



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO INTEGRAL DE LABRANZA

Fase: *Desarrollo y evaluación de un sensor de fuerza de tiro con capacidad de 100 kN*

Por:

MARLEN BUSTOS AYON

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MÉCANICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México,

Junio de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO INTEGRAL DE LABRANZA.

Fase: Desarrollo y evaluación de un sensor de fuerza de tiro con capacidad de 100 kN.

POR:

Marlen Bustos Ayón

TESIS

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis

Asesor Principal

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal

Sinodal

Dr. Martin Cadena Zapata

Ing. Juan Antonio López López

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de la división de ingeniería

M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

“Son muchas personas especiales a las que me gustaría agradecer por su conocimiento brindado, amistad, sus consejos, apoyo, compañía y animo que me brindaron en las diferentes etapas de mi vida”.

Algunas aún se encuentran aún aquí conmigo y otras en mis recuerdos de mi infancia, mis queridos abuelos, mas sin embargo los llevo en mi mente y corazón, quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindaron y por todas sus bendiciones.

Primero le doy gracias **a mi señor Dios** nuestro **creador**, por permitirme estar en este mundo, por ayudarme en ocasiones muy difíciles; cuando todo parecía no tener solución, gracias dios por darme fortaleza y entendimiento.

A la **UAAAN** por ser parte de mí, por abrirme las puertas en esta grandiosa casa de estudios durante toda mi carrera, por darme las herramientas necesarias, para aplicarlas en el campo laboral. Siempre te llevare en mi mente y mi corazón.

Al **Departamento de Maquinaria Agrícola**, ya que en el he adquirí todos los conocimientos que hoy en día tengo.

Al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña**, quien me dio la oportunidad de pertenecer a su grupo de tesis, por brindarme sus conocimientos, y por ser parte de mi formación como profesionista, gracias por su amistad.

A todos los docentes del departamento de maquinaria agrícola, **Dr. Martin Cadena Zapata, Dr. Rodolfo Valenzuela García, M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Juan Arredondo Valdez, M.C. Mario Alberto Dorado, M.C. Tomas Gaytán Muñiz, M.C. Genaro Demuner Molina, Ing. Jorge Flores Berrueto, Ing. Rosendo Gonzales Garza y Ing. Juan de Valle Treviño** por darme los conocimientos que he adquirido durante el tiempo que estuve en la casa de estudios y por reforzar los valores que ya tenía.

M.C. Héctor Uriel Serna por brindarme todos sus conocimientos, por su apoyo incondicional y por brindarme su amistad.

A la generación CXIV, **compañeros y amigos** a todos por brindarme un poco de su amistad durante estos 4 años y medio nunca los olvidare.

A los compañeros de la carrera Mecánico Agrícola por brindarme su amistad y apoyo ***Miguel Ángel Santiago Martínez, Fermín García, Cesar Gaona, Jairo Estrada y Saúl Mejía*** siempre los llevare en mi corazón.

A todas aquellas personas que de alguna forma contribuyeron en la realización de esta presente tesis en pruebas de laboratorio y campo gracias compañeros.

¡GRACIAS!

DEDICATORIAS

A mis padres.

Sr. Abel Bustos Hernández y a la **Sra. Aurelia Ayón Ríos** quien me han apoyado incondicionalmente, que me han llevado de la mano al camino del bien, que como padres han hecho un excelente trabajo, Que dios les de muchos años mas de vida y salud, cada día que pasa les agradezco por darme la vida y formarme en un ambiente familiar tranquilo y sin problemas; Muchas gracias.

A mi hermana.

Elizabeth Bustos Ayón. Por todo su apoyo y cariño brindado y por los momentos compartidos. *TE QUIERO MUCHO* y te deseo lo mejor en tu vida.

A mis suegros.

Sr. Miguel Santiago Mariano y su esposa Sra. Zoila Martínez, gracias por su apoyo incondicional que dios los bendiga y les dé mucho más a manos llenas.

A mi esposo.

Miguel Ángel Santiago Martínez quien me ha apoyado en momentos de tristeza y alegrías, gracias le doy a dios por darme la oportunidad de conocer a una persona tan maravillosa como tú, por darme la dicha de ser madre y conocer esta etapa bonita de mi vida.

A mi hija.

Fátima Santiago Bustos por ser la fuente de inspiración de todos mis días, de mi vida y que desde su llegada ha hecho que este corazón se sienta muy feliz, eres la razón de mi existencia te amo mucho mi princesa hermosa y espero que nunca lo olvides.

A mi cuñada.

Verónica Santiago Martínez, por su amistad y apoyo incondicional recibe de mi más sincera gratitud.

Familiares.

A toda la familia Santiago, por recibirme en su familia y permitirme ser un miembro más, en especial al **Abuelo Santos Santiago Paulino** por brindarme sus consejos gracias abuelo eres el mejor abuelo del mundo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE CUADROS	V
RESUMEN	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general del proyecto	3
1.1.2 Objetivos específicos de la tesis	3
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Tecnología en implementos	4
2.2 Fuerzas actuando sobre una herramienta de labranza	7
2.3 Manejo de suelos con implementos de labranza	7
2.4 Implementos que integran varias operaciones de labranza	8
2.5 Caracterización de los requerimientos de potencia de los implementos de labranza	8
2.6 Diseño de transductores	11
2.6.1 Sensor octagonal de anillo extendido	13
2.6.2 Galgas extensiométricas	15
2.6.3 Puente de Wheatstone	16
2.7 Sistema de adquisición de datos	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 MATERIALES	21
3.1.1 Sensor axial empleado para laboratorio y campo.	21
3.1.2 Computadora	22
3.1.3 Convertidor analógico-digital	23
3.1.4 Amplificador-Acondicionador de señal DBK43A.	23
3.1.5 Tripié y contrapesos	24
3.1.6 Tractor acondicionado	25

3.1.7 Rastra de tiro	26
3.1.8 Parcela.....	28
3.1.9 Software.....	28
3.2 Metodología para calibración del transductor en laboratorio y medición de fuerzas en campo	29
3.3 Diseño de la barra de tiro.....	29
3.4 Método de calibración del sensor	30
3.5 Localización de la ubicación de las pruebas de campo	32
3.6 Parámetros considerados durante la evaluación	33
3.6.1 Velocidad de avance.....	33
3.6.2 Fuerza de tiro.....	33
3.7 Parámetros considerados después de la evaluación	35
3.7.1 Profundidad de trabajo.....	35
3.8 Guía rápida para la evaluación de herramientas de labranza.....	36
3.9 Análisis espectral	36
IV. RESULTADOS	38
4.1 Resultados de la calibración del sensor axial	38
4.2 Resultados de la determinación de la fuerza	41
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
VI. BIBLIOGRAFÍA	44
VII. ANEXOS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1 Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor.....	5
2.2 Diagrama de adquisición y procesamiento de datos.....	13
2.3 Galga extensiométrica uniaxial: a) alambre; b) laminilla. (Cooper, 1991).....	15
2.4 Puente de Wheatstone (Godwin, 1993).....	16
2.5 Sistema de adquisición de datos analógicos.....	17
3.1 Sensor axial empleado para la toma de datos en laboratorio y campo.....	21
3.2 Diagrama del sistema de adquisición de datos.....	21
3.3 Sistema de almacenamiento de datos.....	22
3.4 Amplificador y acondicionador DBKA43A.....	23
3.5 Tripie con plataforma para suspensión de pesos.....	23
3.6 Tractor John Deere 6403 empleado para la toma de datos en campo.....	25
3.7 Equipo adaptado al tractor para la toma de datos en campo.....	25
3.8 Rastra que se empleó para las pruebas en campo.....	26
3.9 Ubicación de la parcela.....	27
3.10 Acoplamiento del sensor a la barra de tiro.....	29
3.11 Captura de datos de una sesión de DaqView.....	30
3.12 Ubicación geográfica del área de estudios.....	31
3.13 Condiciones del área requerida para trabajar.....	32
3.14 Velocidad de avance del tractor John Deere 6403.....	32
3.15 Sensor acoplado a la barra de tiro junto con la rastra.....	33
3.16 Área disturbada por el implemento.....	33
3.17 Profundidad de trabajo.....	34
3.18 Análisis de datos en campo.....	36

4.1	Figura que muestra la forma en que se llevó a cabo la calibración del sensor.....	37
4.2	Comportamiento en la calibración del sensor.....	38
4.3	Gráfica de línea ajustada de la calibración.....	39
4.4	Sensor acoplado a la barra de tiro.....	40
4.5	Gráfica obtenida en prueba con el sensor axial de tiro.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

2.1 Requerimientos de energía de implementos de labranza integral.....	10
2.2 Potencia requerida en implementos integrales.....	10
2.3 Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento.....	11
3.1 Materiales e instrumentos empleados en el desarrollo y evaluación del sensor de tiro.....	20
4.1 Valores medios en mV obtenidos por repetición durante el proceso de calibración del sensor axial con seis diferentes pesos tanto en carga como en descarga.....	38
4.2 Análisis de varianza de los datos de calibración del sensor de tiro y su ecuación de regresión.....	39
4.3 Análisis espectral para las pruebas de rastra de tiro para el componente vertical.....	41

RESUMEN

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro la cual se encuentra en Buenavista, localizada a 7 km al sur de la ciudad de Saltillo, con coordenadas 25° 23' 42" latitud norte y 100° 59' 57" longitud oeste, a una altitud de 1743 msnm. Se calibró y evaluó un sensor de tiro, al transductor se le aplicó 2305.3 Newtons de peso en forma escalonada, obteniendo como resultados ecuaciones con respuesta Newtons vs mili Volts. El sensor de tiro diseñado para una capacidad de 100 kN obtuvo una constante de calibración 38.68 N mV^{-1} con un coeficiente de correlación de 99.7 % lo que indica que tiene una alta confiabilidad para la determinación de la fuerza de tiro. La evaluación consistió en medir la fuerza de tiro así como la profundidad y ancho de trabajo, Se evaluó el sensor axial con una rastra excéntrica tipo V de 20 discos, realizando 6 repeticiones en la parcela, tomando 7000 datos por repetición. El tamaño de la parcela empleada fue de 80 metros de largo por 50 metros de ancho. La textura del sitio de evaluación fue un tipo de suelo arcillo-limoso, con los contenidos de fracciones minerales de 34 % de arena, 35 % de limo y 31 % arcilla. El contenido de humedad del suelo 11.49 %. Los resultados obtenidos en el análisis de fuerzas requeridas fue en un rango de 5.46 hasta 10.29 kN con un ancho de trabajo de 2.25 m y una profundidad de 10.4 a 12.3 cm.; lo cual indica que la capacidad para lo cual fue diseñado el sensor permite realizar evaluaciones sin alcanzar el límite máximo de 100 kN.

Palabras clave: Labranza mínima, Multicultivador, Implementos integrales, Transductor de fuerza.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro País no se cuenta con información acerca del desempeño, en términos de eficiencia de la demanda de fuerza de tiro de implementos agrícolas de labranza vertical y además, se desconoce también cual es la más apropiada para los diferentes sistemas y tipos de suelo y como se puede incrementar la producción agrícola y la reducción de costos y de energía, optimizando sistemas de labranza de conservación y/o convencionales (Campos, 2000).

En la labranza de conservación, los mejores implementos son los llamados de labranza vertical, sin embargo aún demandan una alta potencia (Hoogmoed, 1999). Para poder proponer el desarrollo de implementos más eficientes, con menor demanda de potencia, es necesario conocer con mayor detalle cuales son los factores inherentes a la geometría y diseño de los mismos que interactúan con los factores ambientales como tipo de suelo, contenido de humedad, y con los factores operativos como la velocidad, profundidad para obtener el resultado esperado en uso de energía. Se debe generar la información anterior para en forma racional y eficiente establecer los diseños futuros de implementos de labranza.

TECNOMEC AGRICOLA, líder en los productos que fabrica dentro de la industria mexicana de implementos agrícolas, también representa a fabricantes extranjeros de maquinaria agrícola en el mercado doméstico y posee una presencia respetable en Estados Unidos con su marca **BISON-VH**, así como con equipos de subcontratación. Pertenece a la Asociación de Mayoristas de Implementos Agrícolas, así como a la Asociación de Productores de Implementos Agrícolas en los Estados Unidos. Desde sus inicios **TECNOMEC AGRÍCOLA**, ha desarrollado nuevos productos, optimizando sus operaciones, los cuales se realizaban de manera aislada en los diferentes departamentos de la organización. Producto de la Planeación estratégica 2006 de la empresa, se definió que una de las estrategias más viable para alcanzar los objetivos de desempeño planteados para la

organización, era la creación de una ventaja competitiva altamente diferencial con respecto a su competencia. Esta ventaja quedo definida como el desarrollo y consolidación de la capacidad de innovación de productos y procesos. Para instrumentar esta estrategia, se decidió iniciar con el proyecto Desarrollo de “**multicultivador Eco-Bison**” para labranza mínima, que debería tener las características de un implemento integral. La empresa se planteó la necesidad de desarrollar un equipo, que realice varias operaciones para la preparación de la cama de siembra integradas en un mismo implemento. Las operaciones que se pretenden integrar son: incorporación al suelo de residuos de cosecha anterior, barbecho vertical, rastreo y desterronado. La tendencia en el campo de la maquinaria agrícola es llegar a la cero labranza, para lo cual se tienen que dar ciertos pasos previos como es la labranza mínima o labranza reducida.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende incursionar y posicionar a **TECNOMEC AGRÍCOLA** como líder en el país en el diseño y desarrollo de este tipo de maquinaria, siendo parte de la estrategia para incrementar la presencia y posicionamiento en el mercado nacional, norteamericano y europeo. Por otro lado se quiere ofrecer a sus clientes un equipo que contribuya a desarrollar una agricultura sostenible y rentable en una economía globalizada, donde los agricultores se ven severamente castigados, con unos márgenes de utilidad bajos o en algunos casos negativos.

Esta propuesta tiene como propósito el acondicionamiento de un transductor, que pueda ser utilizado para la evaluación de implementos integrales tales como: multi-cultivador, multi-arado, arado, rastra, vibro-cultivador, cultivadora, sembradora y cualquier otro implemento integral a tractores categoría IV con potencia máxima a la barra de tiro 180 a 400 HP.

1.1 Objetivo general del proyecto

El presente trabajo de investigación forma parte de la evaluación de un multi-cultivador de labranza mínima cuyo objetivo general es:

Evaluar el desempeño del implemento en la preparación de la cama de siembra para determinar sus ventajas competitivas en el logro de una actividad agrícola sustentable, así como la conservación de suelo y agua.

