⁻¹ a una frecuencia de impacto 277.2 RPM. Con una relación de engranaje de 19:12. | 38 |
| Cuadro 4.16. Fuerza de penetración con el valor medio y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 km-h ⁻¹ a una frecuencia de 366.0 RPM. Con una relación de engranaje de 19:9..... | 39 |
| Cuadro 4.17. Torque considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 km-h ⁻¹ a una frecuencia de 277.2 RPM. Con una relación de engranaje de 19:12..... | 39 |
| Cuadro 4.18. Torque considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 km-h ⁻¹ a una frecuencia de 366.0 RPM. Con una relación de engranaje de 19:19..... | 40 |

RESUMEN

Se evaluó un aparato para la evaluación de la labranza vibratoria. Este aparato está integrado por un mecanismo de biela manivela corredera, un cincel de labranza vertical, un torquímetro, un sensor de velocidad angular y un sensor de fuerzas del tipo octagonal de anillo extendido, montado todo sobre un bastidor con enganche de tres puntos. Los sensores fueron calibrados en el laboratorio con diferentes pesos en el caso del octagonal extendido y del torquímetro y el sensor de velocidad angular empleando una tarjeta con un microcontrolador para determinar las revoluciones de trabajo. Las pruebas en campo se realizaron a una profundidad promedio de 0.36 m, a una velocidad de avance de $1.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con una amplitud de 0.007 m y dos frecuencias de oscilación de 277.2 y 366.0 RPM. Se obtuvieron las constantes de calibración para los sensores de fuerza y torque, obteniendo para la fuerza de tiro una constante de 47.74 mV por N , para la fuerza vertical una constante de 75.00 mV por N y para el torque una constante de 0.1206 mV por Nm con un coeficiente de correlación para los tres sensores mayor al 99.7 %. Se observó una menor fuerza de tiro del orden del 26.61%, y una reducción de la potencia aplicada del orden de 1.0 kW, cuando se incrementó la frecuencia de impacto de 277.2 a 366.0 RPM. La fuerza de penetración se ve reducida en una proporción de 20.29% así mismo se requiere 13.75 % menos torque y 12.23 % más potencia cuando se incrementa la frecuencia de impacto.

Palabras clave: *Frecuencia de impacto, Sensores, Labranza vibratoria, Potencia, Amplitud.*

Correo electrónico; Carlos Cantorio Antonio, charly_cantorio29@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

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

Por otra parte, la labranza es la actividad agrícola que se demanda la mayor cantidad de combustible fósil (IDAE, 2006).

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, 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 (IDEA, 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 sensores que permitan monitorear la fuerza tractiva y la potencia aplicada en un sistema de labranza inducida cuando son modificados los parámetros de amplitud y frecuencia de vibraciones inducidas en laboreo de suelos agrícolas.

1.1. Objetivo general

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

1.2. Objetivos específicos

- Validar la calibración de los sensores de torque, fuerzas y velocidad angular.
- Verificar el funcionamiento de los sensores bajo condiciones de campo a dos diferentes 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

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 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.

Barber *et al.*, (1993) 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 (Ver figura 2.1). En los Estados Unidos durante los años 1950 el arado convencional (vertedera y discos) empezó a ser reemplazado por el arado a cincel, (Phillips y Young, 1973).



Figura 2.1. Arado con brazos vibratorios

2.1.3. Ventajas de la labranza vertical

La FAO en el (2003) menciona una de las grandes ventajas de la labranza vertical que 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. El suelo queda normalmente con una cobertura de rastrojo de más del 30% impidiendo así 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. 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 ($t\text{ha}^{-1}$) |
|-----------------------|-------------|---------------------------|---|
| Labranza cero | 13 | 90 | 7.77 |
| Labranza vertical | 1 | 36 | 5.58 |
| Arado de disco | 9 | 14 | 4.70 |
| Labranza convencional | 6 | 3 | 3.57 |

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 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 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.

Leyva O *et al.*,(1998) con la adopción de algunas técnicas de laboreo mínimo en Cuba el escarificador ha ganado en aplicación ya que, debido a los beneficios que ofrece para el suelo y los cultivos, este pero se incluye en la mayoría de eso tipos de sistema de labranza; además , el escarificador. Por sus características constructivas, resulta sumamente idóneo para tal fin, sobre todo para el laboreo parcial (localizado) de suelo. No obstante en ocasiones, el empleo de este apero se ve limitado por el elevado esfuerzo de tracción que opone a tractor. Lo que agudiza al aumentar el número de órganos de labor para incrementar la productividad del conjunto; en tal caso se requiere el uso de tractores de alta potencia y doble tracción. Como solución a este problema se usan desde hace muchos años en todo el mundo los escarificadores vibratorios.

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

Kheiralla *et al.* (2003) desarrollaron un dinamómetro de tres puntos de enganche automático utilizando un transductor (EOR). Ellos reportaron una sensibilidad primaria horizontal y vertical de 25.19 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 (2.2); 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).

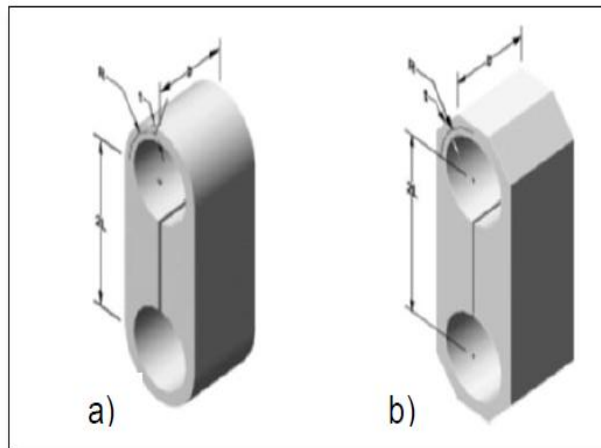


Figura 2.2. Transductores tipo anillo: (a) anillo liso extendido; (b) anillo octagonal extendido "EOR", (Chen et al., 2005)

Campos (1993) uno de los transductores más apropiados para determinar las fuerzas de reacción del suelo en los implementos de labranza es el transductor octagonal extendido, que tienen las ventajas sobre otros comúnmente empleados en la evaluación de equipos de labranza cuando la precisión de la localización de las galgas extensiométricas ha sido realizada.

Un análisis teórico de la aplicación del anillo extendido del transductor Octagonal fue desarrollado por Cook (et. al. 1963) citado por Varela, (2000) está basado en el análisis de la energía elástica de un anillo usado como una celda de carga. Consideraciones adicionales para el diseño del anillo extendido fueron dadas por Hoag (1977) Citado por Campos (1993). Estos tienen el objetivo de mejorar la sensibilidad del anillo por medio de aumentar al máximo la relación $[\epsilon/S \{x,y\}]$. Esta relación representa la cantidad de deformación por unidad de desplazamiento relativo del anillo del fondo medio.

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. 2.3.

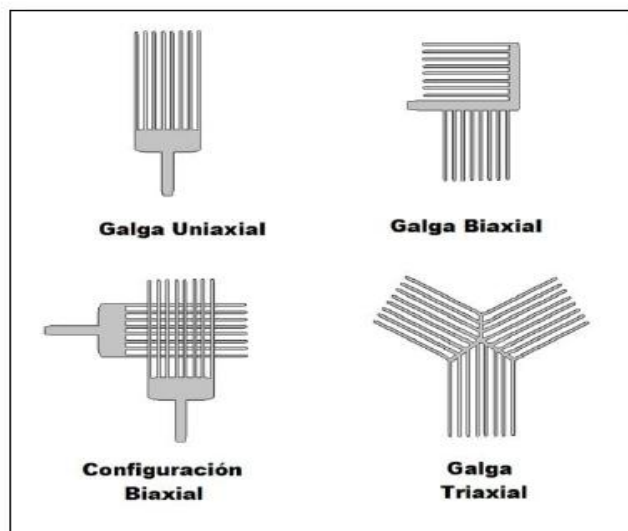


Figura 2.3. Galgas extensiométricas para una y múltiples direcciones

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. Longitud de una galga:

Es la región activa o longitud de la grilla sensible al esfuerzo de una galga. Los codos y almohadillas de soldadura no se consideran sensibles al esfuerzo debido a su gran sección transversal y su baja resistencia eléctrica. Para satisfacer las amplias necesidades de análisis de esfuerzos se ofrecen longitudes de galgas que van de 0.2mm a 100mm.

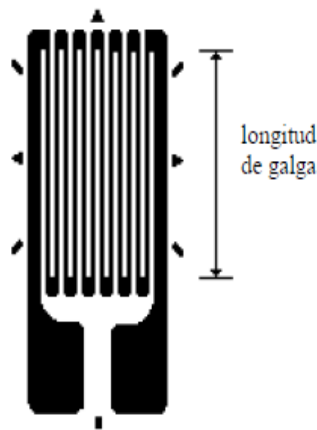


Figura 2.4. Longitud de un strain gage

2.2.5 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 (2.5). El puente de Wheatstone puede determinar lecturas de galgas de tensión dinámicas y estáticas. El voltaje de la excitación puede ser CA o DC. Aquí solo DC es considerada.

