

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



**Determinación de la ecuación de predicción de fuerzas actuando sobre un
dinamómetro integral para tractores de categoría II**

Por:

LUIS ENRIQUE RAMÍREZ ORTEGA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO AGRICOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Determinación de la ecuación de predicción de fuerzas actuando sobre un dinamómetro integral para tractores de categoría II

POR:

LUIS ENRIQUE RAMÍREZ ORTEGA

TESIS

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

INGENIERO MECANICO AGRICOLA

Aprobada por el comité de tesis

Asesor principal

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal

M.C. Genaro Demunier Molina

Sinodal

Ing. Héctor Emilio González Ramírez

Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"



Coordinación de la División
de Ingeniería

Coordinador de la División de Ingeniería

Dr. Luis Samaniego Moreno

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a **Dios** por darme la fortaleza necesaria para poder lograr culminar una etapa muy importante en mi vida como persona y profesionalista.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por ser la casa de estudios que me dio la oportunidad de poder alcanzar mi carrera profesional y darme las herramientas necesarias para seguir adelante día a día.

Al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña** por darme la oportunidad de realizar la tesis con él, además del apoyo incondicional en el proyecto transmitiéndome su conocimiento para cumplir los objetivos planteados.

Al **M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández** por enseñarme las herramientas que me servirían para desempeñarme tanto en mis prácticas profesionales como en este proyecto, además de ser un excelente maestro y muy buena persona.

Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández** por ser un excelente maestro y muy buena persona, del cual aprendí los valores que nos transmitía y que en la vida cotidiana son fundamentales para lograr lo que nos proponemos.

Al **M.C. Gerardo Sánchez Martínez** por enseñarme que para lograr algo se requiere dedicación y fortaleza para poder superar los obstáculos que se nos presentan. Además de darme una de las bases que hoy en día son parte de mi fortaleza y fundamentales para mi futuro.

DEDICATORIA

A mis padres el **Sr. Alejandro Ramírez Herrera** y la **Sra. Tayde Ortega Becerra** porque gracias a ustedes que me dieron la vida, en estos momentos estoy logrando un sueño, quienes me enseñaron el camino del bien, además de sus valiosos consejos que me ayudaron a lograr culminar esta etapa de mi vida. Estoy muy orgulloso de ustedes, deseo que Dios los deje muchos años más para disfrutar las cosas hermosas de la vida.

A mi tío **David Ortega Becerra** que me brindó su apoyo de manera incondicional cuando más lo necesitaba y que fue ese impulso para poder terminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

A mi esposa **Tonatzin Jazmín Torres Sánchez** que desde que llego a mi vida ha sido un gran apoyo en cada paso que doy, por haberme dado la felicidad tan grande de ser padre y con quien comparto mis triunfos y derrotas. Por preocuparse de mí en todo momento. Te amo y este logro es parte de nuestra familia.

A mi hijo **José Luis Ramírez Torres** por ser la más grande inspiración de salir adelante, mi más grande tesoro por el cual este logro es dedicado a ti. Que desde el momento en que supe que llegarías a mi vida fue una felicidad inmensa y un motor en mi vida cotidiana para lograr culminar esta etapa. Que en mis noches de estudio estabas ahí presente sentado a mi lado. Te quiero mucho no lo olvides nunca, a donde quiera que vallas.

A mis hermanos **Jonathan Ramírez Ortega** y **Alejandro Ramírez Ortega** por estar apoyándonos de manera unida como fuimos educados, que cuando los necesite de igual manera ahí estuvieron presentes, no olviden que cuando me necesiten ahí estaré para apoyarlos.

A mi abuelito **Lucas Ortega** por estar presente cuando lo necesitaba, su apoyo me fue muy importante para poder terminar mi carrera profesional. Es para mí muy bonito el poder compartir este logro.

A mi tía **Ángeles Ortega Becerra** por apoyarme en esta aventura, me sentí seguro por el apoyo que me mostro cuando se inició esta etapa de mi vida.

A mi abuelita **Ana María Becerra Becerra** por lo mucho que nos apoya como familia que somos, le agradezco su apoyo por ese gesto de su parte, su apoyo fue un impulso para poder estar culminando esta etapa.