1.1.2 Objetivos específicos de la tesis

- ✚ Diseño y calibración de un sensor de tiro con capacidad de 100 kN.
- ✚ Evaluación del sensor bajo condiciones de campo.

1.2 Hipótesis

Mediante el uso de este sensor axial se podrán determinar las fuerzas de reacción del suelo en implementos que integran varias operaciones de labranza.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Tecnología en implementos

Kepner *et. al.*, (1978) describen que las reacciones de los suelos debido a fuerzas aplicadas por implementos de labranzas son afectadas por la resistencia del suelo a compresión, la resistencia al corte, adhesión (fuerzas atractivas entre el suelo y algún otro material), y la resistencia a la fricción. Estas son todas las propiedades dinámicas que se hacen manifiesto solamente a través del movimiento del suelo. Con avance de la herramienta, el suelo en esta trayectoria está sujeto a esfuerzo de compresión que, en un suelo friable, resulta ser acción de corte. El cortado de los suelos es considerablemente diferente del cortado de muchos sólidos, esto es debida que la reacción puede ser ejercida por una distancia considerable sobre cualquiera de los lados del plano de corte por la fricción interna y la acción cohesiva de las películas de humedad.

Thomson y Shinnars (1989) desarrollaron un sistema para medir fuerzas de reacción de suelo en dos direcciones, colocado en una estructura rígida simulando un sistema de enganche rápido a los tres puntos del tractor. El sistema emplea celdas de carga como unidades de medición de las fuerzas de reacción. El arreglo de las celdas de carga indicaron errores de sensibilidad cruzada del orden de +5 por ciento para fuerzas que fluctúan entre 1.5 N y 35 kN. El transductor octagonal de anillo extendido para uso en estudios de labranza (Cook y Ravnovich 1954) se diseñó primeramente para monitorear las dos componentes de fuerzas y el momento en el plano de estas fuerzas de reacción del suelo. El sistema de fuerzas en estudios de labranza donde la falla del suelo es simétrica consiste en dos fuerzas mutuamente perpendiculares, y el momento en el plano de estas dos fuerzas.

Campos *et. al.*, (2000) diseñaron y compararon el funcionamiento de tres transductores de fuerzas basados en el principio de funcionamiento de las galgas extensiométricas, evaluados bajo condiciones de laboratorio y simulando las condiciones de suelo sin labrar en campo. Los transductores diseñados fueron: El octagonal extendido, placas flotantes y viga en “u”. Los tres transductores fueron diseñados para cubrir los siguientes parámetros de operación: magnitud F_x igual a 5 kN, F_z igual a 2.5 kN y momento debido a la fuerza resultante igual 7 kN m^{-1} . Los porcentajes de sensibilidad cruzadas obtenidas para cada uno de los transductores fueron, octagonal (1.5 %), viga en “U” (2.3 %) y placas flotantes (5.0 %). La mejor respuesta fue obtenida con el transductor octagonal, seguida por la viga en “U”.

Hinojosa, (2003) propone el diseño de un transductor integral para tractores categoría II que permita medir en un solo instrumento cuatro variables: fuerza de tiro, fuerza de penetración, momento y transferencia de peso. Esto mediante la integración de dos transductores octagonales extendidos (con capacidad de 40 kN cada uno), un transductor axial con capacidad de 80 kN. Dicha propuesta se muestra en la Figura 2.1.

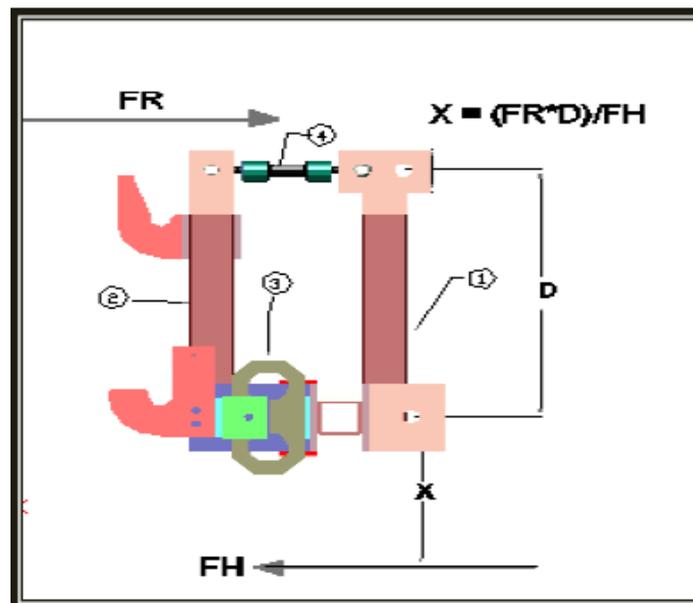


Figura 2.1. Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor, (Hinojosa 2003).

En el caso de implementos acoplados a la barra de tiro del tractor, la medición de solamente una fuerza, la fuerza de tiro, se realiza al insertar un dinamómetro entre las barras de tiro del tractor y del implemento Ochoa, (2002). Sin embargo para el caso de los implementos montados en el enganche de los tres puntos del tractor, un simple y muy utilizado método para determinar la fuerza de tiro de estos ha sido el de tirar del tractor con el implemento acoplado a este por medio de un segundo tractor y midiendo la fuerza requerida por el primero con un dinamómetro que registra fuerza axial Arcos, (1997). La fuerza promedio con el implemento en posición de trabajo, menos la fuerza obtenida con el implemento levantado, es tomada como la fuerza de tiro requerida por el implemento; al mismo tiempo se mide la velocidad de operación, con lo que se puede calcular la potencia desarrollada por el tractor al jalar un implemento.

En práctica, la gran mayoría de procedimientos para equipos agrícolas incluyen una parte realizada bajo condiciones ideales y controlables (pruebas), y una parte realizada en condiciones reales de la agricultura (evaluaciones). El proceso de desarrollo y evaluación de herramientas de labranza bajo condiciones de campo requiere de tiempos superiores a los 3 años, debido a que el proceso de incremento en densidad aparente del suelo es lento, además de que es imposible aislar los efectos de humedad y textura sobre el comportamiento de las herramientas de labranza (Campos, 2000).

La propuesta de rediseño de un transductor de fuerzas basado en anteriores propuestas, tiene la finalidad de que pueda ser utilizado para la evaluación de implementos integrales de labranza (multi-arado, arado, rastra, vibro-cultivador, sembradora, cultivadora y cualquier otro implemento integral) con tractores de categoría II 40 100 HP potencia máxima a la barra de tiro, por lo que podrá emplearse la fuerza de tiro dentro del procedimiento desarrollado de las normas como lo son arados, rastras y sembradoras, además en la creación de bancos de pruebas así como dimensionar implementos en cuanto a magnitudes a fuerzas de tiro, por consecuencia generar un análisis que nos ayude a optimizar los requerimientos de energía en la labranza vertical (Campos, 2012).

2.2 Fuerzas actuando sobre una herramienta de labranza

Un implemento de labranza o herramienta moviéndose a una velocidad constante está sujeto a tres fuerzas principales o sistemas de fuerzas que deben de estar en equilibrio, (Kepner *et. al.*, 1978), estas son:

- 1.- La fuerza de gravedad actuando sobre el implemento.
- 2.- Las fuerzas del suelo actuando sobre el implemento.
- 3.- Las fuerzas actuando entre el implemento y el primer movimiento.

Clyde (1936), subdivide el total de las fuerzas de reacción del suelo dentro de fuerzas útiles y parásitas. El define que las fuerzas del suelo útiles son aquellas en las cuales la herramienta debe vencer el corte, quebramiento y movimiento del suelo. Las fuerzas parásitas son aquellas (incluyendo la fricción o resistencia al rodamiento) que actúan sobre superficies estables. Cuando una herramienta no es simétrica sobre el plano vertical, longitudinal a través de una línea centro, las fuerzas del suelo útiles frecuentemente introducen un efecto rotacional.

Para un implemento particular y condición del suelo las fuerzas del suelo se incrementarán con la profundidad de trabajo. La resultante del peso del implemento y las fuerzas del suelo, por lo tanto, tendrán magnitud variable, dirección y posición dependiendo de la profundidad de trabajo. Dentro de las investigaciones realizadas por Garner *et. al.*, (1988)

2.3 Manejo de suelos con implementos de labranza

Actualmente la investigación brinda una mejor capacidad de explicar el efecto de labranza sobre suelos, aunque definitivamente no todos los procesos se entienden bien. La labranza es una actividad que modifica la estructura de la capa superficial del suelo, 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).

A pesar de los rápidos logros en los recientes años, la labranza está muy lejos de ser considerada una ciencia exacta. Aunque uno de los principales objetivos de la labranza es proporcionar un óptimo entorno en el crecimiento de las plantas, no está en consideraciones de especificar e identificar cuantitativamente las condiciones deseadas en el suelo (Soane y Pidgeon, 1975).

2.4 Implementos que integran varias operaciones de labranza

La evaluación y desempeño tecnológico de los implementos de labranza integral a partir de la calidad y consumo de energía que estos desarrollan a labrar el suelo es de suma importancia, constituye soluciones prácticas. Este tipo de implementos se encuentran dentro de la labranza de conservación, la cual se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación (FAO, 2000).

Los implementos más comunes dentro de la labranza integral podemos encontrar los siguientes: arado de tres discos, arado de cincel tipo rastrojero, arado cincel vibrador, vibro-cultivador, subsolador, multi-arado, rastra y el cultivador de campo de rastrojero.

2.5 Caracterización de los requerimientos de potencia de los implementos de labranza

La siguiente sección ha sido tomada de la publicación "Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos" (FAO 1997).

Vibro-cultivador: la profundidad del trabajo aconsejable es de 8-10 cm. La profundidad del trabajo aconsejable, con una alta velocidad de 8-12 km h⁻¹, para

optimizar las vibraciones que sueltan las malezas y desmenuzan los terrones grandes.

Arado cincel vibrador: debe trabajar a una velocidad alta, de 8 a 12 km h⁻¹; requiere de 6 HP por brazo.

Arado de cincel: tipo rastrojero tiene una velocidad de avance respecto al tractor de 6 a 9 km h⁻¹. El espaciamento entre los brazos variará con la profundidad del trabajo, cuando la profundidad del trabajo es de 18 cm, Por lo general se necesitan 9 a 12 HP por cada cincel.

Los subsoladores son cinceles grandes y fuertes que pueden llegar a profundidades de hasta un 1 metro. Se distingue la forma tradicional (vertical), la forma parabólica y el "Paraplow", para la potencia por lo general se requieren 20-30 HP por brazo. Para un tractor de 90 HP, donde el límite inferior de la capa compactada se encuentra a unos 26 cm de profundidad, se requiere que el subsolador llegue hasta 39 cm.

La siguiente sección ha sido tomada de la publicación "Revista Agraria" artículo escrito por Cadena *et. al.*, (2004).

Arado de tres discos con una profundidad de trabajo de 0.152 m, velocidad de avance de 4.45 km h⁻¹ con un consumo de combustible de 20.00 Litros h⁻¹ y requiere una fuerza de tiro de 14.86 kN.

Vibro-cultivador: Mientras que en otra investigación cuenta con una profundidad de trabajo de 0.14 m, velocidad de avance 5.34 km h⁻¹, fuerza de tiro requerida 4.41 kN.

Multiarado con una profundidad de trabajo de 0.149 m su velocidad de trabajo de 4.10 km h⁻¹, potencia requerida en la fuerza de tiro 23.03 kN.

Rastra de 20 discos, trabaja a una profundidad 0.10 m a una velocidad de avance de 5.32 km h⁻¹ con una potencia de fuerza de tiro 2.74 kN.

La labranza en el suelo es de gran importancia puesto que altera sus propiedades físicas y presentan un alto consumo de energía, a continuación se muestra un cuadro de demanda de fuerza de algunas herramientas de labranza, según Hunt (1987).

Cuadro (2.1) *Requerimientos de energía de implementos de labranza integral.*

EQUIPO	PROFUNDIDAD (cm)	VELOCIDAD km hr⁻¹	FUERZA (kN)
Arado de discos	18	4.8	8.5 -16.6
Subsolador	40	4.8	23.3 – 36.5
Arado de cincel	18 – 23	4.8	2.9 – 13.1
Rastra de discos	18 – 23	4.8	80-15
Cultivador	18 -13	4.8	0.9 – 4.4

Fuente: HUNT D. Farm power and machinery management. Seventh edition. 1997. Iowa State University press. P.46

Hunt (1987) enlista los requerimientos de potencia, de tiro y de energía de varias máquinas de campo mostradas en el cuadro (2.2).

Determinación de fuerza de tiro de diferentes implementos integrales.

Cuadro (2.2) *Potencia requerida en implementos integrales.*

Implemento		FH (kN)	Energía o trabajo Kw H HA⁻¹
Arado	3 discos	12.649	22.1 – 46.1
Rastra	20 discos	5.928	4.0 – 7.4
Multiarado	2 cuerpos	73	3.1 – 5.2
Sembradora	2 hileras	3.6	2.4 – 12

Fuente: HUNT D. Farm power and machinery management. Seventh edition. 1997. Iowa State University press. P.28-52

Para un implemento particular y condición del suelo, las fuerzas se incrementaran con la profundidad de trabajo por lo tanto la resultante del peso tendrán una

magnitud variable, dirección y posición dependiendo la profundidad de trabajo. Dentro de la investigaciones por Garner *et. al.*, (1988).

Marin (2003) e Hinojosa (2003) en una serie de evaluaciones con diferentes implementos de labranza, midieron las fuerzas de tiro y en la barra de comprensión, producidas por la interacción suelo-implemento.

Cuadro (2.3) Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento.

FUERZAS EN LA BARRA DE COMPRESION				FUERZAS EN EL TIRO		
Implementos	Profundidad (m)	Fuerza Media (kN)	Fuerza Pico (kN)	Fuerza Media (kN)	Fuerza Pico (kN)	Radio entre F_c F_T^{-1}
Arado	0.30	23.21	33.71	15.48	30.66	1.50
Multiarado	0.34	30.83	34.07	22.06	32.05	1.40
Multiarado	0.21	38.52	43.64	23.77	3.05	1.62
Rastra		17.05	16.24	5.39	21.92	3.16
Cultivadora		4.84	9.16	4.76	20.72	1.02
Vibrocultivador		16.46	6.73	9.84	37.78	1.67

Fuente: Marin, L.. Desarrollo de un transductor de fuerza para la evaluación de implementos integrales a tractores categoría. Tesis de licenciatura 2003. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

2.6 Diseño de transductores

La idea de emplear anillos octagonales extendidos (Extended Octagonal Rings) 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 limites utilizando el método de tensión de energía. 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). Ellos encontraron que los sistemas desarrollados de instrumentación

tenían suficiente resolución para medir el comportamiento dinámico vertical de suelo a acoplado a un enganche de pivote único.