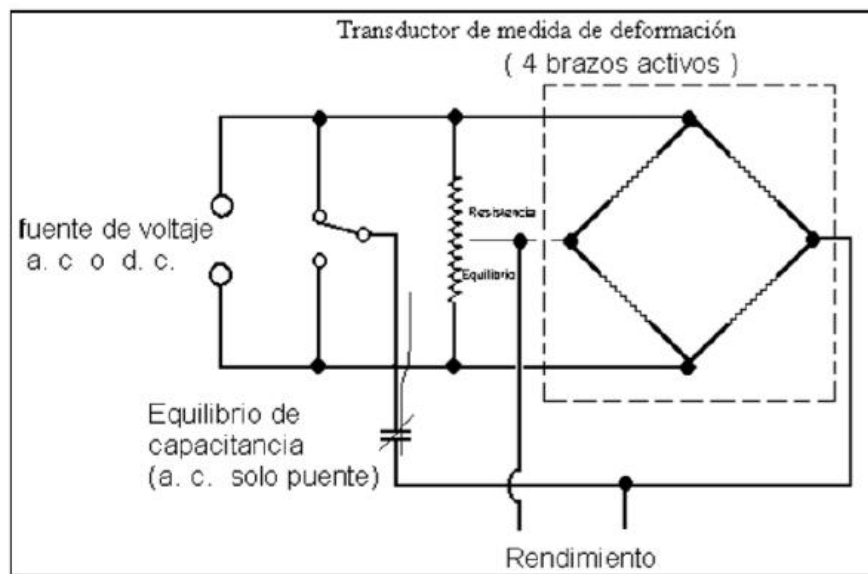


Figura 2.5. Puente de Wheatstone (Godwin, 1993)

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 llevó a cabo en el taller de máquinas y herramientas, ubicado en el departamento de maquinaria agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), los materiales empleados para esta actividad son:

1. Computadora Dell Optiplex GX520, con los softwares *LogView*, *Excel*, *Minitab V17* y *Matlab 2010*.
2. Amplificador - acondicionador de señal DBK43A, con ocho canales de entrada, con ganancia de 100 a 1250x (ϵ), 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 *kN* y 64 *kNm* respectivamente.
5. Ocho pesos de diferentes magnitudes como se muestra en el Cuadro 3.1

| Cantidad de pesos | Peso (N) |
|-------------------|----------|
| 3 | 470.88 |
| 1 | 216.13 |
| 2 | 343.35 |
| 2 | 294.30 |

Cuadro 3.1. Magnitudes de pesos para la aplicación de fuerzas

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.

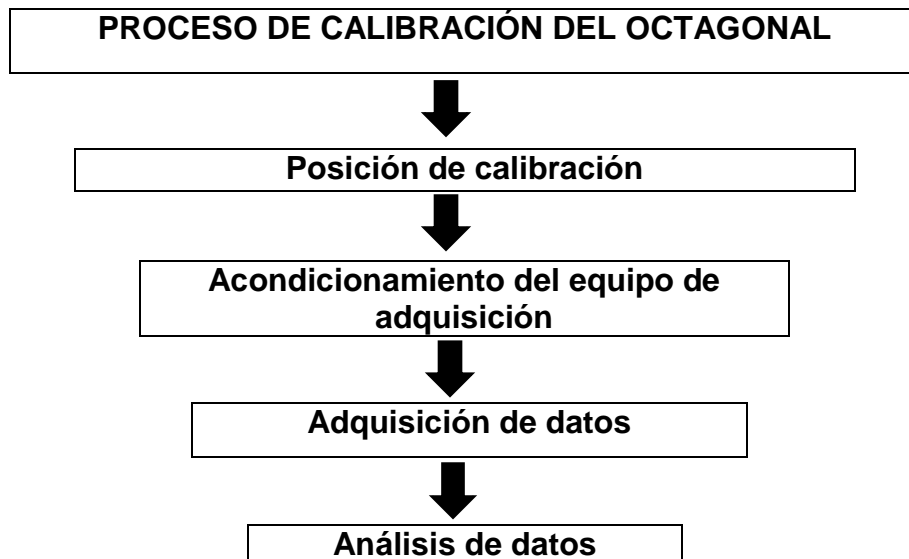


Figura 3.1. Diagrama del proceso de calibración del octagonal extendido

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 (ver Fig. 3.2) donde se pueda simular la aplicación de fuerzas de roturación de suelo en laboratorio.

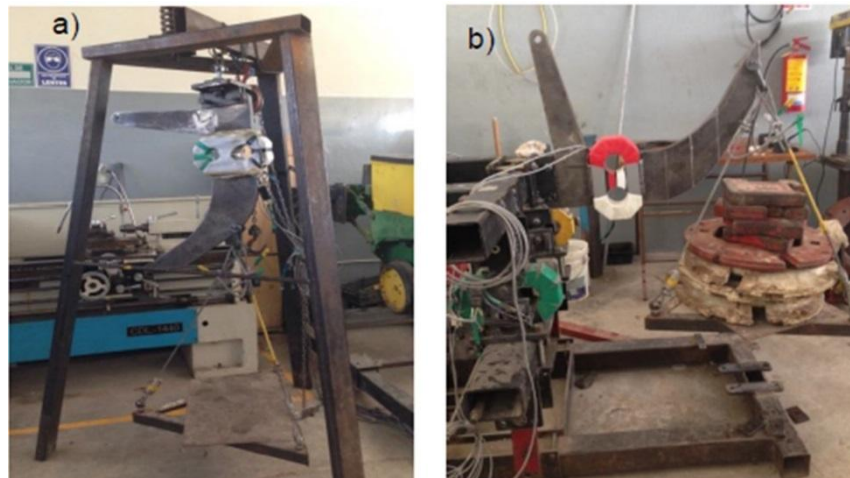


Figura 3.2. a) Posición de calibración vertical, b) Posición de calibración horizontal

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) |
|-----------|-------------|-------|-----------------------|----------|-------------|
| 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 (scailing) 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 réplicas por cada posición para obtener un resultado confiable.

Para el ascenso y descenso de los pesos se realizarán en intervalos de 400 datos, al iniciar y finalizar se dejarán 400 datos como referencia del peso cero. Y con ello obtener gráficas 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).



Figura 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

| SENSOR | CABLE | CANAL | VOLTAJE DE EXCITACIÓN | GAIN (V) | SCAILING (V) |
|-------------|-----------------|-------|-----------------------|----------|--------------|
| Torquímetro | Blanco-Amarillo | CH7 | 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 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 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 el cuadro *N* vs. *mV* se analiza con el software *Minitab V17* para obtener la ecuación de calibración y la correlación existente.

En caso del torquímetro los datos se ordenaron de forma decreciente en kN-m para posteriormente realizar el análisis de regresión de línea ajustada empleando *Minitab V17*.

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 A) en los cuales se cargaron programas llamados *rebote cero* y *frecuencia* respectivamente. El programa de frecuencia se modificó en el apartado de retardo pasando de 10 a 5 segundos de retardo para la detección de datos, la razón por la que se modificó fue porque se manejó el incremento de las revoluciones.

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, 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 repeticiones más 2 pruebas testigos sin vibración a la profundidad de 0.36 *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 km*h ⁻¹ |
| Amplitud | 70 mm |
| Profundidad | 0.36 m |

IV. RESULTADOS

4.1 Calibración del octogonal extendido para la fuerza horizontal

En la Fig. 4.1 se muestra la gráfica escalonada de voltajes generada al subir y bajar cada uno de los ocho pesos empleados para la calibración.

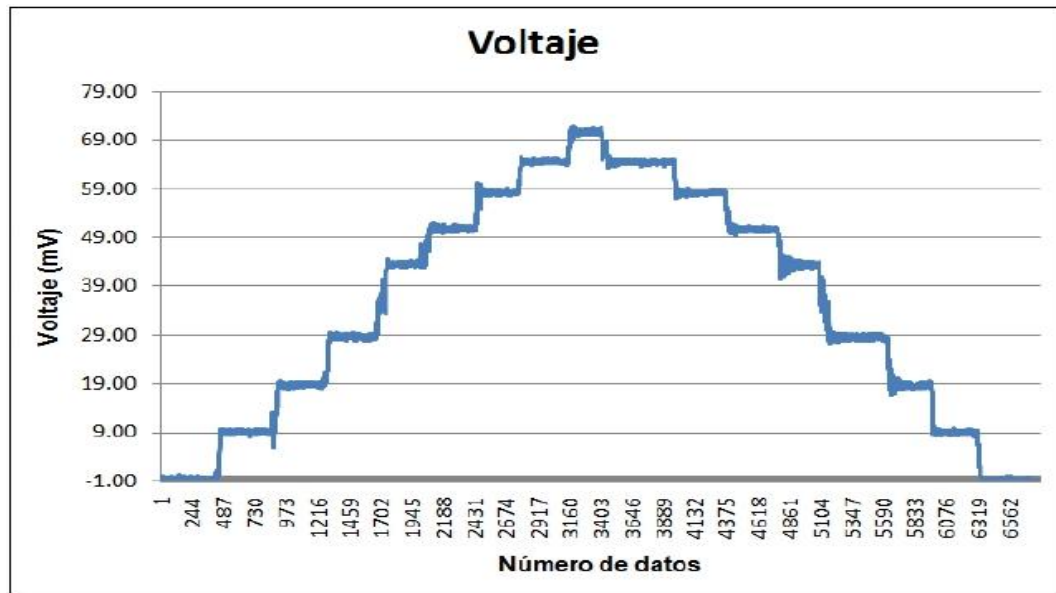


Figura 4.1. Gráfica escalonada de voltajes (mV) de la fuerza horizontal.