A otras personas que me apoyaron de diferentes maneras:

Susana Herrera Merino

Sofía Cazales Bolaños

Magdalena Ortega Becerra

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	I
ÍNDICE DE CUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	V
I. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	3
II. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo General	6
2.2 Objetivos Específicos	6
III. HIPÓTESIS	6
IV. REVISION DE LITERATURA	7
4.1 Labranza	7
4.1.1 Labranza vertical	7
4.2 Tecnología de implementos	8
4.2.1 Factores de diseño y evaluación para herramientas de labranza	8
4.2.2 Fuerzas que actúan sobre una herramienta de labranza	9
4.2.3 Relación de la fuerza vertical y horizontal	11
4.3 Análisis de esfuerzos	12
4.4 Transductores de fuerza	16
4.4.1 Parámetros para la selección en el diseño de transductores	17
4.4.2 Análisis teórico del diseño de un transductor tipo Anillo	19
4.4.3 Sensor de anillo extendido	23
4.4.4 Galgas extensiométricas	23
4.4.5 Puente de Wheatstone	26
4.5 Sistema de adquisición de datos	27
V. MATERIALES Y MÉTODOS	29
5.1 Descripción de componentes y arreglos de evaluación	29
5.2 Equipo empleado para la evaluación de los sensores OAE	32
5.3 Preparación del software para capturar datos	32

5.4 Calibración directa del equipo	33
5.5 Registro de información.....	33
5.6 Análisis de información	34
VI. RESULTADOS	35
6.1 Evaluación del transductor integral	35
6.2 Ejemplo de grafica escalonada en Excel y de regresión lineal en Minitab 17.....	36
6.3 Arreglos vs constantes obtenidas de los sensores en la evaluación	37
6.4 Análisis de varianza y comparación de medias del sensor OAE verde	39
6.5 Análisis de varianza y comparación de medias del sensor OAE amarillo.....	40
6.6 Ecuación de predicción de las fuerzas en el sensor OAE verde	41
6.7 Ecuación de predicción de las fuerzas en el sensor OAE amarillo.....	42
6.8 Representación del error generado entre los brazos de palanca	43
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
VIII. BIBLIOGRAFIA	45
IX. ANEXOS.....	49
9.1 Diagrama de cuerpo libre para determinar las fuerzas el comportamiento de las fuerzas en los dinamómetros en el marco integral.....	49
9.2 Resumen de la ecuación de predicción del sensor OAE verde.....	50
9.3 Resumen de la ecuación de predicción del sensor OAE amarillo	51
9.4 Gráfica (Newton vs mV) del sensor OAE verde entre los 9 arreglos que se evaluaron estadísticamente	52
9.5 Gráfica (Newton vs mV) del sensor OAE amarillo entre los 9 arreglos que se evaluaron estadísticamente	52
9.6 Manual de DAQVIEW	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1: Determinación de fuerza de tiro en diferentes implementos integrales, (Hunt, 1983)	9
Cuadro 4.2: Media de las fuerzas y momento en un subsolador (Garner, 1988)	10
Cuadro 4.3: Rango de fuerzas de implementos (ASAE D230, 1997).....	10
Cuadro 4.4: Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento, Fc: fuerza en la barra de compresión y FT: fuerza en el tiro, Marín (2003)	11
Cuadro 4.5: Localización de los nudos de concentración de esfuerzos derivados por diferentes investigadores	22
Cuadro 5.1: Variables de posición en el marco de calibración	30
Cuadro 6.1: Voltajes de excitación y ganancia de calibración de los sensores para la fuerza horizontal (Fx).....	35
Cuadro 6.2: Arreglos y constantes obtenidas en la evaluación de los sensores OAE...	37
Cuadro 6.3: Análisis de varianza de las constantes del sensor verde.....	39
Cuadro 6.4: (A, B) Comparación de medias de la constante de calibración del sensor OAE verde.....	39
Cuadro 6.5: Análisis de varianza de las constantes del sensor amarillo	40
Cuadro 6.6: (A, B) Comparación de medias de la constante de calibración del sensor OAE amarillo	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Fuerza de arrastre de un implemento acoplado al tractor	2
Figura 1.2: Propuesta de diseño de transductor integral (Hinojosa, 2003)	4
Figura 4.1: Valor de la fuerza vertical (V) se incrementa con la velocidad (Randolph).....	12
Figura 4.2: El estado de deformación en tensión o compresión.....	13
Figura 4.3: Estado de deformación (flexión).....	14
Figura 4.4: Estado de deformación en torsión.....	16
Figura 4.5: Diagrama de adquisición y procesamiento de datos (Mojica, 2000)	17
Figura 4.6: Fuerzas actuando en un elemento del anillo	19
Figura 4.7: Transductor tipo anillo: (a) anillo liso extendido; (b) anillo octagonal extendido “EOR”, (Chen et al., 2005).....	23
Figura 4.8: Galgas extensiométricas (producto comercial, www.kiowa-ei.com)	24
Figura 4.9: Puente de Wheatstone (Godwin, 1993).....	26
Figura 4.10: Diagrama de bloques del sistema de instrumentación del tractor (Kheiralla y Azmi, 2002).....	28
Figura 5.1: Medición de parámetros para pruebas de implementos bajo condiciones de campo (Hinojosa, 2003)	29
Figura 5.2: Vista lateral con desfaseamiento del sensor OAE rojo y brazo de palanca con respecto a la barra de tiro.....	30
Figura 5.3: Vista frontal con desfaseamiento de los sensores OAE verde y amarillo con respecto a la barra de tiro.....	31
Figura 5.4: Diseño del marco de calibración en su vista tridimensional.....	31
Figura 5.5: Captura de datos de una sesión de DaqView	33
Figura 6.1: Marco integral	35
Figura 6.2: Grafica de carga y descarga de contrapesos en el marco integral.....	36
Figura 6.3: Grafica de regresión lineal Newton vs mV para obtener la constante y correlación del arreglo $a=39.0$, $v=40.7$, $r=47.9$ y $b=59.0$ del sensor verde.....	36
Figura 6.4: Ecuación de predicción del sensor verde generada en minitab 17 con una R- cuad de 97.67%	41
Figura 6.5: Ecuación de predicción del sensor amarillo generada en Minitab 17 con una R- cuad de 96.78%.	42
Figura 6.6: Error producido por el brazo de palanca.....	43