O'Dogherty (1996) derivó una fórmula para determinar el espesor del anillo del transductor (EOR) mientras utilizaba datos de los transductores diseñados previamente por los investigadores. El introdujo un procedimiento gráfico para el diseño (EOR) basado en parámetros geométricos del anillo.

McLaughlin *et. al.*, (1998) diseñaron y fabricaron 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 uni-axiales y tri-axiales. 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.

Khan *et. al.*, (2007) diseñó un sistema de transductor biaxial (EOR) para medir las fuerzas tractor-implemento, mostraron que la sensibilidad cruzada del sensor fue menor a 1,5 % para la mayoría de los casos.

Se puede decir que la mayoría de los sistemas de medición se pueden dividir en tres partes (Campos *et. al.*, 2000):

1. **Etapa detectora-transductora**, detecta la variable física y efectúa una transformación, ya sea mecánica o eléctrica para convertir la señal de una forma más manejable. Generalizando el concepto, un transductor es un dispositivo que transforma el efecto físico en otro, en gran mayoría de los casos, la variable física se transforma en una señal eléctrica, ya que ésta es la forma de señal más fácilmente medible.

2. **Etapa Intermedia**, modifica la señal que proviene del transductor, ya sea por amplificación, filtrado u otros medios para tener una salida deseable.
3. **Etapa final o terminal**, indica, graba o controla la variable que se desea medir.

Moo (1999), señala que los transductores (sensores) son elementos de transformación de una variable física correspondiente a un fenómeno, a una señal eléctrica que describe ese comportamiento y su desempeño se debe a los elementos de captura, estos solo trabajan con señales eléctricas. Generalmente los transductores son empleados en la medición de magnitudes físicas, como por ejemplo, temperatura, presión, longitud, etc.

En la figura (2.2) se muestra un diagrama de bloques de un sistema típico de medición empleado en la correlación de datos.

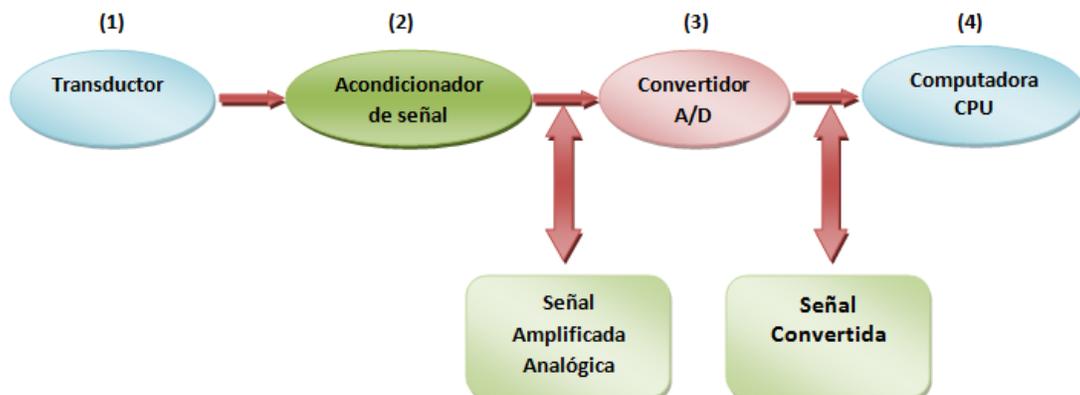


Figura 2.2. Diagrama de adquisición y procesamiento de datos

2.6.1 Sensor octagonal de anillo extendido

Campos *et. al.*, (1992) desarrollaron una metodología sencilla para el diseño de Anillos Octagonales teniendo en mente su aplicación en la evaluación de implementos de labranza bajo condiciones de campo, y demostró que existe un

efecto de la longitud del plato sobre la localización de los nudos de deformación, cosa que cabe señalar que Godwin (2007) no menciona el efecto de la longitud de los platos (en función del largo total del anillo extendido) sobre la sensibilidad del transductor y su efecto sobre la localización de los nudos de deformación.

Esto se derivó en realizar una determinación experimental de las dimensiones apropiadas del plato; así como, su efecto en la nueva localización de los nudos de deformación para la fuerza horizontal (F_x), corrigiendo así, la localización del nudo de deformación producido por la componente horizontal localizándose a un ángulo de $391/4^\circ$ y se encontró las sensibilidades para cada nudo de deformación.

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 tiene 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 Campos (1993).

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.

Para obtener máxima ejecución del anillo en la tensión-proporción del desplazamiento, sugirió Hoag, (1977) citado por Varela (2000) que la relación $(t r^2)$ debe aumentarse al máximo. Para los requerimientos específicos esperados de cualquier fuerza máxima o momento, la deformación máxima en el anillo puede

ser seleccionando el material del anillo apropiado junto con un máximo conveniente a la deformación aceptable.

2.6.2 Galgas extensiométricas

Las galgas extensiométricas son un ejemplo de transductores pasivos que convierten un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia. Una galga extensiométrica es un dispositivo delgado, como una oblea, que se puede unir 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, la resistencia de las galgas extensiométricas tiene una lámina delgada o un alambre con una longitud, a medida de que el material sufre tensiones o compresiones. Este cambio en la resistencia es proporcional a la tensión aplicada y se mide con un puente de Wheatstone adaptado especialmente (Cooper, 1991; citado por Bonifaz, 2012).

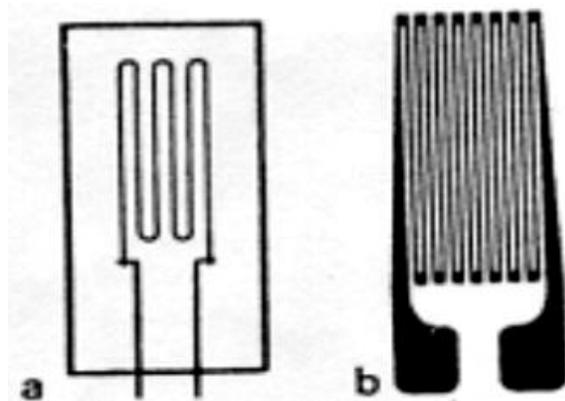


Figura 2.3. Galga extensiométrica uniaxial: a) alambre; b) laminilla. (Cooper, 1991).

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

Las rosetas de dos elementos suelen utilizarse en transductores de fuerza. Las galgas se conectan en un circuito puente de Wheatstone para proporcionar una salida máxima. En análisis de esfuerzos, los elementos axial y transversal pueden tener diferentes resistencias que se pueden seleccionar para que la salida combinada sea proporcional al esfuerzo.

Aunque pueden crearse infinidad de combinaciones para el arreglo de galgas, existen dos que son las más utilizadas: la roseta rectangular y la roseta delta

Cuando se aplica una fuerza externa a la galga extensiométrica, la armadura se mueve en dirección indicada. El cambio de resistencia de los filamentos es proporcional al cambio de longitud, y estos se pueden medir con un puente de Wheatstone.

2.6.3 Puente de Wheatstone

Las medidas de precisión de los valores de componentes se han hecho por muchos años utilizando diferentes tipos de puentes. El más simple tiene el propósito de medir la resistencia. El circuito puente forma la parte principal en algunas mediciones y como interface de transductores Cooper (1991).

El dispositivo eléctrico que es normalmente usado para medir $\epsilon K = dR/R$ y para convertir esta medición de cambio de resistencia en deformación, se utiliza el potenciómetro y el puente de Wheatstone como se muestra en la figura (2.3). El puente de Wheatstone puede determinar lecturas de galgas de tensión dinámica y

estáticas. El voltaje de la excitación puede ser CA o DC, aquí solo DC es considerada.

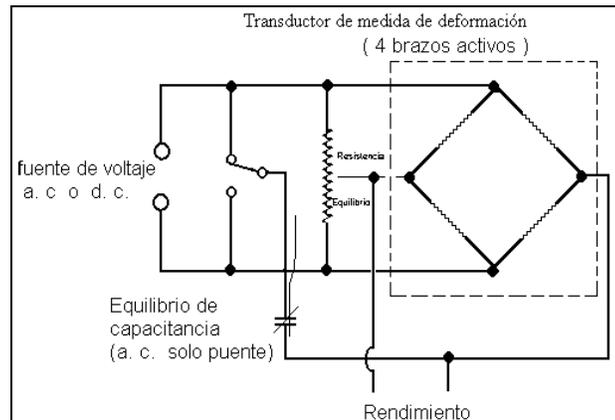


Figura 2.4. Puente de Wheatstone (Godwin, 1993)

2.7 Sistema de adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos se utilizan para medir y registrar señales obtenidas básicamente de dos maneras: a) aquellas que se originan a partir de la medición directa de cantidades eléctricas, que pueden incluir voltaje de corriente directa y corriente alterna, frecuencia o resistencia; suele hallarse en las áreas de prueba de componentes electrónicos, estudios ambientales y trabajos de control de calidad. b). Señales que se originan a partir de transductores, como galgas extensiométricas y termopares.

Los sistemas de instrumentación se pueden clasificar en dos clases principales: analógicos y digitales. Los sistemas analógicos tratan en forma analógica la información de mediciones. Un sistema analógico se puede definir como una función continua, como una gráfica de voltaje contra tiempo, o desplazamiento contra presión. Los sistemas digitales manejan la información en forma digital. Una cantidad digital puede consistir en un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referencial a la magnitud o naturaleza de la cantidad.

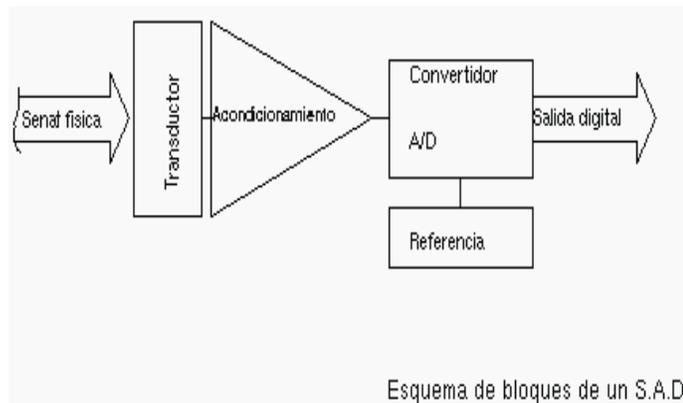


Figura 2.5. Sistema de adquisición de datos analógicos.

Fuente. http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos

Un sistema de adquisición de datos analógico consta de algunos o todos los elementos siguientes:

- ✓ **Transductores.** Para la transformación de parámetros físicos en señales eléctricas.
- ✓ **Acondicionador de señales.** Para la amplificación, modificación o selección de ciertas partes de estas señales.
- ✓ **Instrumentos de registro de datos.** Para obtener un registro permanente de los datos de entrada.
- ✓ **Los sistemas de adquisición de datos** se utilizan en un gran número de aplicaciones (en constante aumento), en una variedad de áreas industriales y científicas, como la industria biomédica, aeroespacial y telemetría. El tipo de sistema de adquisición de datos, analógica o digital, depende del uso de los datos registrados.

En general, los sistemas de datos analógicos se utilizan cuando se requiere un amplio ancho de banda o cuando se puede tolerar poca exactitud. Los sistemas

digitales se aplican cuando el proceso físico que en estudio varía poco (ancho de banda angosta) y cuando se necesita una exactitud alta y bajo costo por canal.

Los sistemas digitales varían en complejidad desde sistemas de un solo canal para medición y registro de voltajes, corriente directa de parámetros de entrada, los comparan con respecto a condiciones o límites preestablecidos y llevan a cabo cálculos y toman decisiones sobre la señal de entrada. Los sistemas digitales en general son más complejos que los analógicos, tanto en términos de volumen y complejidad de los datos de entrada que pueden manejar.

Rogers y Johnston (1953) citado por Ozuna (2011) indica la necesidad del procedimiento de datos de las fuerzas que actúan sobre los implementos. Usaron un cilindro de simple efecto para los brazos de enganche de tres puntos del tractor. Las líneas de presión de esos cilindros fueron ruta para las galgas montadas sobre un equipo. Durante la operación de este equipo fue fotografiado con una cámara de video de 16 cuadros.

Aparentemente el procesamiento de datos para las fuerzas fue obtenido de un análisis de foto por foto de la filmación. Ellos fueron capaces de grabar las fuerzas de intervalos de distancias de 0.05 m. en el campo (Neuholff, 1959).

Campos *et. al.*, (2000), describen la necesidad de un sistema de alta velocidad de muestreo para la reproducción de las fuerzas de reacción del suelo que incluye transductores de magnitudes de fuerzas y su localización; en cuanto al hardware en varias investigaciones se puede identificar en todas y cada una de ellas, un sistema de acondicionamiento de señales provenientes de los sensores de fuerzas, un sistema convertidor analógico a digital y software para su

funcionamiento (Moo, 1999). El anterior sistema permite reproducir en términos de energía lo que está sucediendo en interacción suelo herramienta. Moo (1999) desarrollo un sistema de adquisición de datos de laboratorio y campo que permite evaluar el desempeño de los implementos de labranza, además muestra el diseño de medidores de velocidad y desplazamiento. Campos (1993) menciona que dentro de la adquisición de datos de laboratorio comprende de un tanque de suelos el cual el sistema y los transductores se adaptan a éste. Y para el análisis de información proveniente de los procesos de muestreo (conversión analógica a digital) utilizando la metodología del algoritmo de la transformada rápida de Fourier para la obtención de potencia espectral.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

A continuación se muestra los materiales e instrumentos que se emplearon en la evaluación del sensor de tiro.

Cuadro 3.1 *materiales e instrumentos empleados en el desarrollo y evaluación del sensor de tiro.*

MATERIALES E INSTRUMENTOS.
Sensor axial 100 kN
Computadora de escritorio
DakBook 2000
DBK43A
Tripee
Contrapesos: 3 de 45 Kg y 3 de 35 Kg
Tractor John Deere 6403
Barra de tiro
Rastra de tiro
Parcela
Software: Pro Engineer 5.0, Daq View 9.1
Minitab 15 y MatLab R2011b

3.1.1 Sensor axial empleado para laboratorio y campo

Para la evaluación se utilizó un sensor de tiro que tiene una capacidad de 100 kN, maquinado con un acero 1020 laminado en frío con una resistencia última a la tensión de 420 MPa, sus dimensiones son de $r = 42.5$ mm, $b = 152.14$ mm y $t = 37.47$ mm, como se muestra en la figura (3.1), con un factor de seguridad de 3 y se utilizó para determinar la fuerza de tiro que necesita el tractor para jalar el implemento en el laboreo.