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

Cuadro 4. 1. Relación de pesos contra medias de voltajes y sus 5 repeticiones de calibración.

| Peso (N) | R1 (mV) | R2 (mV) | R3 (mV) | R4 (mV) | R5 (mV) |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 470.88 | 8.8 | 9.3 | 9.4 | 10.4 | 10 |
| 941.76 | 17.7 | 17.5 | 17.4 | 20.1 | 17.7 |
| 1412.64 | 28.8 | 26.4 | 28.6 | 30 | 29.9 |
| 2128.77 | 41.4 | 41.2 | 45 | 42.9 | 42.4 |
| 2472.12 | 52.5 | 50.2 | 51.7 | 52 | 49.6 |
| 2815.47 | 58.1 | 56.6 | 56.6 | 58 | 57 |
| 3109.77 | 62.6 | 62.8 | 63 | 67 | 63.8 |
| 3404.07 | 71.7 | 69.1 | 71.8 | 70 | 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 | 44.1 | 45.3 | 45.1 | 45 |
| 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 | 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 para 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 la 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. 4.2 se muestra la ecuación de regresión con la constante de calibración de 47.74 *mV* por *N*.

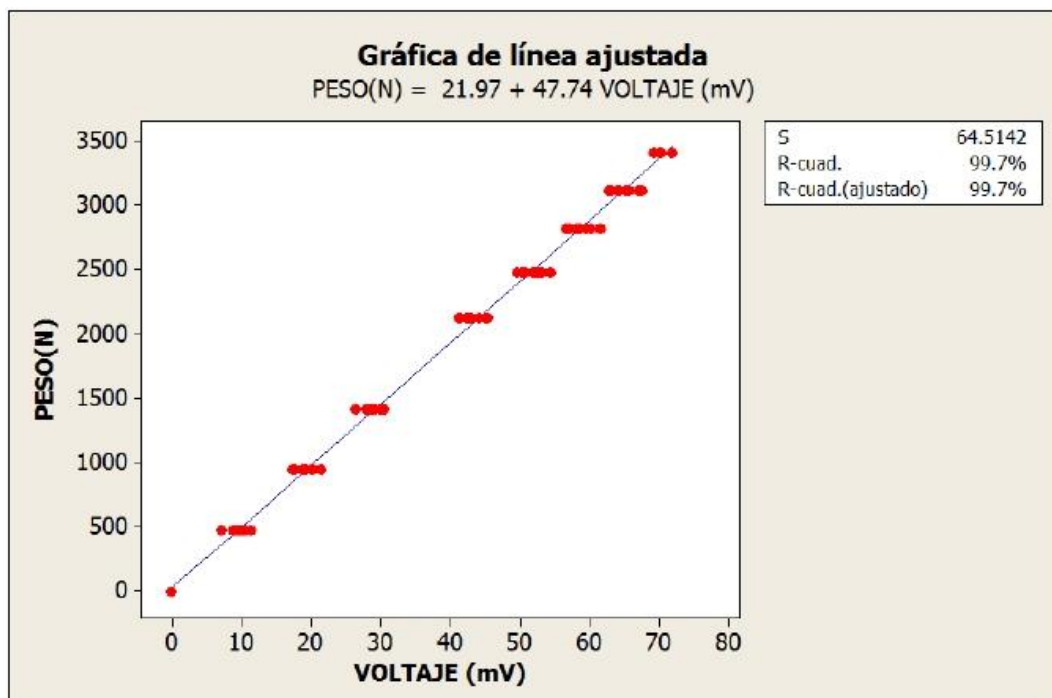


Figura 4.2. Gráfica de línea ajustada y ecuación de respuesta

4.2 Calibración del octagonal extendido para la fuerza vertical

La Fig. 4.3 muestra la gráfica escalonada de voltajes generada al subir y bajar cada uno de los ocho pesos empleados para la calibración en la fuerza vertical.

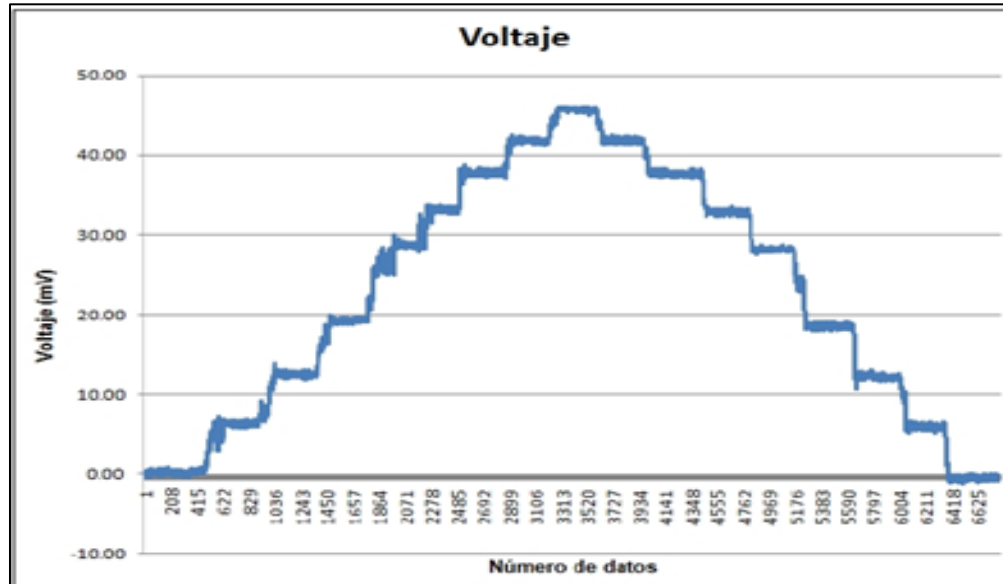


Figura 4.3. Gráfica escalonada de voltaje (mV) del eje vertical.

En el (Cuadro 4.3) se muestran las medias de los valores en *mV* de cada escalón generados por cada carga para determinar la ecuación de 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 | 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 | 17.5 |
| 2128.77 | 28.7 | 27.3 | 27.6 | 28.7 | 28.9 |
| 2472.12 | 33.3 | 33 | 32 | 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 | 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 |
| 2472.12 | 33.1 | 31.9 | 33 | 33.3 | 32.5 |
| 2128.77 | 27.3 | 29 | 29.3 | 29.2 | 28.2 |
| 1412.64 | 19.1 | 19.2 | 18.6 | 19.9 | 19 |
| 941.76 | 11.5 | 12.8 | 12.7 | 12.7 | 12.2 |
| 470.88 | 6.6 | 6 | 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 la fuerza vertical.

| Ecuación de regresión | | | | | |
|---|----|-----------|-----------|----------|-------|
| PESO(<i>N</i>) = 8.073 + 75.00 VOLTAJE(<i>mV</i>) | | | | | |
| 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. 4.4 se muestra la ecuación de regresión con la constante de calibración de 75.00 *mV* por *N*.

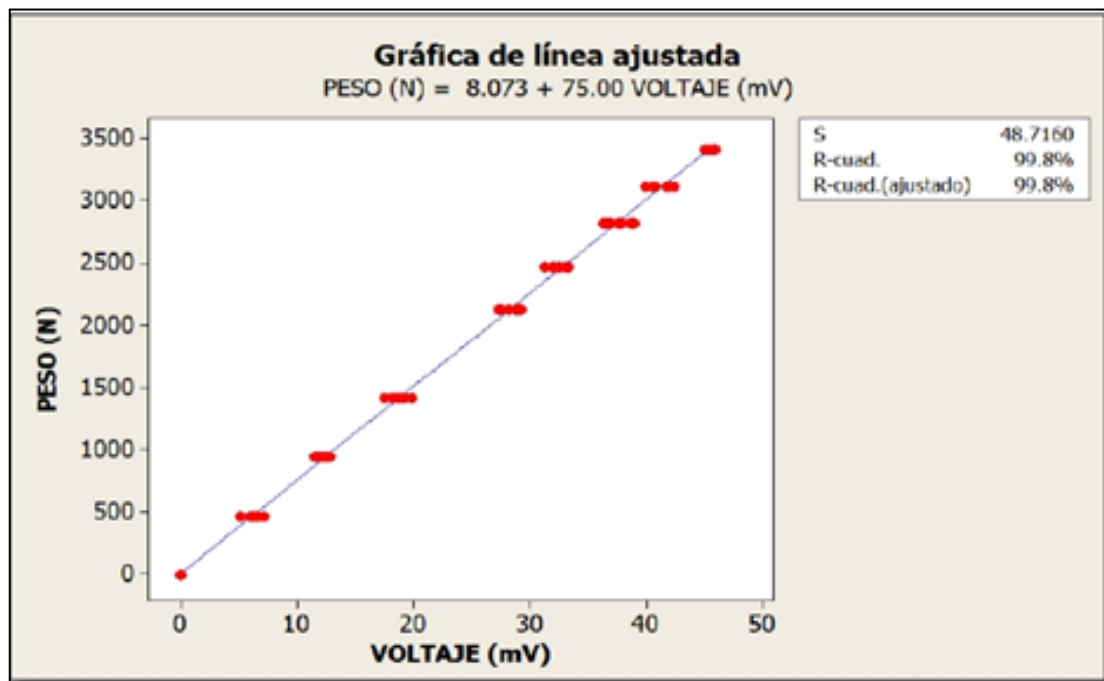


Figura 4.4. Gráfica de línea ajustada y ecuación de repuesta

4.3 Calibración de torque

En la Fig. 4.5 se puede observar la deformación en (mV) generada a partir del ascenso y descenso de cuatro pesos con un brazo de palanca de $0.85\ m$.