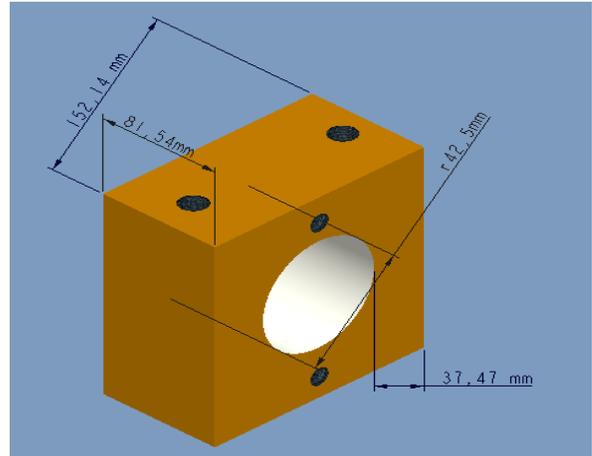


Figura 3.1 Sensor axial empleado para la toma de datos en laboratorio y campo.

En la figura (3.2) muestra el Sistema de adquisición de datos que se empleo para determinar el valor de la fuerza que se aplica en condiciones controladas y en campo (implemento).

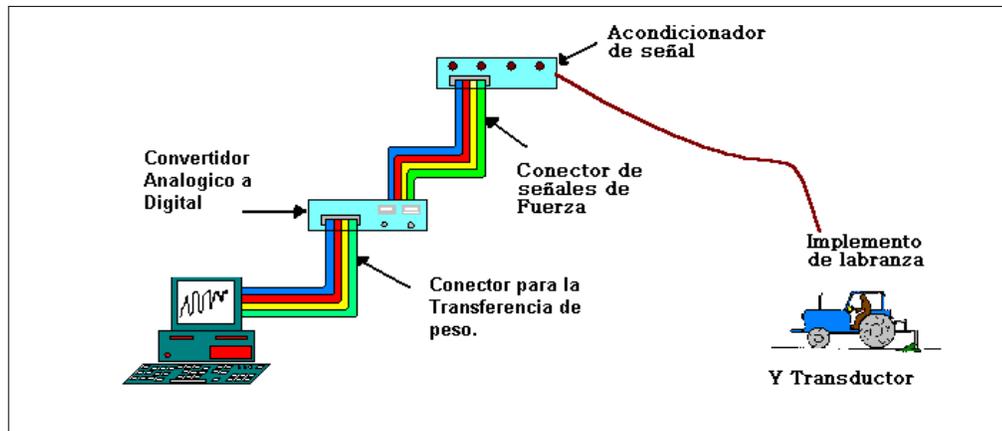


Figura 3.2 Diagrama del sistema de adquisición de datos.

3.1.2 Computadora

Una computadora de escritorio (Dell con un procesador Genuine Intel, memoria RAM de 512 MB, capacidad en Disco Duro de 34.1 GB).

3.1.3 Convertidor analógico-digital.

(DakBook 2000). Este módulo se conecta al puerto paralelo de la computadora (DELL) y convierte los valores de voltaje en valores digitales para que en paralelo con la PC puedan ser procesados. Dicho sistema se compone de dos partes: la primera parte procesa la información y la segunda consta de un banco de baterías que sirve de alimentación a la parte de procesamiento de datos. El módulo está integrado por seis sub-módulos más de voltaje diferencial, con una ganancia de 0.01-10 V y con una velocidad de muestreo de 25-625 muestras por segundo. Consta además de 16 canales analógicos y ocho canales digitales con rangos de ganancia en micro deformaciones de 100 a 10 K. Este sistema permite almacenar en forma instantánea los datos, en el disco duro del ordenador y permite ver la respuesta de los canales en pantalla durante el proceso.



Figura 3.3 Sistema de adquisición de datos

3.1.4 Amplificador-Acondicionador de señal DBK43A.

Este elemento consta con un módulo de 8 canales, con ganancias de 10x a 1250x (ϵ) fabricado por *Iotech, Inc.* (<http://www.iotech.com>) usado para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje para así poder

enviarla a un convertidor analógico-digital y que este además provee el voltaje de excitación al transductor (puente de Wheatstone) en un rango de 1-10 V y 100 mA.



Figura 3.4 Amplificador de señal DBKA43a

3.1.5 Tripié y contrapesos

El tripé empleado para calibrar el sensor axial de anillo fue colocado en la estructura en serie.



Figura 3.5 Tripie con plataforma para suspensión de pesos.

3.1.6 Tractor acondicionado

Se realizaron las pruebas en campo con un tractor John Deere modelo 6403 tracción sencilla tiene las siguientes características:

- Potencia al motor de 106 HP rpm nominales, velocidad nominal 2100 rpm, 4 cilindros con aspiración turbo, bomba de inyección rotativa.
- Transmisión estándar sincronizada con 9 velocidades de avance y 3 de reversa.
- Embrague seco con un diámetro 305 mm (12 pulgadas).
- En la toma de fuerza cuenta con 95.7 HP, potencia máxima certificada (OCIMA), tipo independiente y una velocidad de 540 a 1000 rpm.
- Sistema hidráulico tipo centro abierto, presión máxima al implemento de 19.5 lb, capacidad de levante de 3344 kgf al 90 %, categoría de enganche II.
- Tipo de dirección hidrostática.
- Sistema eléctrico con un alternador de 75 Amperes y motor de arranque de 4.2 HP (3.1 kW).
- Capacidad del tanque de combustible de 158 litros, aceite de motor 12 litros, aceite de transmisión, diferencial y sistema hidráulico 58 litros.
- Capacidades de:
 - A = Distancia entre ejes DT - *mm (in)* 2310 (91).
 - B = Largo (sin enganche ni contrapesos delanteros) - *mm (in)* 4010 (158)
 - C = Rango de trocha trasera – *mm (in)* 1310 a 1930
 - D = Altura a la parte superior del ROPS - *mm (in)* 1490 a 1800
 - E = Despeje mínimo al suelo - *mm (in)* 457 (18)
- Peso aproximado de embarque (TS/DT) - kg 3590/3870
- Rodados.
 - Delantero estándar (TS/DT) 10.0-16/13.6-24
 - Trasero estándar 18.4 – 34
 - Delantero opcional (DT) 14.9 - 24
 - Trasero opcional 18.4 – 38 y 16.9 – 38



Figura 3.6 Tractor John Deere 6403 empleado para la toma de datos en campo.

Este tractor se encuentra acondicionado con el sistema de adquisición de datos y una computadora para realizar las pruebas en campo como se muestra en la siguiente figura



Figura 3.7 Equipo adaptado al tractor para la toma de datos en campo.

3.1.7 Rastra de tiro

Las rastras se conocen también como gradas de discos es uno de los implementos más usados para la labranza secundaria. Las rastras de discos desmenuzan la tierra cortándola se utilizan en suelos secos y cementados

La rastra que se utilizó en las pruebas fue tipo excéntrica llamadas **offset o cover-crop** la posición de los cuerpos asemeja una letra uve y por el tipo de enganche de tiro autonivelable sus características son:

- ❖ Los discos que cuenta este implemento son de dos tipos, 10 delanteros son dentados y 10 traseros son lisos con un diámetro de 609.6 x 6.3500 mm
- ❖ Cilindro hidráulico de 76.200 x 203.20 mm.
- ❖ ángulo de corte de 20 a 25 grados.
- ❖ Tiene 6 baleros y limpiadores ajustables.
- ❖ Las llantas son de 7.00x16.
- ❖ peso aproximado de 1300 kg.
- ❖ ancho de trabajo 2.25 m
- ❖ Profundidad de 150 a 200 mm.
- ❖ Velocidad de 5 a 6 km h⁻¹.
- ❖ Potencia que se necesita en el motor del tractor, para la rastra 70 HP.
- ❖ Ancho de chasis de 5867.4 mm.



Figura 3.8 Rastra que se empleo para las pruebas en campo.

3.1.8 Parcela

Una parcela cuyas dimensiones de 50 x 80 metros, fue donde se realizaron las pruebas como se muestra:



Figura 3.9 Ubicación de la parcela.

3.1.9 Software

El software utilizados para el procesamiento de los datos del comportamiento del sensor fueron: **ProEngineer 5.0**, **SolidWorks 2012**, **Daq View 9.1**, **Minitab 15** y **MatLab R2011b**.

- ❖ **ProEngineer** y **SolidWorks** estos programas se utilizaron para diseñar el acoplamiento del sensor axial a la barra de tiro.
- ❖ **Daq view** para la recopilación de datos en laboratorio y campo.
- ❖ **Minitab** nos ayudo para realizar el análisis estadístico de las pruebas de laboratorio.

- ❖ **MatLab** permite procesar toda la información de campo a través de un análisis espectral.

3.2 Metodología para calibración del transductor en laboratorio y medición de fuerzas en campo

Se rediseño un sensor con capacidad de 100 kN, para la evaluación del transductor que medio las fuerzas verticales que las origina el implemento en su estado dinámico, se evaluó primero en condiciones controladas a través de un tripee, contrapesos y un sistema de adquisición de datos anteriormente descritos para obtener la calibración a sí mismo la capacidad de energía para analizar el coeficiente de correlación mediante el programa Minitab y así poder determinar su constante de calibración.

El sensor axial se acoplo a la barra de tiro de un tractor mediante un diseño de acoplamiento para probarlo en campo, primero se diseñó en Pro-Engineer 5.0 es un software de diseño paramétrico para determinar el diseño mecánico, análisis de comportamiento (esfuerzos) y creación de archivos para la fabricación asistida por computadora.

3.3Diseño de la barra de tiro

Para el acoplamiento del sensor a la barra de tiro se realizó un diseño de acoplamiento del sensor y la barra, con un acero 1020.

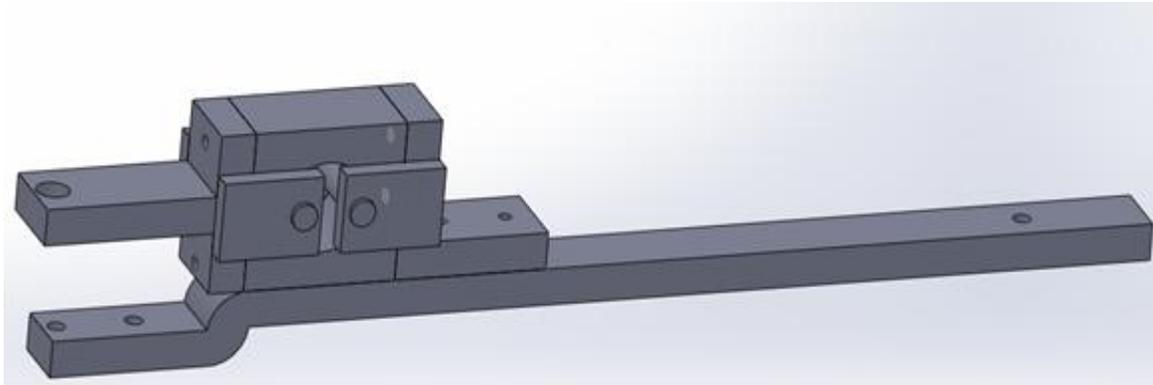


Figura 3.10 Acoplamiento del sensor a la barra de tiro.

3.4 Método de calibración del sensor

Para la calibración del sensor en condiciones controladas, se inicio con la preparación del software para capturar los datos enseguida se calibro el canal que se requirió se encuentra en la parte de atrás de DBK 43a, el canal que se utilizo fue el cero, se creó una carpeta para que se guardaran los archivos de forma automática en el software **DaqView**.

El sensor consta de conector hembra y macho para así poder comunicar a través de una tarjeta de conexión que va desde el transductor (Axial) al amplificador-acondicionador (Ozuna 2011, Bonifaz 2012).

Para la adquisición de datos se ajustó la frecuencia que se requiere a 20 muestreos por segundo con un total de datos de 7,000 datos. Ya calibrado el canal, origen del archivo, números de datos a capturar se corre el programa eligiendo la opción Data, Acquire de ahí se muestra una ventana y el número de datos que se van almacenando posteriormente se presiona Manual Trigger para dar inicio de recopilación de datos (Figura 3.11).

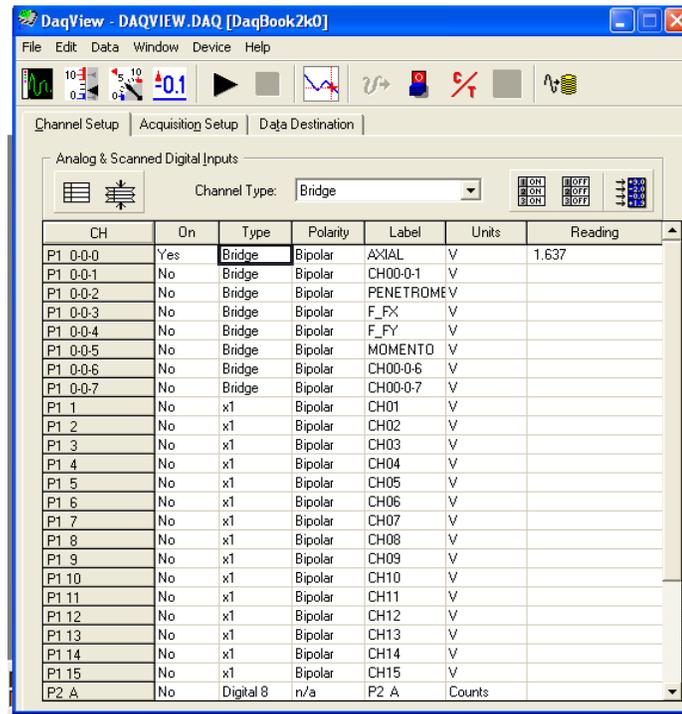


Figura 3.11 Captura de datos de una sesión de DaqView.

Se inició con la primera corrida, consistió en que los primeros 500 datos no aplicamos peso, el primer peso se aplica a partir de esos 500 datos, a los siguientes, 1000 aplicamos el siguiente peso y así sucesivamente hasta llegar a los 235 kg en subida, repitiendo el mismo procedimiento al momento de ir bajando los mismos pesos.

Al término de cada corrida se realiza ejecución del archivo que nos permite ver en la pantalla de la computadora la respuesta en mV del sensor, se seleccionan los datos le das la opción graficar, nos muestra una grafica escalonada se ajusta a cero, entonces se vuelve a graficar pero ya ajustada posteriormente se toman los puntos medios de cada lectura por escalón corresponden a la suma de pesos aplicados a cada lectura aplicada, los mV son proporcionales al peso. El peso que se aplicaba es multiplicado por la fuerza de gravedad obtenemos Newtons, los puntos medios de cada corrida se enlistan, se procede llevar los datos a Minitab para realizar el análisis de datos obtenemos la gráfica ajustada, el coeficiente de correlación y la ecuación (constante de calibración).