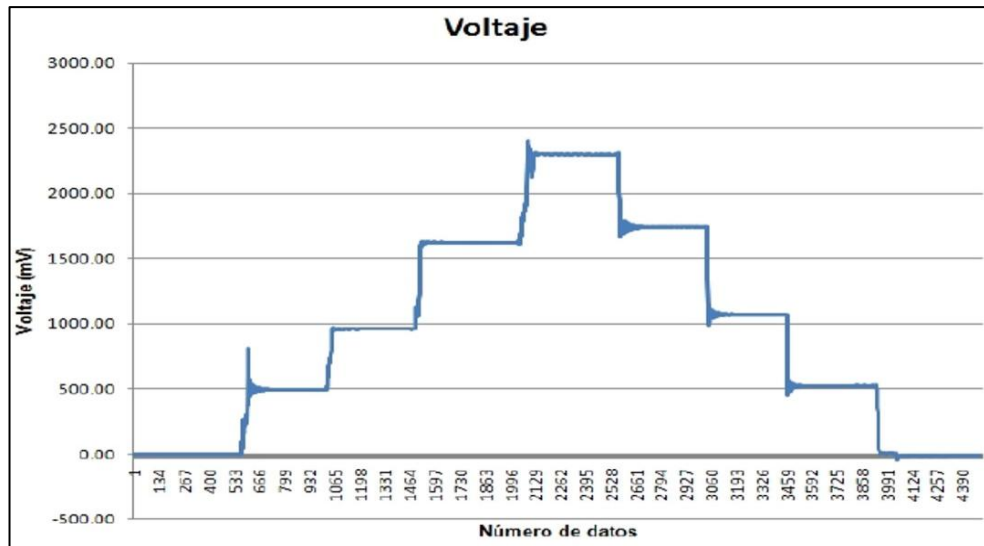


Figura 4.5. Grafica escalonada de voltaje (mV) de torque.

El (Cuadro 4.5) se muestra la magnitud de la fuerza (Nm), que generó 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 | 1469.46 | 1324.3 | 1588.4 | 1073.12 | 1518.48 |
| 250.2 | 2068.72 | 1847.94 | 2163.34 | 1892.02 | 1985.5 |
| 382.6 | 3052.16 | 2693.44 | 3143.36 | 2661.9 | 2967.04 |
| 500.3 | 4062.2 | 3775.3 | 4134.78 | 3655.22 | 4077.4 |
| 605.8 | 4945.32 | 4596.86 | 5132.28 | 4596.48 | 5065.02 |
| 792.2 | 6758.3 | 6409.46 | 6816.44 | 6148.02 | 6620.74 |
| 828.9 | 6786.42 | 6471.78 | 6418.2 | 6526.5 | 6478.24 |
| 1084 | 8459.94 | 8816.38 | 8834.24 | 8680.72 | 8717.96 |
| 792.2 | 6100.52 | 6586.92 | 6310.28 | 6602.12 | 6417.82 |
| 605.8 | 4852.6 | 5505.44 | 4575.58 | 4998.9 | 4631.06 |
| 500.3 | 3570.1 | 3951.24 | 3914.38 | 4018.88 | 3726.28 |
| 382.6 | 2960.2 | 3537.04 | 2686.98 | 3025.18 | 2660.38 |
| 250.2 | 1511.64 | 1893.92 | 1686.06 | 1902.66 | 1733.18 |
| 191.3 | 1697.84 | 1900.76 | 1054.88 | 1383.96 | 1019.54 |

En el (Cuadro 4.6) se muestra el análisis estadístico de regresión y la ecuación de calibración para el torque. El valor de la constante de calibración fue de 0.1206 mV por Nm con un coeficiente de correlación de 99.8 %.

Cuadro 4.6. Datos estadísticos de la análisis de regresión lineal para el torque

| Ecuación de regresión | | | | | |
|--|----|--------|--------|---------|-------|
| FUERZA (N*m) = 24.31 + 0.1206 VOLTAJE (mV) | | | | | |
| S = 11.9971 R-cuad= 99.8% R-cuad(ajustada) = 99.8% | | | | | |
| Análisis de varianza | | | | | |
| Fuente | GL | SC | MC | F | P |
| Regresión | 1 | 974471 | 974471 | 6770.43 | 0.000 |
| Error | 12 | 1727 | 144 | | |
| Total | 13 | 976198 | | | |

En la Fig. 4.6 se muestra la ecuación de regresión con la constante de calibración de 0.1206 mV por Nm.

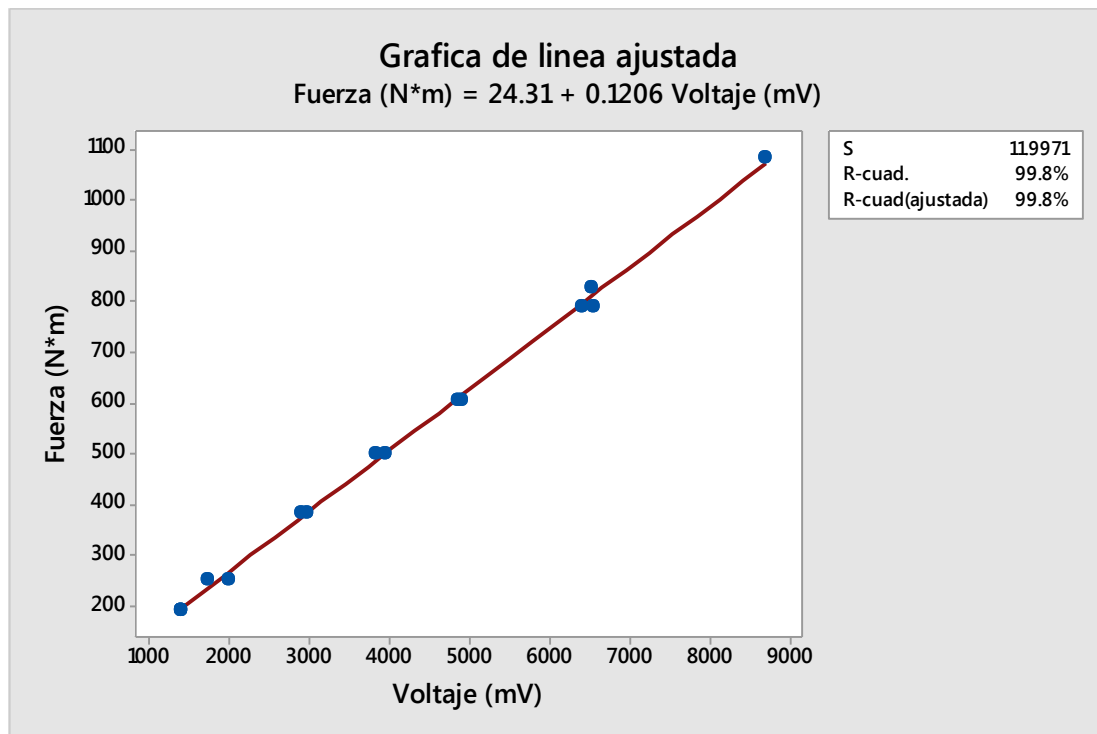


Figura 4.6. Gráfica de línea ajustada y ecuación de respuesta

4.4 Calibración de la velocidad de oscilación del equipo empleando dos relaciones de transmisión.

En la Figura 4.7 y 4.8 se muestran las dos relaciones de transmisión empleadas en el proceso de evaluación del aparato de labranza vibratorio inducido. La Figura 4.7 muestra la relación de transmisión 19:12 y la Figura 4.8 la relación de transmisión empleada fue de 12:9. Estas relaciones permitieron el incremento en la misma proporción de 1.583 y de 2.11 respectivamente en relación a la transmisión directa de 1:1.

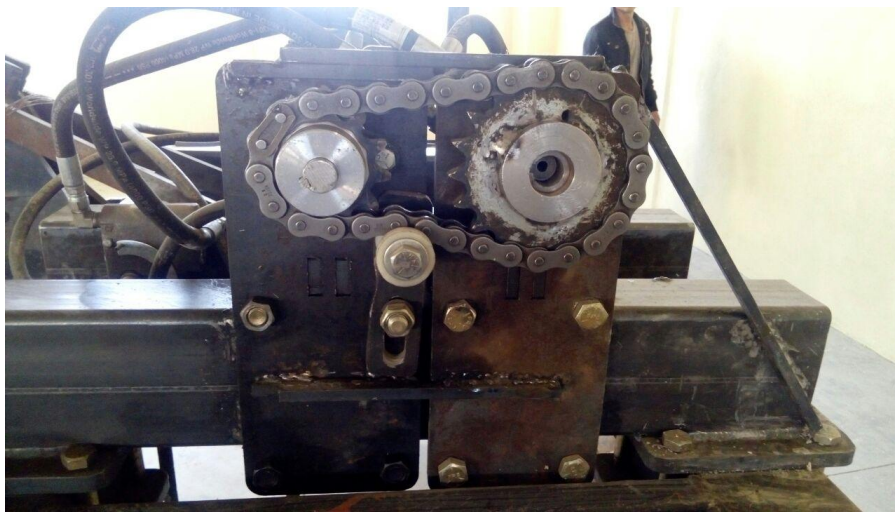


Figura 4.7. Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de 19:12



Figura 4.8. Relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de 19:9

En la Fig. 4.9 se muestra el sistema empleado para la determinación de las revoluciones conectada al eje vibratorio como se describe en el capítulo de metodología.

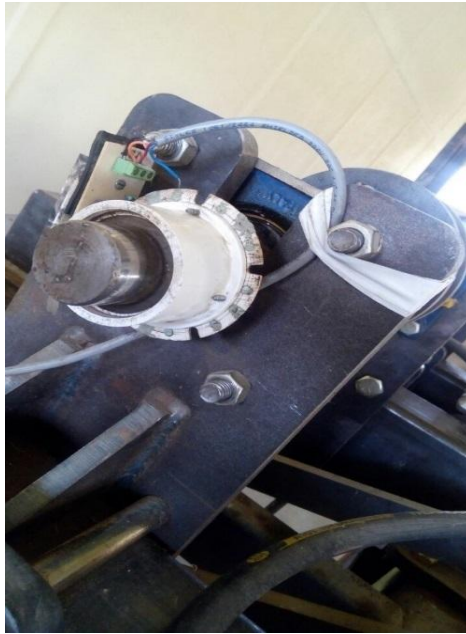


Figura 4.9. Sensor optoelectrónico para la determinación de las revoluciones conectada al eje vibratorio.

En el (Cuadro 4.7) 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. El Cuadro muestra que existe una diferencia significativa entre las revoluciones aplicadas al eje vibratorio en comparación con las revoluciones del motor.

Cuadro 4.7. 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 |
| Número de pulsos del sensor por minuto | | | RPM de la flecha del eje oscilatorio | | |
| 94 | 107 | 116 | 225.6 | 256.8 | 278.4 |
| 94 | 106 | 115 | 225.6 | 254.4 | 276.0 |
| 93 | 105 | 115 | 223.2 | 252.0 | 276.0 |
| 94 | 105 | 115 | 225.6 | 252.0 | 276.0 |
| 93 | 104 | 116 | 223.2 | 249.6 | 278.4 |
| 93 | 104 | 116 | 223.2 | 249.6 | 278.4 |
| 93.50 | 105.16 | 115.50 | 224.40 | 252.40 | 277.20 |

Cuadro 4.8. Análisis de varianza de la curva de calibración del sensor de velocidad con una relación de transmisión de 19:12

| Fuente | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|--------|----|---------|---------|---------|---------|
| RPMM | 12 | 8373.76 | 4186.88 | 1108.81 | 0.000 |
| Error | 15 | 56.64 | 3.78 | | |
| Tota | 17 | 8430.40 | | | |

R-cuad(ajustada) 99.33%

Cuadro 4.9. Contraste de medias y desviación estándar entre velocidades para una relación de transmisión 19:12

| RPMM | N | Media | StDev | Agrupamiento |
|------|---|--------|-------|--------------|
| 2000 | 6 | 277.20 | 1.315 | A |
| 1700 | 6 | 252.40 | 2.810 | B |
| 1500 | 6 | 224.40 | 1.315 | C |

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

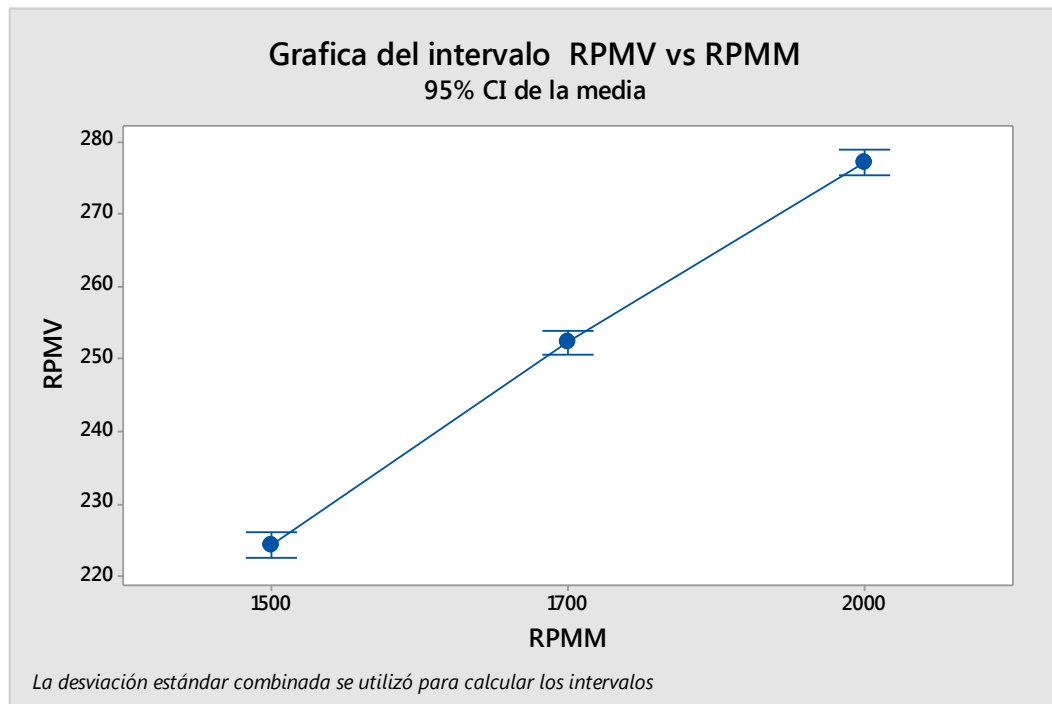


Figura 4.10. Línea de ajuste entre la velocidad del motor hidráulico y la velocidad del eje de oscilación para una relación de transmisión de 19:12

En el (Cuadro 4.10) se muestra la relación de transmisión del motor hidráulico al eje del sistema vibratorio en una proporción de 19:9, existe una diferencia significativa entre las revoluciones aplicadas al eje vibratorio en comparación con las revoluciones del motor.

Cuadro 4.10. 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 |
| Número de pulsos del sensor por minuto | | | RPM de la flecha del eje oscilatorio | | |
| 111 | 140 | 153 | 266.4 | 336.0 | 367.2 |
| 120 | 140 | 153 | 288.0 | 336.0 | 367.2 |
| 124 | 139 | 153 | 297.6 | 333.6 | 367.2 |
| 124 | 138 | 152 | 297.6 | 331.2 | 364.8 |
| 124 | 137 | 152 | 297.6 | 328.8 | 364.8 |
| 123 | 136 | 152 | 295.2 | 326.4 | 364.8 |
| 121.0 | 138.3 | 152.5 | 290.4 | 332.0 | 366.0 |

Cuadro 4.11. Análisis de varianza de la curva de calibración del sensor de velocidad con una relación de transmisión de 19:9

| Fuente | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|--------|----|----------|---------|---------|---------|
| RPMM | 2 | 17203.80 | 8601.92 | 152.56 | 0.00 |
| Error | 15 | 845.80 | 56.38 | | |
| Total | 17 | 18049.60 | | | |

R-cuad(ajustada) = 95.31%

Cuadro 4.12. Contraste de medias y desviación estándar entre velocidades para una relación de transmisión 19:9

| RPMM | N | Media | StDev | Agrupamiento |
|------|---|--------|--------|--------------|
| 2000 | 6 | 277.20 | 1.315 | A |
| 1700 | 6 | 252.40 | 3.920 | B |
| 1500 | 6 | 224.40 | 12.330 | C |

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

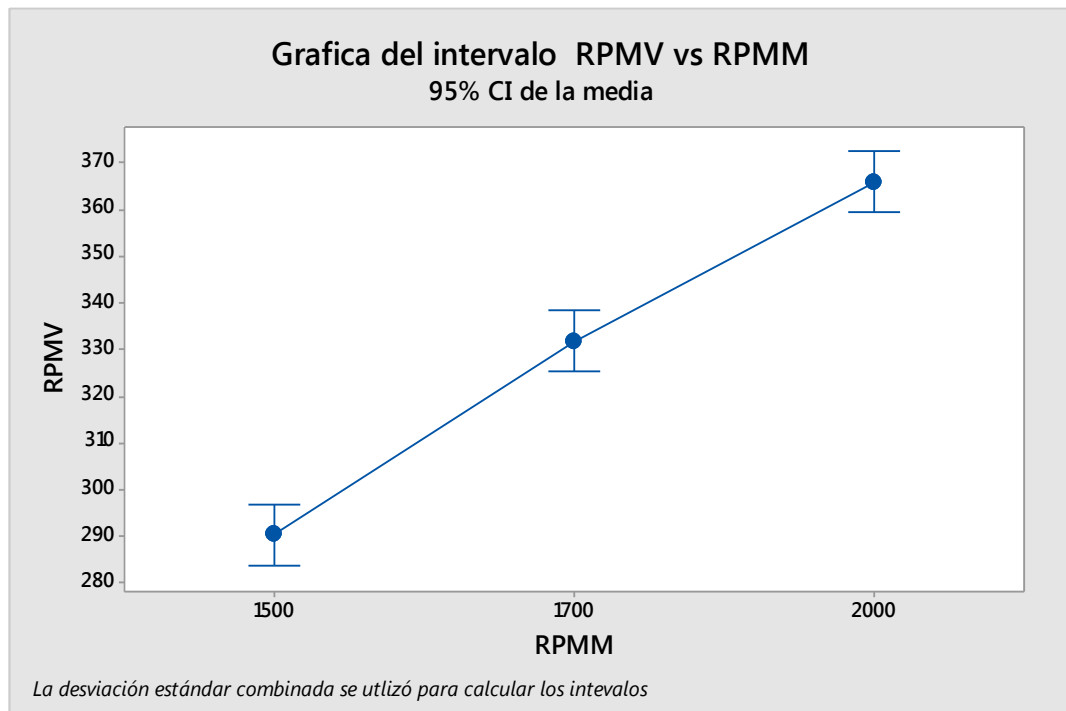


Figura 4.11. Línea de ajuste entre la velocidad del motor hidráulico y la velocidad del eje de oscilación a una relación de transmisión 19:9.

4.5. Resultados de las mediciones de las magnitudes de las fuerzas aplicadas con dos diferentes relaciones de transmisión.

En la Fig. 4.12 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de tiro trabajando a 1.5 km-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 (ver anexo C) *Matlab 2010a*, considerando toda la magnitud del spectrum de las mediciones, es decir, tomando en cuenta tanto los valores por arriba de cero y por debajo de cero.