3.5 Localización de la ubicación de las pruebas de campo



Figura 3.12 Ubicación geográfica del área de estudios.

El terreno que se eligió de acuerdo a las condiciones que se requerían en este caso fue una área donde no se haya llevado a cabo ningún tipo de práctica agrícola, con la finalidad de conocer la descripción del terreno para obtener una referencia y así aplicar los resultados que se obtienen de ello, realizando comparaciones entre parámetros y variables realizadas.



Figura 3.13 Condiciones del área requerida para trabajar.

3.6 Parámetros considerados durante la evaluación

3.6.1 Velocidad de avance

La velocidad de avance que se tomó en cuenta durante las pruebas fue a 2000 rpm segunda baja sin contemplar el tiempo, solo la distancia de trabajo que se requirió, nos sirvió para determinar el número aproximado de datos para cada una de las vueltas que se realizaron.



Figura 3.14 Velocidad de avance del tractor John Deere 6403.

3.6.2 Fuerza de tiro

La fuerza de arrastre o potencia que demanda los implementos, se determinó mediante un sensor axial con capacidad de 100 kN acoplado a la barra de tiro del tractor en la cual se le acoplo una rastra de tiro de 20 discos para realizar las pruebas como se muestra en la figura.



Figura 3.15. Sensor acoplado a la barra de tiro junto con la rastra.

Se toman las lecturas de la fuerza de tiro por cada una de las vueltas que se le dio a la periferia de la parcela. Para la obtención de los datos se empleó un sistema de adquisición de datos (Daq book 2000), para cada una de las pruebas realizadas se tomaron 7000 datos en total con 20 datos por segundo en segunda baja.



Figura 3.16 Área disturbada por el implemento.

3.7 Parámetros considerados después de la evaluación

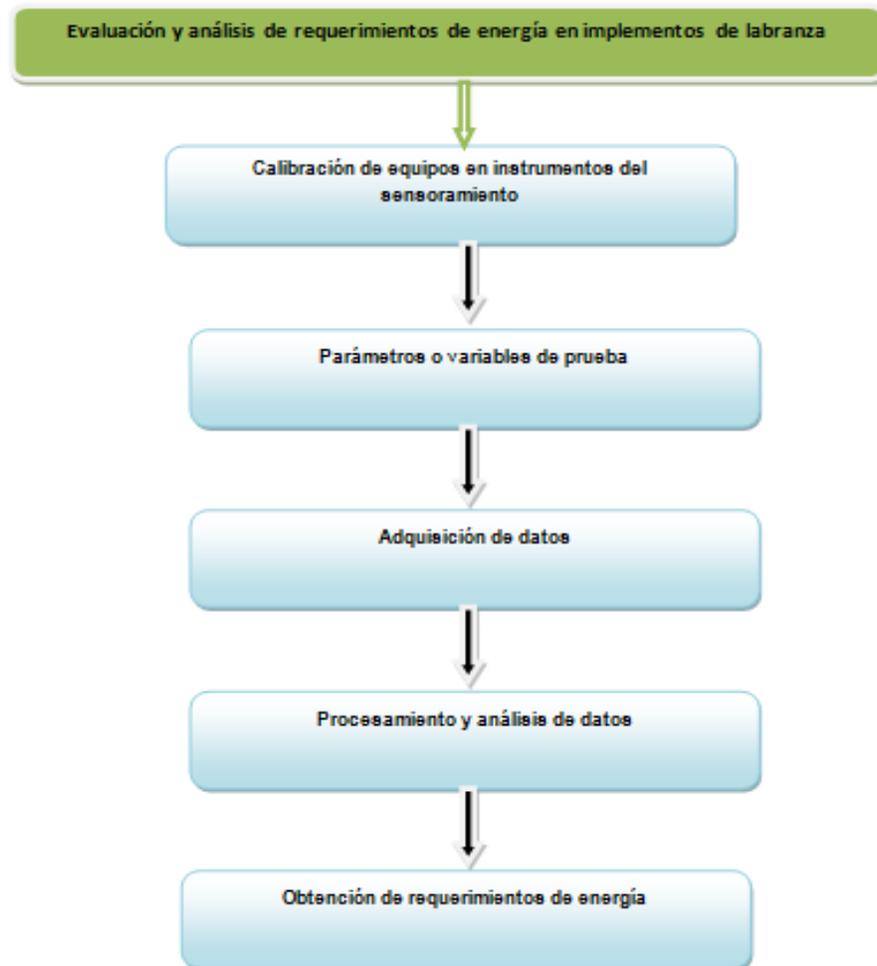
3.7.1 Profundidad de trabajo

La profundidad de trabajo se determinó al finalizar las pruebas, se tomaron 10 muestras al azar en diferentes puntos por cada una de las vueltas que se realizaron cabe mencionar que se presentaron muestras poco profundas debido a la compactación del suelo. La medición de profundidad consistió en establecer un determinado punto retirar el suelo removido por el paso del implemento y medir la profundidad con un flexómetro.



Figura 3.17 Profundidad de trabajo.

3.8 Guía rápida para la evaluación de herramientas de labranza



3.9 Análisis espectral

Se realizaron las pruebas en campo y los datos se procesaron en el programa **MatLab** para la información que se obtuvo, se puede conocer las fuerzas que presentan durante la operación del implemento, para procesar la información en este software se guardan todos los archivos generados de cada una de las pruebas (seis archivos de prueba) con extensión DAT, y delimitado por tabulaciones para que pueda ser procesado ejemplo: "Prueba.dat" y de esta manera poder "llamar" el archivo en nuestro programa y procesarlo. Al momento

de ejecutar la información se elige programa de análisis de datos según el número de columnas.

En el momento de analizar los datos obtenemos la gráfica de comportamiento vertical, Se realiza el ajuste de datos según se encuentre con respecto a cero se multiplica por 1 o -1 entonces se realiza un ajuste en la gráfica con respecto a cero, eliges el rango de datos para que te de posición inicial y final de análisis y la media del segmento, P_n (valor del análisis del espectro), valor máximo de la componente vertical y la gráfica ajustada.

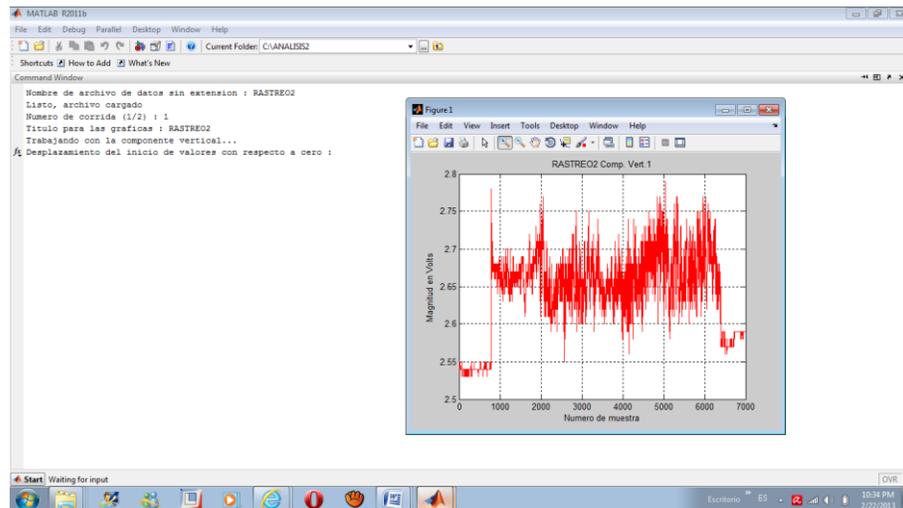


Figura 3.18 *Análisis de datos en campo.*

IV. RESULTADOS

4.1 Resultados de la calibración del sensor axial

La calibración del axial, para determinar la fuerza de tiro, se empleó un tripee con 6 diferente contrapesos como se muestra en la figura (4.1). Para el análisis de la información se toman los puntos medios de cada escalón obtenidos durante el proceso de calibración como se muestra en la figura (4.2), lo cual representa el valor correspondiente a cada peso durante el proceso. Esta grafica muestra seis escalones tanto de asenso como de descenso de las diferentes cargas realizadas en la plataforma de tripié.



En la figura 4.1 muestra la forma en que se llevó a cabo la calibración del sensor.

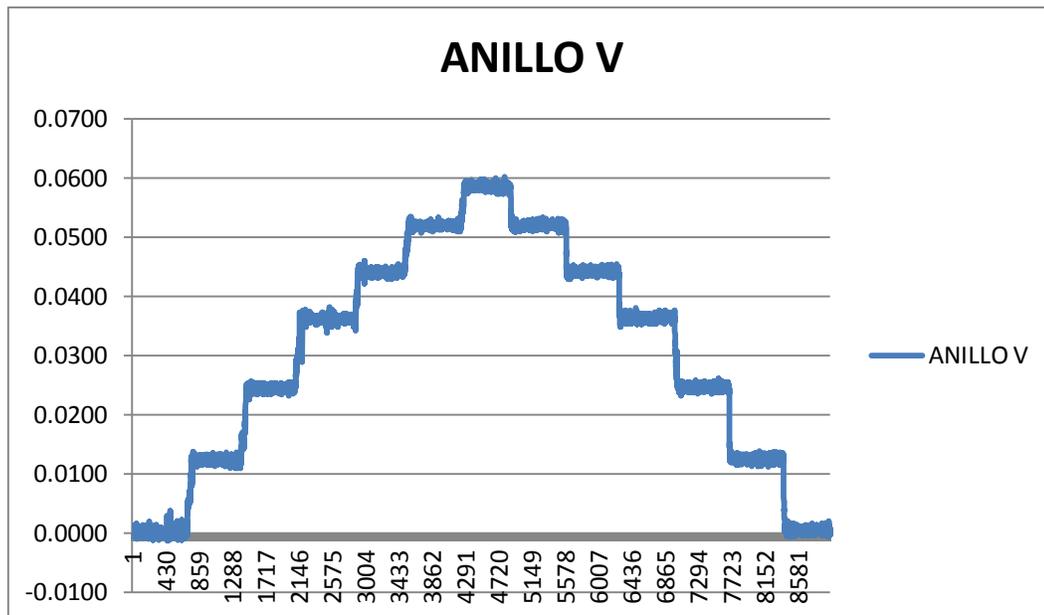


Figura 4.2 Comportamiento en la calibración del sensor.

En el cuadro 4.1 se muestra los datos de la respuesta que hay en el sensor axial, aquí se convierten los volts a mili volts y los pesos a Newtons.

Cuadro 4.1 valores medios en mV obtenidos por repetición durante el proceso de calibración del sensor axial con seis diferentes pesos tanto en carga como en descarga.

FUERZA (N)	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
0	0	0	0	0	0
441.4	11.6	12.7	13.1	12.1	13.2
882.9	24.8	23.7	25.7	24.6	24.1
1324.3	36.5	36.2	37.9	37.1	36.2
1667.7	44.3	43.8	46	45	44.3
2011.0	51.8	51.8	52.9	52.2	52.1
2305.3	59.3	58.3	59.9	58.6	59.8
2011.0	52.7	51.6	52.3	53	52.1
1667.7	44.9	43.7	45.1	45	43.5
1324.3	37	36.2	37.2	36.5	36.8
882.9	24.9	24.7	26	24.9	24.4
441.4	12.7	13	13.2	13.4	12.4
0	0	0	0	0	0

En la Figura 4.3 muestra la línea ajustada de la calibración obtenida mediante la facilidad de regresión lineal del programa Minitab para obtener la constante de calibración. La constante obtenida fue de 38.68 mV N⁻¹ con un coeficiente de correlación del 99.7 % lo cual muestra una alta confiabilidad de los datos obtenidos en la calibración del sensor.

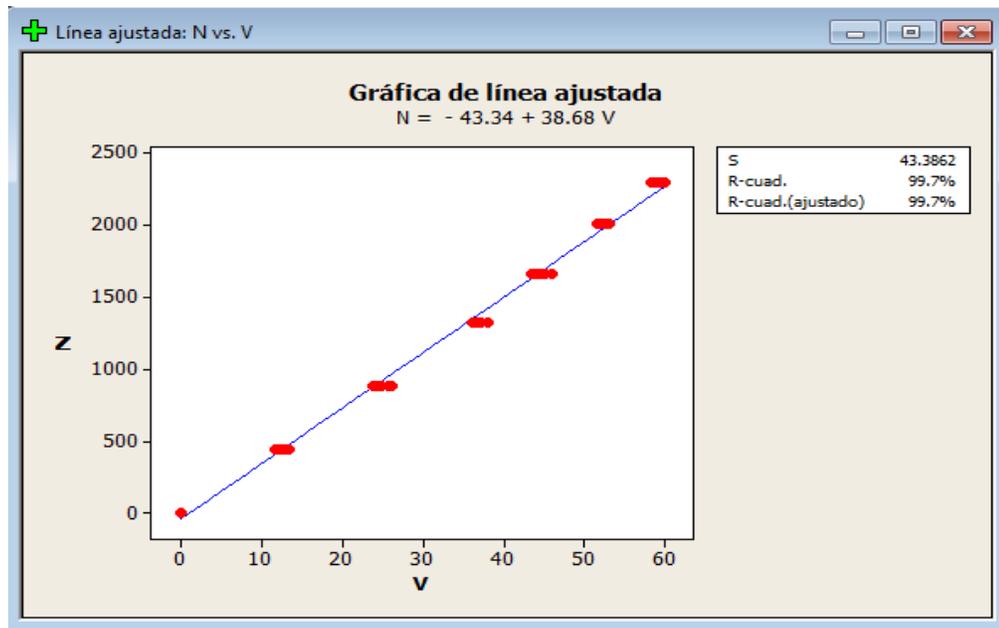


Figura 4.3 Grafica de línea ajustada de la calibración.

Cuadro 4.2 Análisis de varianza de los datos de calibración del sensor de tiro y su ecuación de regresión.

Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	35912577	35912577	19078.46	0.000
Error	63	118589	1882		
Total	64	36031166			

La ecuación de regresión es		
N = - 43.34 + 38.68 mv		
S = 43.3862	R-cuad. = 99.7 %	R-cuad.(ajustado) = 99.7 %

4.2 Resultados de la determinación de la fuerza

En la figura 4.4 muestra el sensor de tiro utilizado para la determinación de fuerza requerida por los implementos

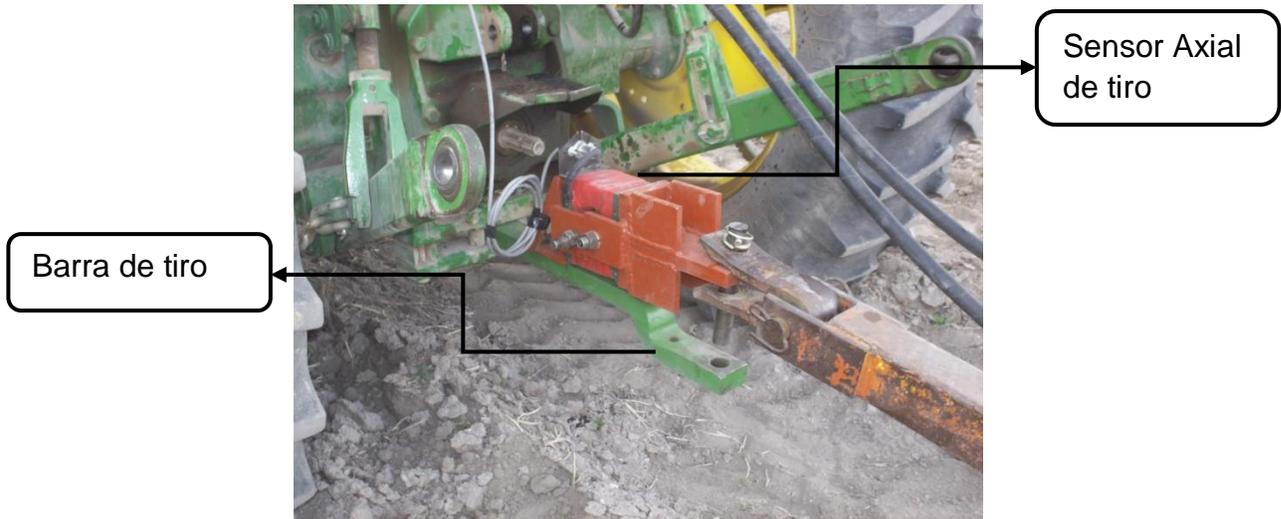


Figura 4.4 Sensor acoplado a la barra de tiro.

La figura 4.5 muestra la gráfica del comportamiento de las fuerzas de tiro ejercida por el implemento a la hora de realizar la labor. Esta tiene tres componentes, el componente **(a)** es la parte que muestra cuando el tractor está detenido y es la referencia cero de fuerza; el componente **(b)** es la demanda de fuerza durante el proceso de evaluación y el componente **(c)** muestra cuando se determinó la evaluación de la profundidad respectiva.

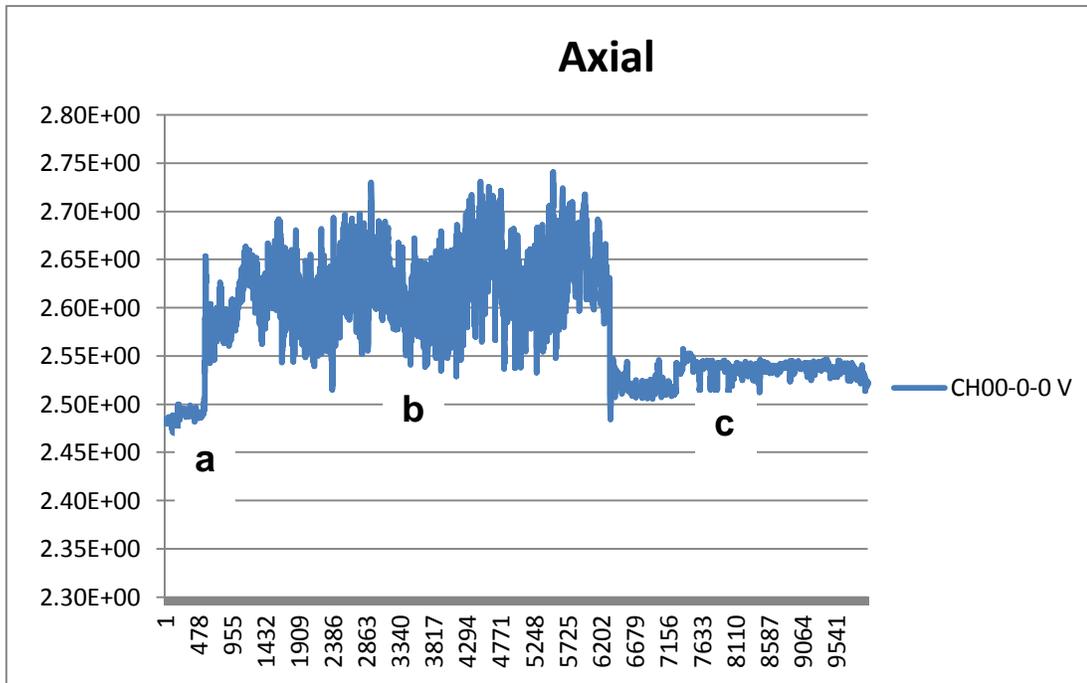


Figura 4.5. Grafica obtenida en prueba con el sensor axial de tiro.

En el cuadro 4.3 muestra la fuerza (kN) requerida por cada corrida que se realizó para un ancho de trabajo de 2.25 m. El análisis espectral del componente de tiro, media del segmento ejercido y la profundidad media del área disturbada para las diferentes corridas.

Cuadro (4.3) Análisis espectral para las pruebas de rastra de tiro para el componente vertical.

No. Corrida	Prof. cm	Pn	Media	M+ Pn	KN
1	10.38	0.0171	0.1432	0.1603	6.2004
2	12.31	0.0165	0.1251	0.1416	5.47709
3	11.51	0.0123	0.2019	0.2142	8.28526
4	11.71	0.0169	0.2492	0.2661	10.2927
5	12.04	0.0145	0.1267	0.1412	5.46162
6	11.33	0.0186	0.2187	0.2373	9.17876

Ancho de trabajo para rastra de 20 discos de tirón fue de: 2.25 m.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El equipo empleado para la medición de la fuerza de tiro tiene una constante de calibración 33.68 mV N^{-1} con un coeficiente de correlación del 99.7 % lo cual muestra una alta confiabilidad.
- El sensor de tiro desarrollado tiene una capacidad de 100 kN con un factor de seguridad 6.2
- Fuerza máxima de tiro obtenida durante las evaluaciones en campo fue de 10.3 kN a una profundidad de 11.7 cm. Lo cual indica que el sensor diseñado tiene la capacidad suficiente para realizar las evaluaciones de rastras de tirón Con esta capacidad de ancho y profundidad de trabajo.

5.2 Recomendaciones

- Se requiere realizar un solo conjunto del sensor con la barra de tiro para tener mayor capacidad de jalón.
- Para la evaluación del implemento **multicultivador Eco-Bison** se requiere contar con un tractor de mayor potencia.

VI. BIBLIOGRAFÍA

ARCOS S. E. y LAUREL O. H. 1997. Diseño de un dinamómetro para medición de fuerzas en el enganche de tres puntos del tractor. Memorias VII congreso nacional de ingeniería agrícola. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

BONIFAZ DEL CARPIO, A. 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, Saltillo, Coahuila, México.

CAMPOS-MAGAÑA, S. G. 1993. Development of minimum maize planter for Mexican agriculture, unpublished PhD. Thesis, Newcastle University. England.

CAMPOS-MAGAÑA, S. G., ARAGÓN, R. A., y CADENA-ZAPATA, M. 2000. Diseño y comportamiento de tres transductores de fuerzas para la evaluación de herramienta de labranza. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola. CLIA. X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola AMIA 2000.

CADENA ZAPATA, M., GAYTAN MUÑIZ, T., ZERMEÑO GONZÁLEZ, A. 2004. Revista Agraria Vol. 1 Desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coahuila, México. Vol 1 No. 3 Septiembre-Diciembre.

COOPER, WILLIAM D., y HELFRICK, ALBERT D. 1991 Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición.

COOK, M.G., and RANOVICH, W.M. 1954. Conservation tillage for crop production in North Carolina. North Carolina Agricultural Extension Service. North Carolina State University, Raleigh, N.C. USA

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo de conservación de suelos. Roma, Italia, Cap 8 pp. 59-85.

GARNER, T.H., DODD, R. B., WOLF DAN, and PEIPER, U. M. 1988. Force analysis and application of a Three-point hitch dynamometer. Transaction of the ASAE.

GODWIN, R. J., REYNOLDS, A. J., O'DOGHERTY, M. J. and AL-GHAZAL, A. A. 1993. A Triaxial Dynamometer for Force and Moment Measurements on Tillage Implements. J. Agric. Eng. Res.

HOAG, D. L., and YOERGER, R. R. 1977. Analysis and Design of Load Rings. Trans. ASAE, 19: 995-1000.

HINOJOSA G. M. 2003. Desarrollo de un transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales en tractores categoría II Basado en el diseño Octagonal extendido. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo. Coahuila, México.

HOAG, D.L., and R.R. YOERGER. 1975. Analysis and design of load rings. Transactions of the ASAE.

HOOGMOED. W.B. 1999 Tillage for soil and water conservation in the semiarid tropic. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.

HUNT, D. 1987. Farm power and machinery management. 7th ed. Iowa State University Press.

KEPNER, R. A., BARGER, E.L. 1978 Principles of Farm Machinery. Third Edition, The AVI Publishing Company, Inc Connecticut.

- KHAN, J., GODWIN, R. J., KILGOUR, J., and BLACKMORE, B. S.** 2007. Design and Calibration of a Bi-axial Extended Octagonal Ring Transducer System for the Measurement of Tractor-implement Forces. *J. Eng. Appl.*
- MARÍN, L.O.** 2003. Desarrollo de un transductor de fuerza para la evaluación de implementos integrales a tractores categoría II basado en el diseño de vigas sometidas a esfuerzos flexionantes y torsionantes. Tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- MOO-YAM, V.M.J.** 1999. Desarrollo y evaluación de un sistema de adquisición de datos para la evaluación de implementos de labranza. Tesis, Maestría, Universidad Veracruzana, Instituto de ingeniería, Veracruz, Veracruz, México.
- MCLAUGHLIN, N. B., TESSIER, S., and GUILBERT, A.** 1998. Improved Double Extended Octagonal Ring Drawbar Transducer for 3-D Measurement. *Can. Agric. Eng.*
- NEUHOLFF, L.A.** 1959. Measuring force in two or more members with one instruments. *Agricultural Engineering.*
- OCHOA, J. G.** 2002. Manual de prueba y evaluación de arados CENEMA Chapingo, México.
- O'DOHERTY, M. J.** 1996. The Design of octagonal Ring Dynamometer. *J. Agric.Eng. Res.*
- OZUNA-GÓMEZ, C. A.** 2011. Evaluación de un transductor integral de fuerza bajo condiciones de campo. Tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

SOANE, D., and PIDGEON, J. 1975. Tillage requirements in relation to soil physical properties. Soil Science.

THOMSON, N.P., and K.J. SHINNERS. 1989. A portable instrumentation system for measuring draft and speed. Applied Engineering in Agriculture.

VARELA, V. S. 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y dibujos de patentes. Instituto tecnológico de Veracruz.

PAGINAS CONSULTADAS EN INTERNET

Biblioteca digital de la Universidad de Chile [en línea] [fecha de consulta: abril 23 de 2012]: Base de datos disponible en: <http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/villar04/parte10/01.html>.

Copyright Measurement Computing Corporation © 2013 DBK Signal Conditioning for the IOtech Daq Series. [en línea] [fecha de consulta: Abril 8 de 2013]: Base de datos disponible en: <<http://www.mccdaq.com/products/daqbk2000s.htm>>.

FAO 1997 "Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos" (Texto de manual) [en línea] [fecha de consulta: febrero 19 de 2013]: Base de datos disponible en: <<http://www.marn.gob.gt/documentos/guias/documentos/manual.pdf>>.

Manual de procedimientos para el uso de campos experimentales en la UAAAN. [en línea] [fecha de consulta: Enero 22 de 2013]: Base de datos disponible en: <http://acreditacion.uaaan.mx/1_inv/ManualCampExp2007.pdf>.

VII. ANEXOS

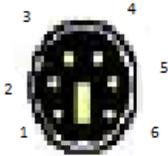
ANEXO 7.1 Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados.

Designación del material (Número AISI)	Condición	^{S_u} Resistencia a la tensión		^{S_y} Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Laminado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Estirado en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Laminado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Estirado en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Laminado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Estirado en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178
1137	Laminado en caliente	88	607	48	331	15	176
1137	Estirado en frío	98	676	82	565	10	196
1137	OQT 1300	87	600	60	414	28	174
1137	OQT 400	157	1083	136	938	5	352
1144	Laminado en caliente	94	648	51	352	15	188
1144	Estirado en frío	100	690	90	621	10	200
1144	OQT 1300	96	662	68	469	25	200
1144	OQT 400	127	876	91	627	16	277
1213	Laminado en caliente	55	379	33	228	25	110
1213	Estirado en frío	75	517	58	340	10	150
12L13	Laminado en caliente	57	393	34	234	22	114
12L13	Estirado en frío	70	483	60	414	10	140
1340	Recocido	102	703	63	434	26	207
1340	OQT 1300	100	690	75	517	25	235
1340	OQT 1000	144	993	132	910	17	363
1340	OQT 700	221	1520	197	1360	10	444
1340	OQT 400	285	1960	234	1610	8	578
3140	Recocido	95	655	67	462	25	187
3140	OQT 1300	115	792	94	648	23	233
3140	OQT 1000	152	1050	133	920	17	311
3140	OQT 700	220	1520	200	1380	13	461
3140	OQT 400	280	1930	248	1710	11	555
4130	Recocido	81	558	52	359	28	156
4130	WQT 1300	98	676	89	614	28	202
4130	WQT 1000	143	986	132	910	16	302
4130	WQT 700	208	1430	180	1240	13	415
4130	WQT 400	234	1610	197	1360	12	461
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578

ANEXO 7.2 Cableado al Dakbook 2000.

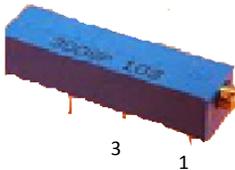
Para el acondicionamiento del cable se realizaron una serie de de conexiones para cada uno de los componentes.

Conexión a la entrada con un Mini DIN de 6 pines donde solo se ocuparon cuatro pines como se muestra el diagrama.