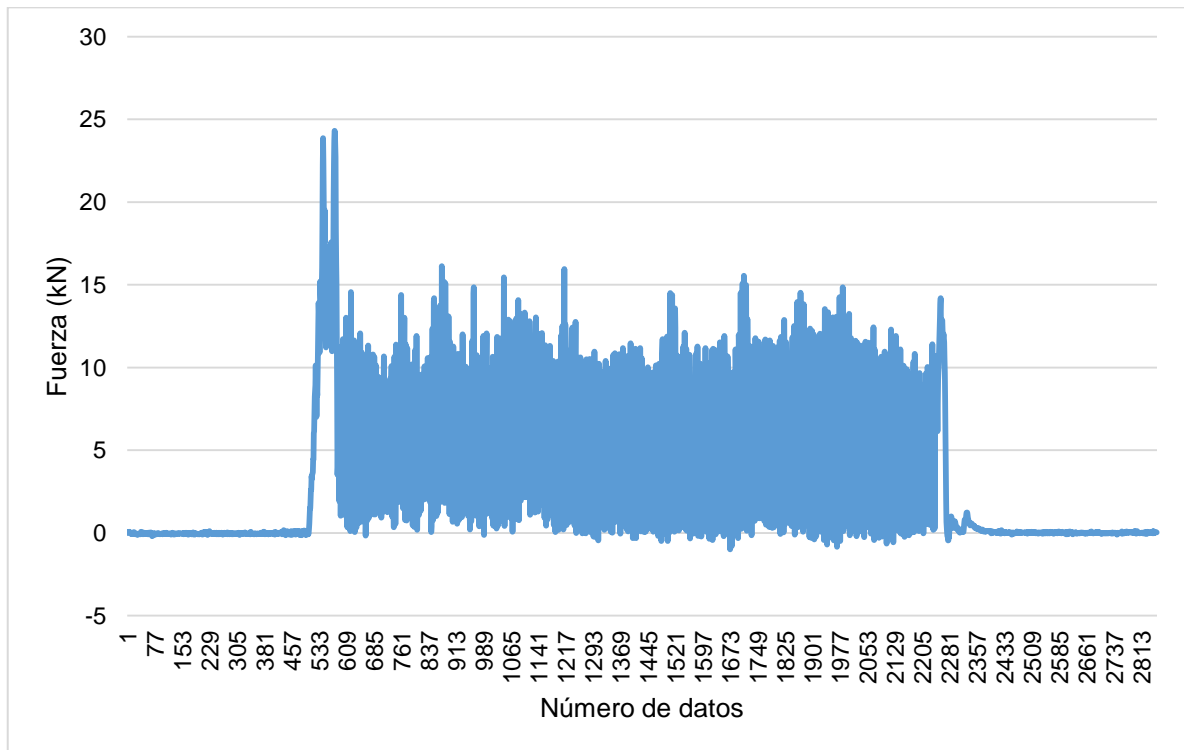


Figura 4.12. Gráfica fuerza de tiro trabajando a 1.5 km-h^{-1} a una frecuencia de oscilación de 277.2 RPM.

En la Fig. 4.13 Se muestra un ejemplo de las magnitudes de las fuerzas de tiro trabajando a 1.5 km-h^{-1} con una velocidad media de oscilación de 366.0 RPM para esto se llevó a cabo un análisis espectral empleando *Matlab 2010a*, considerando toda la magnitud del spectrum de las mediciones, es decir, tomando en cuenta tanto los valores por arriba de cero y debajo de cero.

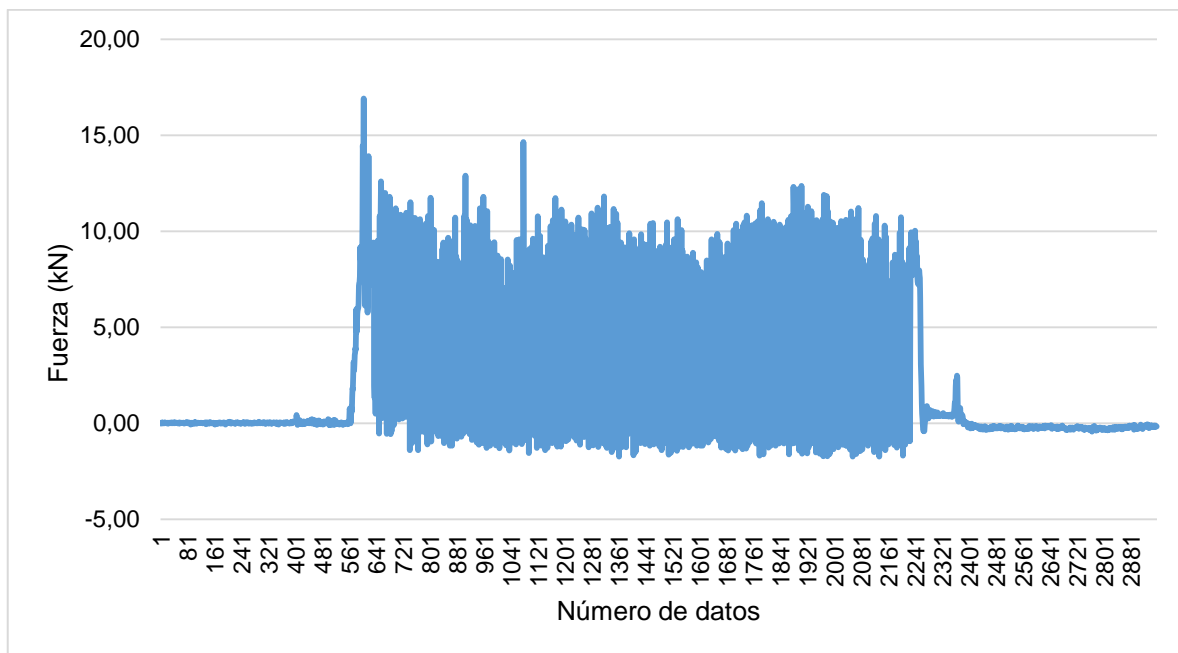


Figura 4.13. Gráfica fuerza de tiro trabajando a 1.5 km-h^{-1} a una frecuencia de oscilación de 366.0 RPM.

En el (Cuadro 4.13) se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de tiro, con sus respectivas réplicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. Con una frecuencia de impacto para esta evaluación de 277.2 RPM. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue 9.2973 kN.

Cuadro 4.13. Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h^{-1} a una frecuencia de impacto de 277.2 RPM. Relación de engranaje de 19:12.

| Replicas | Media (kN) | Espectral (kN) | M+E (kN) |
|--------------|---------------|----------------|---------------|
| R1 | 5.7979 | 3.7153 | 9.5132 |
| R2 | 5.2330 | 3.8174 | 9.0504 |
| R3 | 5.1620 | 4.2660 | 9.4280 |
| R4 | 5.5781 | 3.6197 | 9.1978 |
| Media | 5.4427 | 3.8546 | 9.2973 |

En el (Cuadro 4.14) se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de tiro, con sus respectivas réplicas, considerando la media de los valores y el espectro de los mismos. Con frecuencia de impacto para esta evaluación de 366.0 RPM. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 6.8225 kN.

Cuadro 4.14. Media de la fuerza de tiro y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 Km-h⁻¹ a una frecuencia de impacto de 366.0 RPM. Con una relación de engranaje de 19:9.

| Replicas | Media(kN) | Espectral (kN) | M+E (kN) |
|--------------|---------------|----------------|---------------|
| R1 | 3.9003 | 2.4833 | 6.3836 |
| R2 | 3.3975 | 3.1183 | 6.5158 |
| R3 | 3.5093 | 2.3250 | 5.8343 |
| R4 | 4.7704 | 3.7862 | 8.5566 |
| Media | 3.8943 | 2.9282 | 6.8225 |

Del (Cuadro 4.13 y 4.14) podemos observar que se requiere una menor fuerza de tiro cuando se incrementa la frecuencia de impacto. Esta se ve reducida en una proporción del 26.61% y con una potencia aplicada para cada caso de 3.875 kW para la frecuencia de impacto de 277.2 RPM y de 2.83 kW para una frecuencia de impacto de 366.0 RPM.

En el (Cuadro 4.15) se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas réplicas, considerando la media de los valores y el espectro de los mismos. Con frecuencia de impacto para esta velocidad de 277.2 RPM. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 12.3466 kN.

Cuadro 4.15. Fuerza de penetración con el valor medio y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 km-h⁻¹ a una frecuencia de impacto 277.2 RPM. Con una relación de engranaje de 19:12.

| Replicas | Media (kN) | Espectral (kN) | M+E (kN) |
|--------------|---------------|----------------|----------------|
| R1 | 3.4898 | 8.4463 | 11.9361 |
| R2 | 1.9422 | 10.7503 | 12.6925 |
| R3 | 2.8845 | 9.7463 | 12.6308 |
| R4 | 2.8333 | 9.2942 | 12.1275 |
| Media | 2.7874 | 9.5592 | 12.3466 |

En el (Cuadro 4.16) se muestran los resultados del análisis espectral de la fuerza de penetración, con sus respectivas réplicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. La frecuencia de impacto para esta velocidad fue de 366.0 RPM. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue 9.8403 kN.

Cuadro 4.16. Fuerza de penetración con el valor medio y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 km-h⁻¹ a una frecuencia de 366.0 RPM. Con una relación de engranaje de 19:9.

| Replicas | Media (kN) | Espectral (kN) | M+E (kN) |
|--------------|---------------|----------------|---------------|
| R1 | 3.1338 | 5.6579 | 8.7917 |
| R2 | 1.7255 | 7.6720 | 9.3975 |
| R3 | 2.5107 | 5.8447 | 8.3554 |
| R4 | 4.5009 | 8.3160 | 12.8169 |
| Media | 2.9677 | 6.8726 | 9.8403 |

Del Cuadro 4.15 y 4.16 podemos observar que se aplica menor fuerza de penetración cuando se incrementa la frecuencia de impacto. Esta se ve reducida a una proporción de 20.29%.

En el (Cuadro 4.17) se muestran los resultados del análisis espectral de torque, con sus respectivas replicas, considerando la media de los valores y el spectrum de los mismos. La frecuencia de impacto para esta velocidad fue de 277.2 RPM. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 9.291 kW.

Cuadro 4.17. Torque considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 km-h⁻¹ a una frecuencia de 277.2 RPM. Con una relación de engranaje de 19:12.

| Replicas | Media | | Espectral | | M+E | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | kN-m | kW | kN-m | kW | kN-m | kW |
| R1 | 0.176 | 5.118 | 0.150 | 4.371 | 0.326 | 9.490 |
| R2 | 0.173 | 5.041 | 0.146 | 4.238 | 0.319 | 9.280 |
| R3 | 0.155 | 4.517 | 0.174 | 5.061 | 0.330 | 9.579 |
| R4 | 0.155 | 4.517 | 0.148 | 4.298 | 0.303 | 8.816 |
| Media | 0.165 | 4.799 | 0.154 | 4.492 | 0.320 | 9.291 |

En el (Cuadro 4.18) se muestran los resultados del análisis espectral de torque, con sus respectivas réplicas, considerando la media de los valores y el espectrum de los mismos. La frecuencia de impacto para esta velocidad fue de 366.0 RPM. El valor de la media más el espectral para esta velocidad fue de 10.586 kW.

Cuadro 4.18. Torque considerando el valor medio y la magnitud espectral para cada repetición a una velocidad de 1.5 km-h⁻¹ a una frecuencia de 366.0 RPM. Con una relación de engranaje de 19:9.

| Replicas | Media | | Espectral | | M+E | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | kN-m | kW | kN-m | kW | kN-m | kW |
| R1 | 0.173 | 6.653 | 0.102 | 3.923 | 0.275 | 10.577 |
| R2 | 0.139 | 5.360 | 0.121 | 4.652 | 0.261 | 10.013 |
| R3 | 0.147 | 5.655 | 0.088 | 3.382 | 0.235 | 9.038 |
| R4 | 0.179 | 6.893 | 0.151 | 5.821 | 0.331 | 12.715 |
| Media | 0.160 | 6.140 | 0.115 | 4.445 | 0.276 | 10.586 |

Del (Cuadro 4.17 y 4.18) podemos observar que se requiere 13.75 % menos torque y 12.23 % más potencia cuando se incrementa la frecuencia de impacto.

V. CONCLUSIONES

Se obtuvieron las constantes de calibración para los sensores de fuerza y torque, obteniendo para la fuerza de tiro una constante de $47.74 \text{ mV por } N$, para la fuerza vertical una constante de $75.00 \text{ mV por } N$ y para el torque una constante de $0.1206 \text{ mV por } Nm$ con un coeficiente de correlación para los tres sensores mayor al 99.7% .

De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que se requiere una menor fuerza de tiro del orden del 26.61% , así mismo la potencia aplicada se ve reducida de 3.875 kW a 2.83 kW , cuando se incrementa la frecuencia de impacto de 277.2 a 366.0 RPM .

Así mismo se encontró que por efecto del incremento de la frecuencia de impacto, de 277.2 a 366.0 RPM , la fuerza de penetración se ve reducida en una proporción de 20.29% .

Se requiere 13.75% menos torque y 12.23% más potencia cuando se incrementa la frecuencia de impacto de 277.2 a 366.0 RPM .

VI. RECOMENDACIONES

- Incorporar un motor hidráulico con capacidad de 0-1000 RPM y obtener una transmisión directa.
- Diseñar un mecanismo para regular la amplitud de impacto de 2 hasta 7 cm.
- Verificar la calibración del torquímetro empleando un voltaje de excitación de 1.5, 2.5 y 3.5 volts.

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.
- 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.
- Campos Magaña S. G.** 1993 Devolpmntm ofminimum mize piante for Mexican agricultura unpublished php thesis, Newcastle University England 167 p

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.,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.
- Kushwaha, R., y Zhang X.** 1998. "Evaluation of Factors and Current Approaches Related to Computerized Design of Tillage Tools: a Review". Journal of Terramechanics. 35: 69-86pp.
- 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.
- 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., y M. C. Shaw.** 1951. "Electric Strain Gauge Tool Dynamometers". Proc. Soc. Exp. Stress Analysis. 8(2): 1-16pp.
- Martínez, R. A.** 2008. "Sistema de Medición". Aplicación Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Mecanización. 52p. La Habana, (reseña).
- 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.
- 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.
- 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.

Sosa J. (S/A) Galgas Extensiométricas Strain gages

www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/Strain_Gage.pdf

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.

Shahgoli, G., J. Fielke.,J. Desbiolles., y C. Saunders. 2010. "Optimising Oscillation Frequency in Oscillatory Tillage ", Soil & Tillage Research, 106.202-210pp.

VaughanJ. 1975. Application of B & K Equipment to Strain Measurements

Vivero, W. 1998. "Prácticas de Conservación de Suelos". En Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable de Montañas. 36-361pp. (Quito, Ec.).

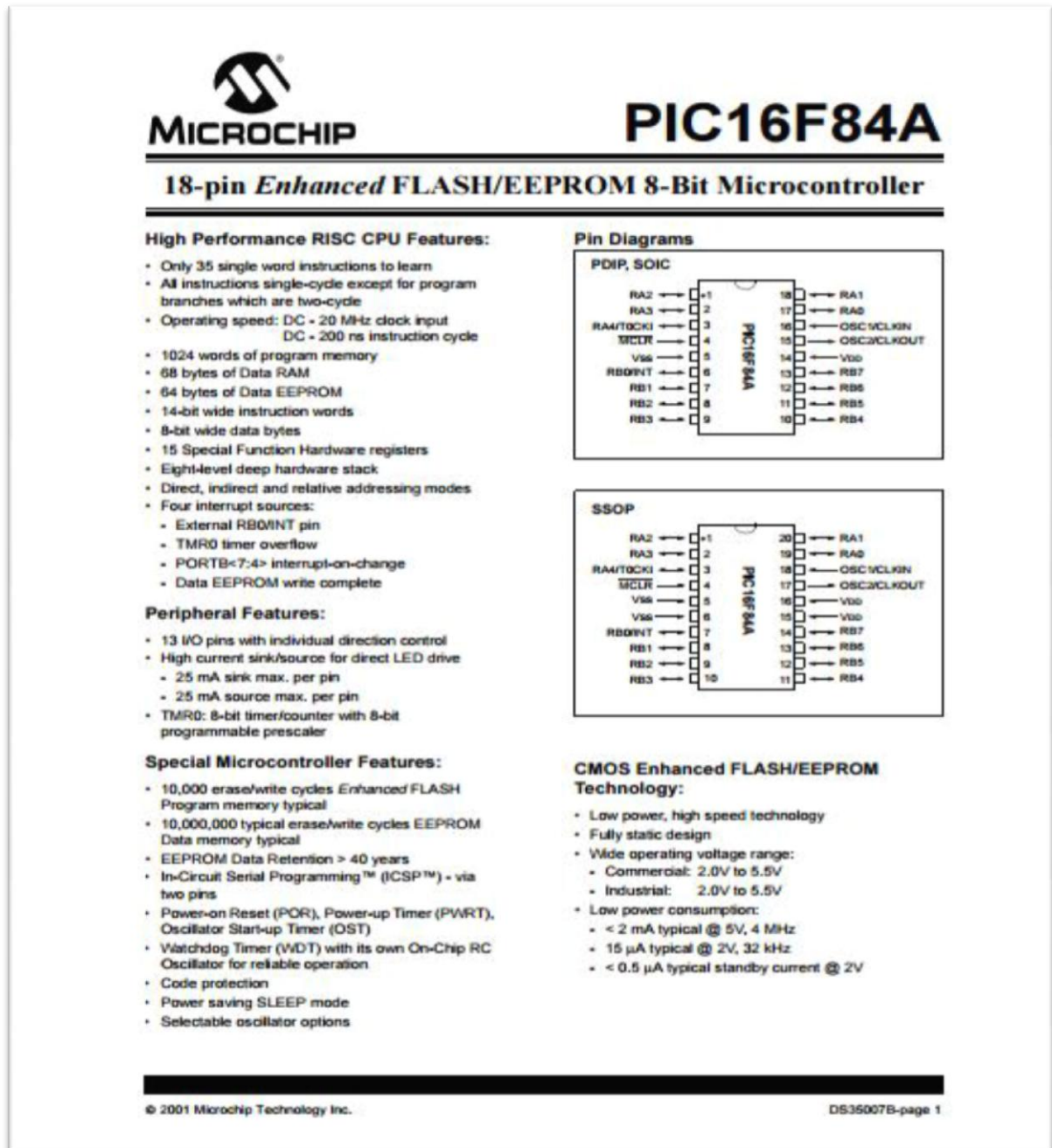
Wismer, R., y H.Luth. 1972. "Rate Effects in Soil Cutting". Journal of Terramechanics, 8(3): 11-21pp.

Yow, J. y U. Smith. 1976. "Sinusoidal Vibratory Tillage", Journal of Terramechanics, 13(4): 211-226pp.