Cables	Pines	Habilitado	Fabrica
Azul	2	Señal 1	Negro
Naranja	3	Señal 2	Verde
negro	5	tierra	Negro
rojo	6	voltaje	Rojo

Potenciómetro nos sirve para ajustar la señal de excitación del sensor que recibimos en la pata dos es donde recibimos la señal.



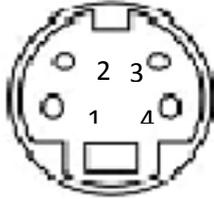
Rojo	1	voltaje
Naranja	3	señal
Negro	4	tierra
entrada		

Terminal de blocks de cuatro entradas con capacidad de 12 *mf* para la creación del cableado nos ayudo a unir en un solo punto de conexión los cables del Mini DIN y los del potenciómetro.



Rojo	1	voltaje
Azul	2	Señal 1
Naranja	3	Señal 2
Negro	4	tierra

Conector macho al unir el punto 1,3 obteníamos una ganancia de 350 Ohmios y la conexión 2,4 con una ganancia 350 Ohmios.

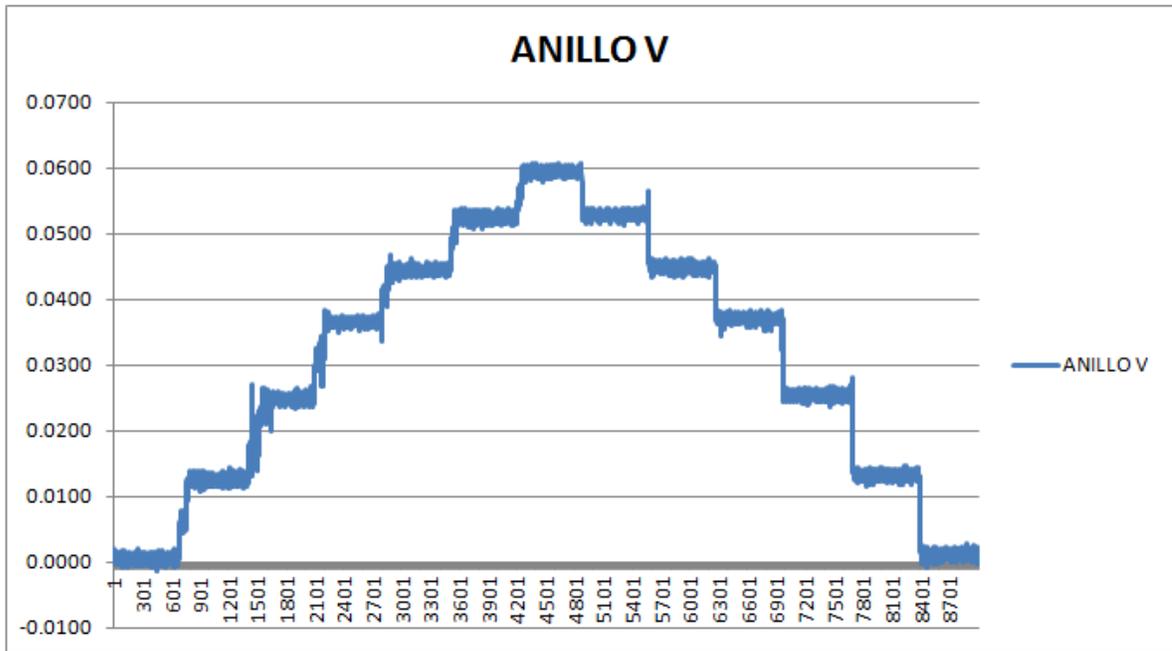


Rojo	1	voltaje
Negro	3	tierra
Naranja	4	Señal 1
Azul	2	Señal 2

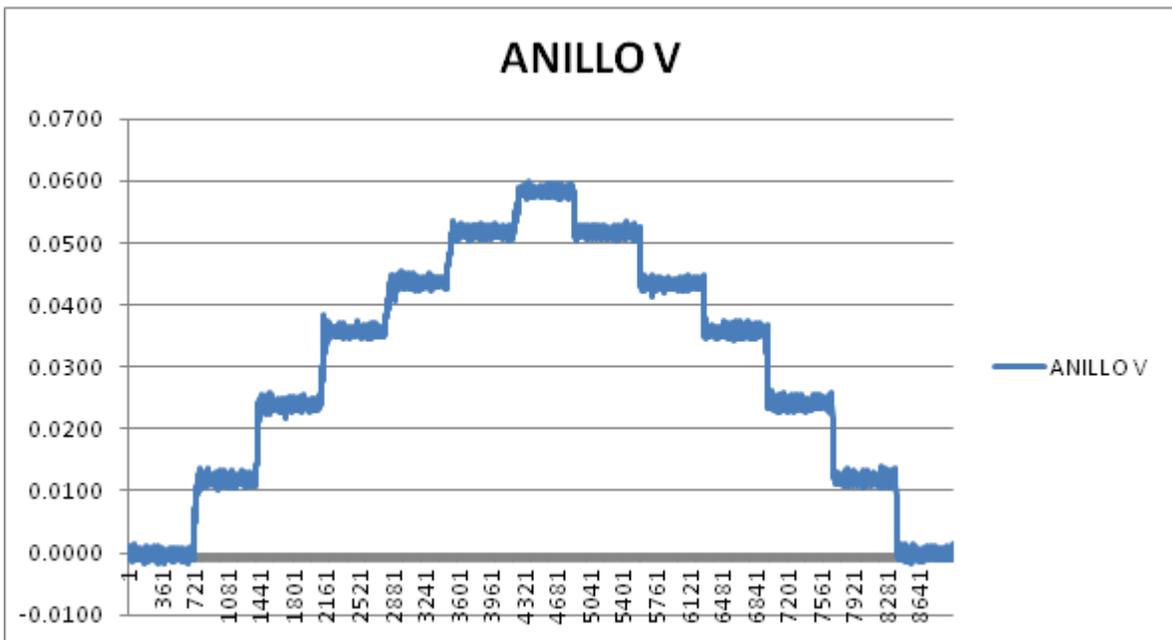
ANEXO 7. 3 Cuadro de esfuerzo máximo del sensor axial (Transductor de fuerza), pesos aplicados en N, su esfuerzo así como su factor de seguridad.

AXIAL DE ANILLO						
N	ancho	espesor	radio	esfuerzo	ep	Fs
60000	0.0815	0.0374	0.0425	5019520.36	52000000	10.3595556
65000	0.0815	0.0374	0.0425	5437813.72	52000000	9.56266667
70000	0.0815	0.0374	0.0425	5856107.08	52000000	8.87961905
75000	0.0815	0.0374	0.0425	6274400.45	52000000	8.28764444
80000	0.0815	0.0374	0.0425	6692693.81	52000000	7.76966667
85000	0.0815	0.0374	0.0425	7110987.17	52000000	7.31262745
90000	0.0815	0.0374	0.0425	7529280.54	52000000	6.90637037
95000	0.0815	0.0374	0.0425	7947573.9	52000000	6.54287719
100000	0.0815	0.0374	0.0425	8365867.26	52000000	6.21573333

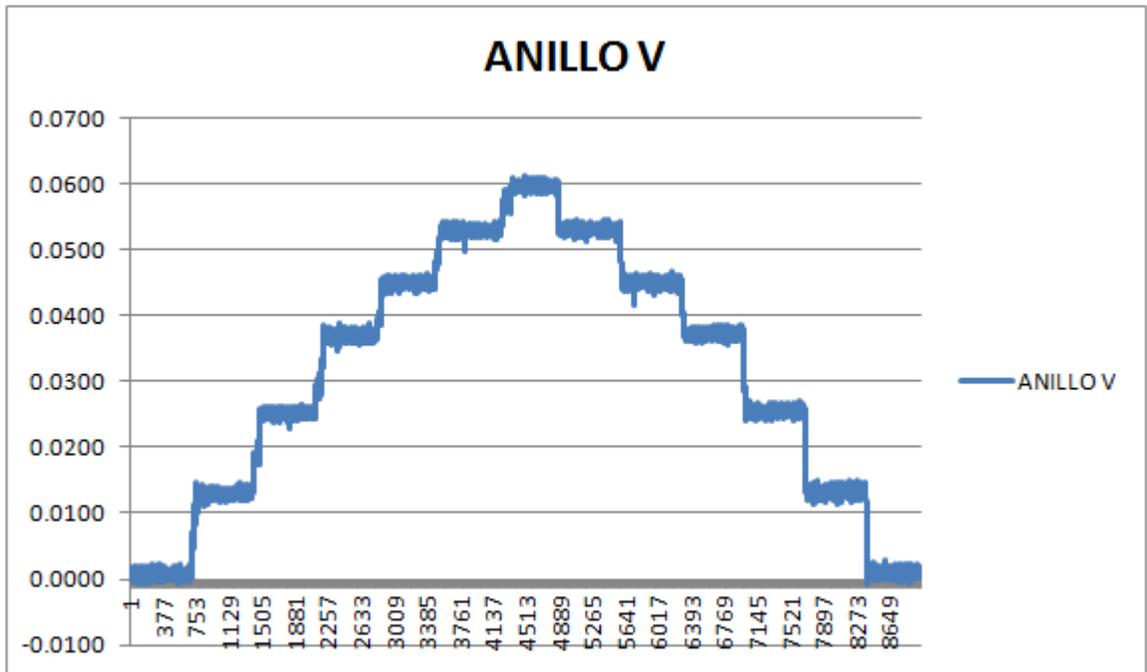
ANEXO 7.4 Gráficas escalonadas para la calibración del sensor.
Gráfica 1



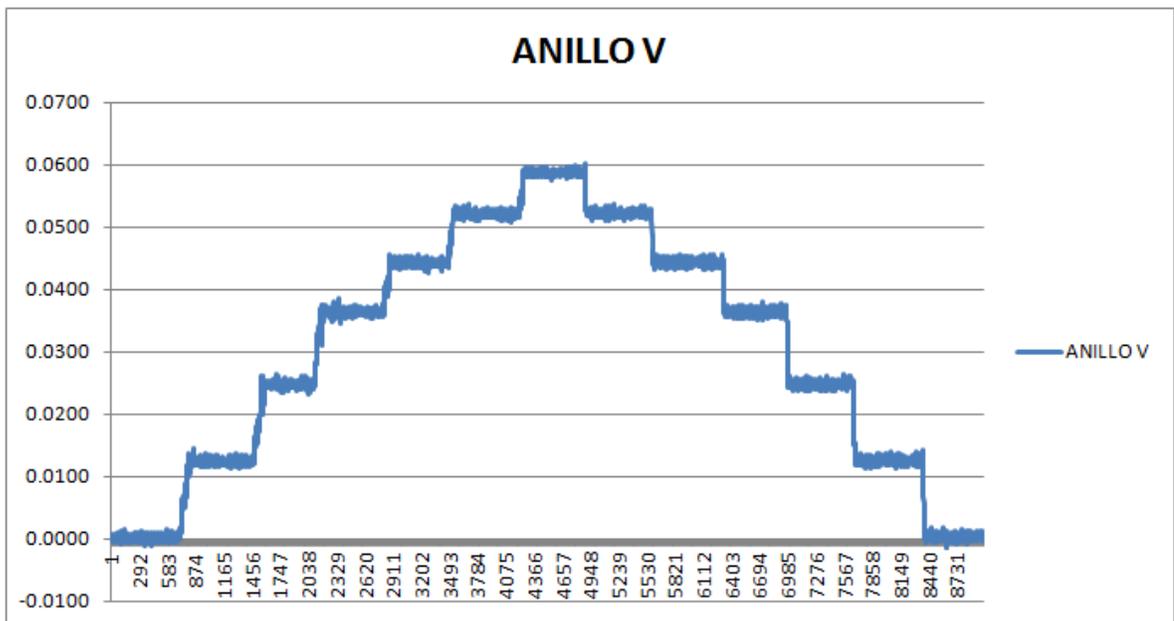
Gráfica 2



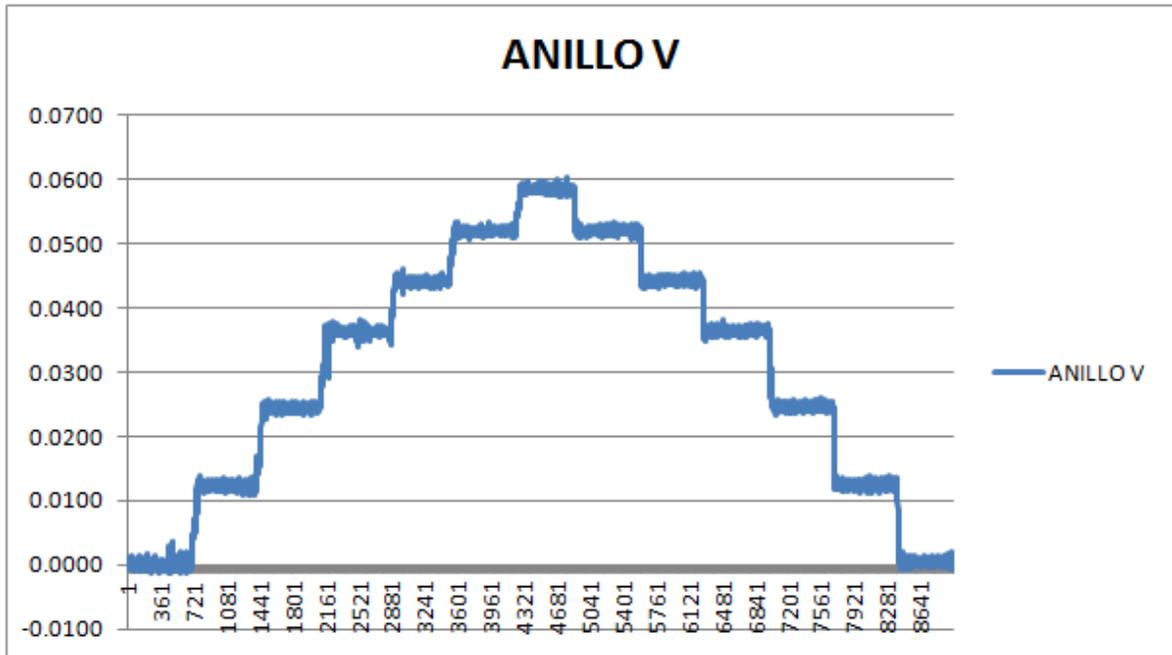
Gráfica 3



Gráfica 4



Gráfica 5



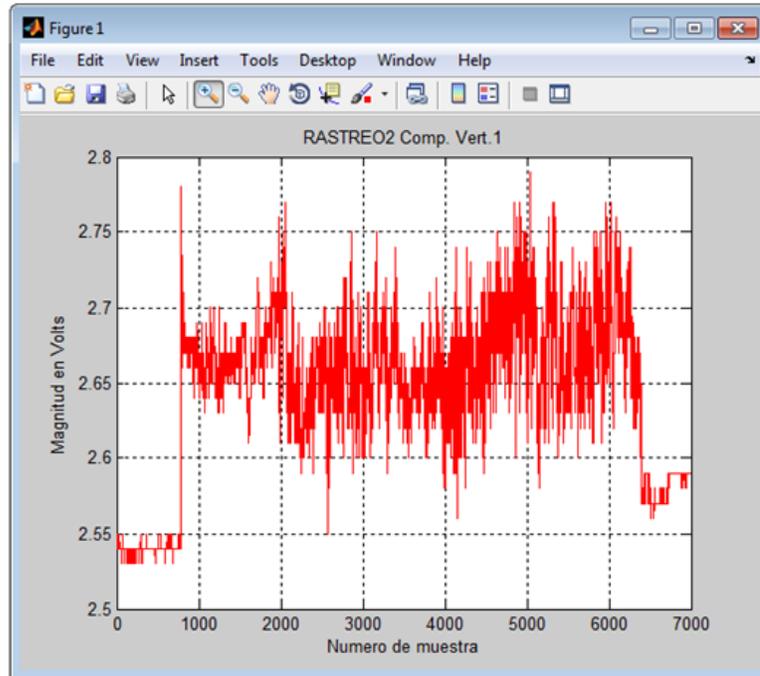
ANEXO 7.5 Cuadro. Datos obtenidos para la calibración del sensor en laboratorio.