ANEXOS

A. Hoja de datos de microcontrolador PIC16F84A

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



The image shows the data sheet for the PIC16F84A microcontroller. It features the Microchip logo and the product name 'PIC16F84A' in a large font. Below the name is the description '18-pin Enhanced FLASH/EEPROM 8-Bit Microcontroller'. The document is organized into several sections: 'High Performance RISC CPU Features', 'Peripheral Features', 'Special Microcontroller Features', 'CMOS Enhanced FLASH/EEPROM Technology', and 'Pin Diagrams'. The 'High Performance RISC CPU Features' section lists 15 bullet points, including 35 single word instructions, 1024 words of program memory, 68 bytes of Data RAM, and 64 bytes of Data EEPROM. The 'Peripheral Features' section lists 5 bullet points, including 13 I/O pins with individual direction control and a TMR0 timer/bounter. The 'Special Microcontroller Features' section lists 8 bullet points, including 10,000 erase/write cycles for Enhanced FLASH and In-Circuit Serial Programming (ICSP). The 'CMOS Enhanced FLASH/EEPROM Technology' section lists 5 bullet points, including low power consumption and wide operating voltage range. The 'Pin Diagrams' section shows two diagrams: PDIP, SOIC and SSOP. The PDIP, SOIC diagram shows an 18-pin package with pins 1-9 on the left and 18-10 on the right. The SSOP diagram shows an 18-pin package with pins 1-10 on the left and 20-11 on the right. The pin functions are: RA2, RA3, RA4/T0CKI, MCLR, VSS, RB0INT, RB1, RB2, RB3 on the left; RA1, RA0, OSC1/CLKIN, OSC2/CLKOUT, VDD, RB7, RB6, RB5, RB4 on the right.

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 RB0INT 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/bounter with 8-bit programmable prescaler

Special Microcontroller Features:

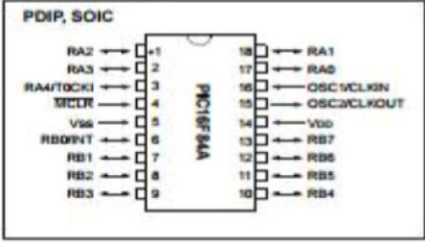
- 10,000 erase/write cycles Enhanced FLASH Program memory typical
- 10,000,000 typical erase/write cycles EEPROM Data memory typical
- EEPROM Data Retention > 40 years
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) - via two pins
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT), Oscillator Start-up Timer (OST)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

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

Pin Diagrams

PDIP, SOIC



SSOP



© 2001 Microchip Technology Inc. DS35007B-page 1

Fig. (A.1) Hoja de datos del microcontrolador PIC16F84A

B. Hoja de datos del sensor H21A1

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

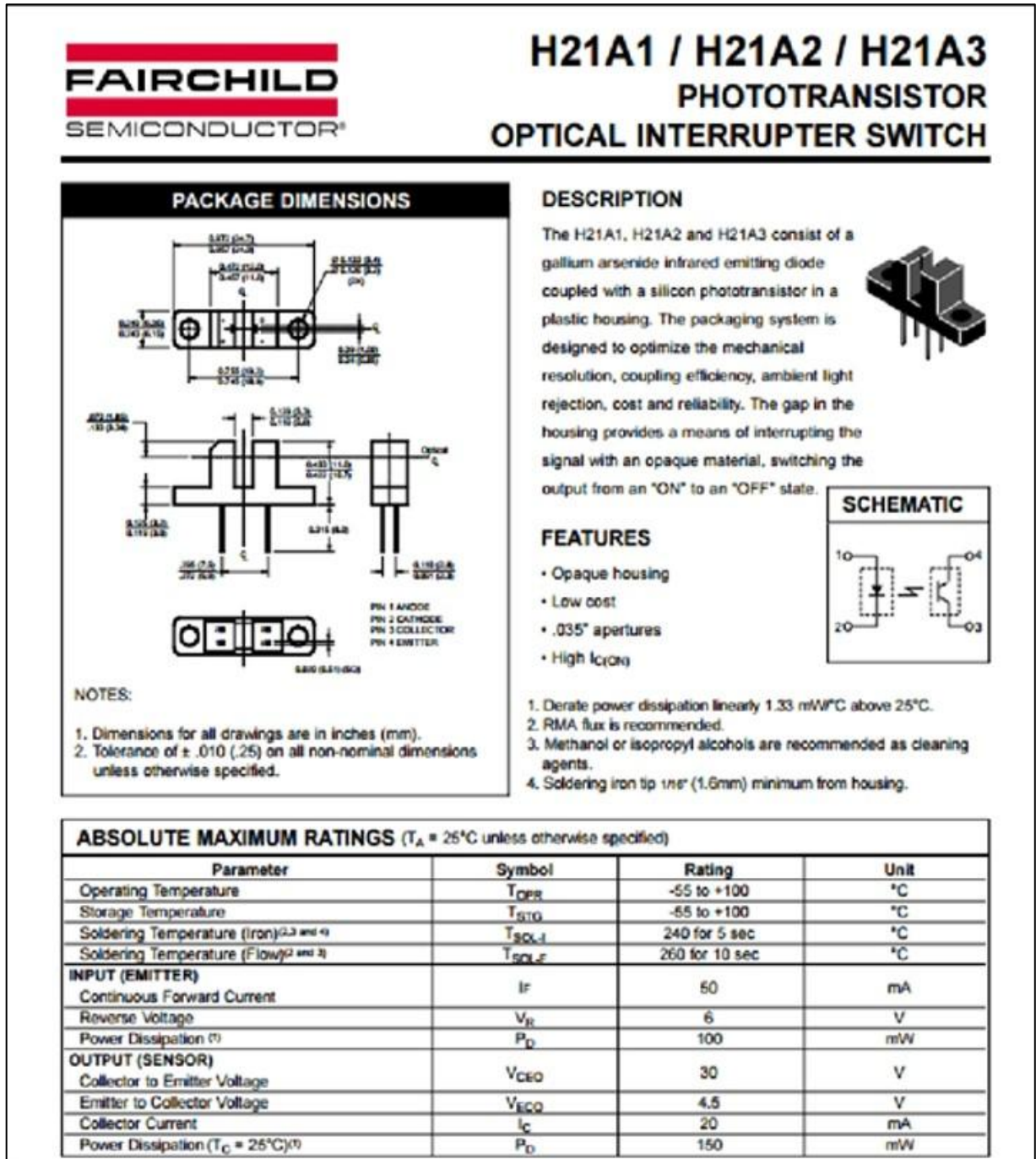


Fig. (B.2) Hoja de datos del Sensor H21A1

C. Análisis 3

En el anexo (C.3) se muestra el programa (análisis 3) utilizado para el análisis de datos obtenidos en campo, este programa se corrió en Matlab 10a.

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

clear
clc
file=input('Nombre de archivo de datos sin extension : ','s');
filename=[file '.dat'];
eval(['load ' filename]);
disp('Listo, archivo cargado')
x=eval(file);
v=x(:,1);
h=x(:,2);
z=x(:,3);

pas=input('Numero de corrida (1/3) : ','s');
disco=input('Titulo para las graficas : ','s');
cv=[' Comp. Vert.' pas];
ch=[' Comp. Horiz.' pas];
cz=[' Comp. Vert.' pas];
```

```

disp('Trabajando con columna 1...')
titulo=[disco cv ];
plot(v, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
dv=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : ');
v=v-dv;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
v=v*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una tecla...')
pause
plot(v, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis :');
fin=input('Posición final para el análisis :');
v=v(ini:fin);
medial=mean(v);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(medial)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause
v=v-medial;
plot(v, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn1=(abs(fft(v))*2)/length(v);
f=(272/length(v))*(0:length(v)/2);
plot(f,Pn1(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid
on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('¿ Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('Valor inicial : ');
b=input('Valor final : ');
plot(f(a:b),Pn1(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid
on;zoom on
resp=input('¿ Definir un nuevo rango (s/n)? ','s');
ok=strcmp('s',resp);
end

```

```

end

maxpn1=max(Pn1);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn1)
disp('A continuación, se analizará la columna 2. Pulsa una tecla...')

pause

disp('Trabajando con la columna 2...')

titulo=[disco ch];
plot(h, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
dh=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : ');
h=h-dh;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
h=h*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una tecla...')
pause
plot(h, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis : ');
fin=input('Posición final para el análisis : ');
h=h(ini:fin);
media2=mean(h);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media2)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause
h=h-media2;
plot(h, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn2=(abs(fft(h))*2)/length(h);
f=(272/length(h))*(0:length(h)/2);
plot(f,Pn2(1:length(f)), '-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid
on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el siguiente valor : ');disp(length(f))

```



```

resp=input('¿ Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
    a=input('valor inicial : ');
    b=input('valor final : ');
    plot(f(a:b),Pn2(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid
on;zoom on
    resp=input('¿ Definir un nuevo rango (s/n)?','s');
    ok=strcmp('s',resp);
end
end

maxpn2=max(Pn2);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn2)
disp('A continuación, se analizará la columna 3. Pulsa una tecla...')
pause

disp('Trabajando con la columna 3...')

titulo=[disco cz];
plot(z,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
dz=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : ');
z=z-dz;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
z=z*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una tecla...')
pause
plot(z,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis :');
fin=input('Posición final para el análisis :');
z=z(ini:fin);
media3=mean(z);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media3)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause
z=z-media3;

```

```

plot(z, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn3=(abs(fft(z))*2)/length(z);
f=(272/length(z))*(0:length(z)/2);
plot(f,Pn3(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid
on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('¿ Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('valor inicial : ');
b=input('valor final : ');
plot(f(a:b),Pn3(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid
on;zoom on
resp=input('¿ Definir un nuevo rango (s/n)?','s');
ok=strcmp('s',resp);
end
end

maxpn3=max(Pn3);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn3)

pause
disp ('valores de las medias ')
disp (media1)
disp (media2)
disp (media3)

pause
disp ('valores del espectro ')
disp(maxpn1)
disp(maxpn2)
disp(maxpn3)
pause
disp('Análisis terminado')

```