Datos de calibración del sensor de anillo de energía con capacidad de 100 kN, para poder calcular la constante de de calibración, aquí se convierten los volts a mili volts y los pesos a fuerzas, se graficaran los newton versus mili volts

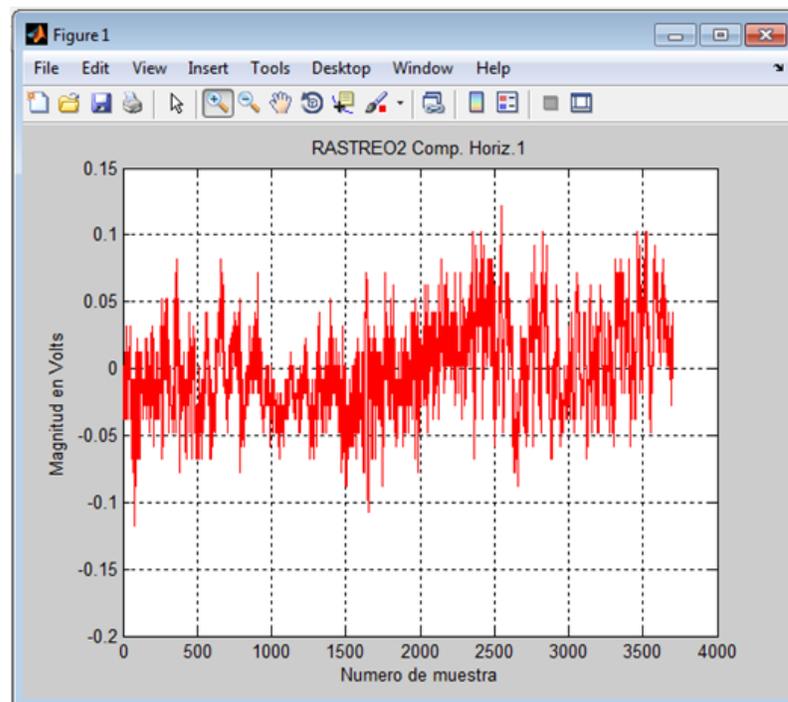
FUERZA (N)	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
0	0	0	0	0	0
441.45	11.6	12.7	13.1	12.1	13.2
882.9	24.8	23.7	25.7	24.6	24.1
1324.35	36.5	36.2	37.9	37.1	36.2
1667.7	44.3	43.8	46	45	44.3
2011.05	51.8	51.8	52.9	52.2	52.1
2305.35	59.3	58.3	59.9	58.6	59.8
2011.05	52.7	51.6	52.3	53	52.1
1667.7	44.9	43.7	45.1	45	43.5
1324.35	37	36.2	37.2	36.5	36.8
882.9	24.9	24.7	26	24.9	24.4
441.45	12.7	13	13.2	13.4	12.4
0	0	0	0	0	0

ANEXO 7.6 Graficas de datos obtenidos en campo, analizados en MatLab para la determinación de la fuerza de tiro.

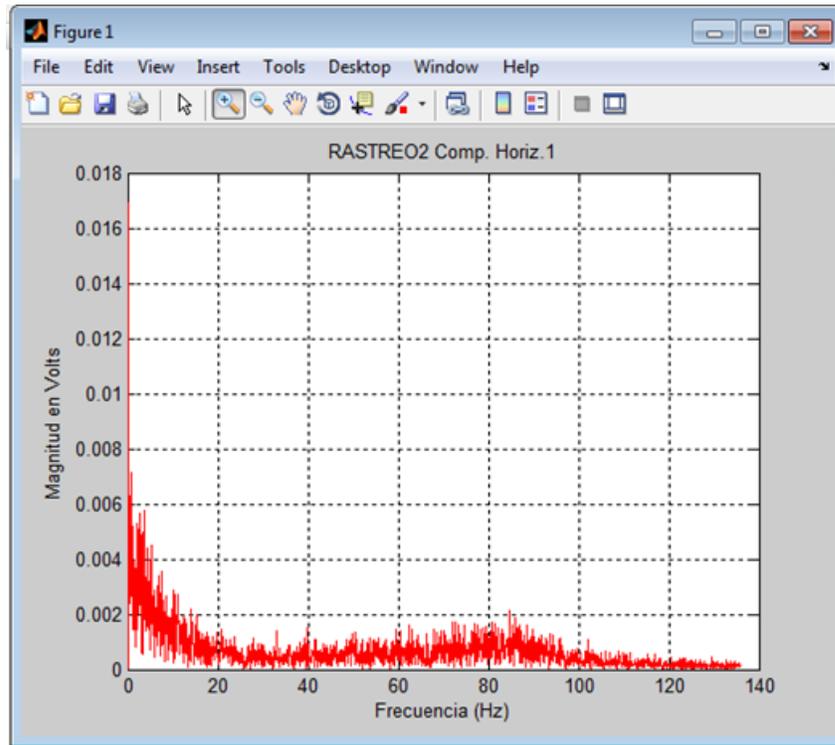
Grafica para el inicio de análisis



Grafica de ajuste de datos.



Grafica obtenida de análisis terminado.



ANEXO 7.7 Proceso de análisis de datos de campo.

A continuación se muestra la recodificación en MATLAB de programa de análisis (Mojica, 2000).

REPETICION 1

Nombre de archivo de datos sin extensión: REP01

Listo, archivo cargado

Numero de corrida (1/2) : 1

Titulo para las graficas : REPTICION1

Trabajando con la componente vertical...

Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : 2.48

Multiplicar por -1 o por 1 : 1

En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una tecla...

Posición inicial para el análisis :2000

Posición final para el análisis :6096

La media del segmento de datos es:

0.1475

Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero

Pulsa una tecla...

Ahora se obtendrán las magnitudes y frecuencias correspondientes.

Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...

Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el siguiente valor :

2049

¿ Definir nuevo rango (s/n) ? n

El valor máximo para Pn es :

0.0217

A continuación, se analizará la componente horizontal. Pulsa una tecla...

Trabajando con la componente horizontal...

Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : 2.48

Multiplicar por -1 o por 1 : 1

En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una tecla...

Posición inicial para el análisis :2000

Posición final para el análisis :6096

La media del segmento de datos es:

0.1475

Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero

Pulsa una tecla...

Ahora se obtendrán las magnitudes y frecuencias correspondientes.

Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...

Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el siguiente valor :

2049

¿ Definir nuevo rango (s/n) ? n

El valor máximo para Pn es :

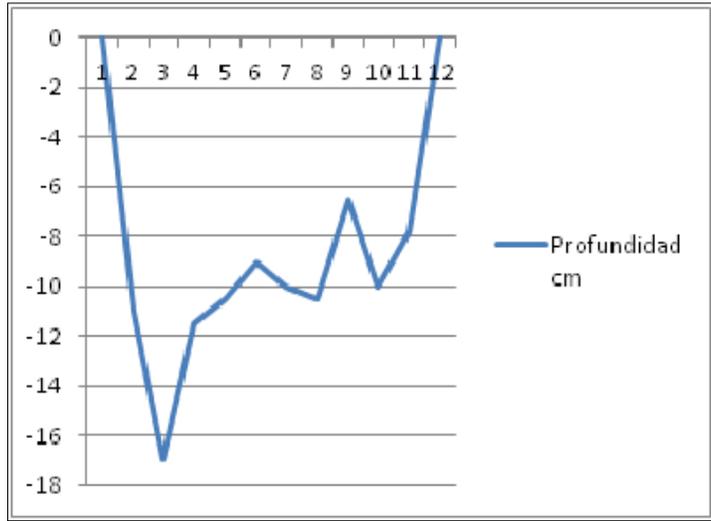
0.0217

Análisis terminado

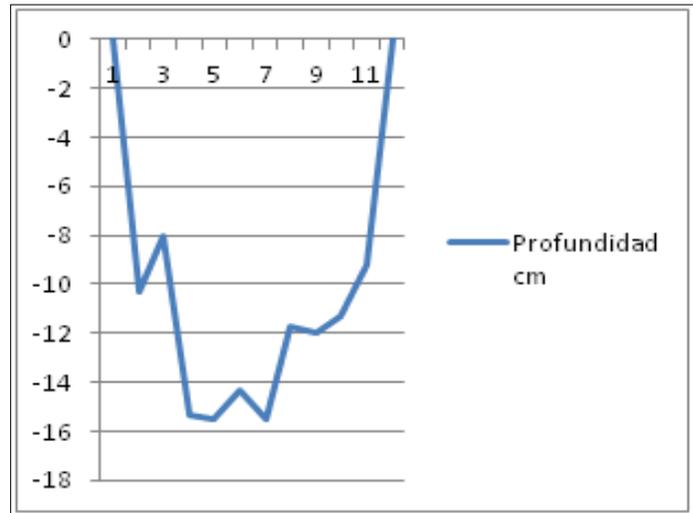
>>

ANEXO 7.8 Tablas de perfil del suelo disturbado, 2000 rpm, segunda baja 7000 datos en total.

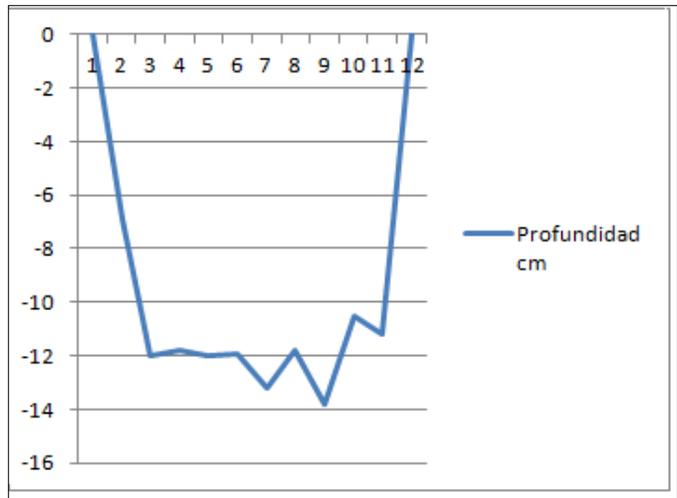
No. de muestra	Profundidad cm
0	0
1	11
2	17
3	11.5
4	10.5
5	9
6	10
7	10.5
8	6.5
9	10
10	7.8



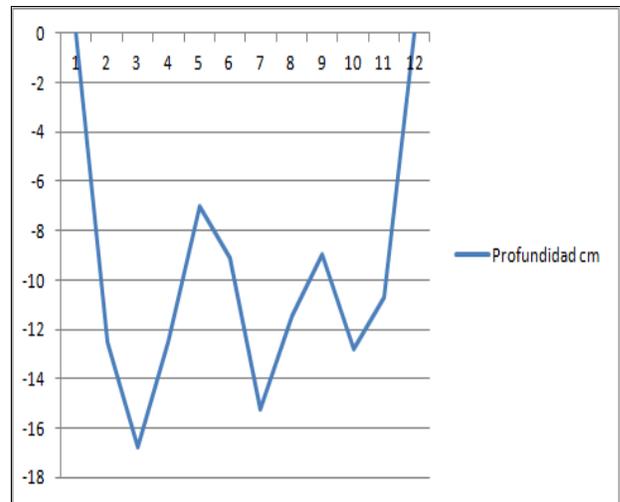
No. de muestra	Profundidad cm
0	0
1	10.3
2	8
3	15.3
4	15.5
5	14.3
6	15.5
7	11.7
8	12
9	11.3
10	9.2



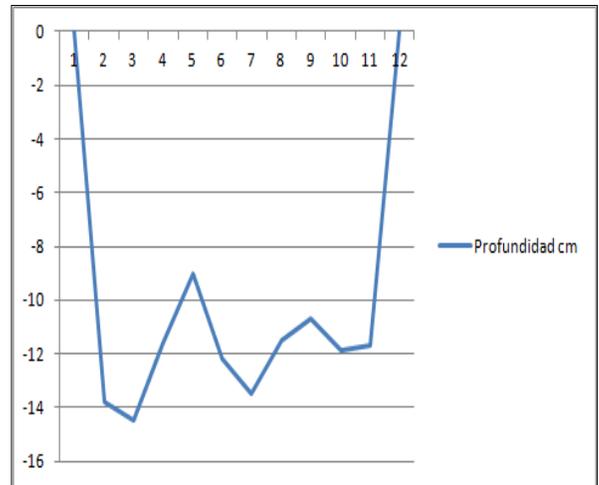
No. de muestra	Profundidad cm
0	0
1	6.9
2	12
3	11.8
4	12
5	11.9
6	13.2
7	11.8
8	13.8
9	10.5
10	11.2



No. de muestra	Profundidad cm
0	0
1	12.5
2	16.8
3	12.5
4	7
5	9.1
6	15.2
7	11.5
8	9
9	12.8
10	10.7



No. de muestra	Profundidad cm
0	0
1	13.8
2	14.5
3	11.6
4	9
5	12.2
6	13.5
7	11.5
8	10.7
9	11.9
10	11.7



No. de muestra	Profundidad cm
0	0
1	12.4
2	11
3	9.4
4	10.8
5	12
6	10.4
7	11.3
8	12.3
9	10.9
10	12.8