RESUMEN

Se realizó una evaluación de los sensores Octagonales de Anillo Extendido (OAE) verde, amarillo, rojo y blanco en el marco integral bajo condiciones de laboratorio para detectar el efecto que se generaba en las fuerzas de reacción en diferentes posiciones de los sensores que tienen una capacidad de 40 kN. Las tres posiciones del sensor rojo fueron de 38.6, 43.3 y 47.9 cm, para el sensor amarillo fueron de 36.7, 39.0 y 39.7 cm, y del sensor verde 36.1, 39.0 y 40.7 cm respectivamente; con un brazo de palanca posicionado a 59.0, 69.0 y 79.0 cm. Esta combinación de vectores se analizó partiendo de un origen (línea de barra de tiro). Se realizó una tabla con los arreglos posibles dando un total de 54; por cada arreglo se realizaron tres repeticiones de datos. La evaluación se realizó colocando 5 pesos (73, 73, 48, 48 y 48 kg) en la canastilla uno a uno. Por cada arreglo se obtuvieron las constantes de calibración en cada sensor realizando así un análisis de regresión lineal de N vs mV cuando los sensores verde y amarillo se encuentran equidistantes para así obtener una ecuación de predicción de las fuerzas que actúan en el octagonal verde y amarillo. En el sensor verde con el cambio de posición del sensor rojo mediante la comparación de medias de constantes adimensionales obtuvimos 14.870, 14.818 y 14.960 respectivamente, lo cual nos indica que no presenta efecto en el sensor verde. En el sensor amarillo con el cambio de posición del sensor rojo mediante la comparación de medias de constantes adimensionales se obtuvo 14.673, 14.115 y 13.540 respectivamente, las letras a, b y c nos indica que a cada cambio de posición del sensor rojo obtenemos un efecto diferente en el sensor amarillo lo cual no es adecuado debido a que se encuentra en equilibrio con el sensor verde y el efecto debe ser similar. El cambio de posición del brazo de palanca en los dos sensores presento efecto en las constantes adimensionales de 16.19, 14.82 y 13.63 en promedio debido a que son las diferentes profundidades de trabajo. Se debe verificar las condiciones en las que se encuentra el sensor amarillo y blanco debido a que registraban valores inusuales. Se obtuvo un valor de R cuadrada del 99% lo cual indica una alta correlación en los datos registrados por cada sensor.

Palabras clave: *sensores octagonales, constantes de calibración, ecuación de predicción*

I. INTRODUCCION

Debido a los altos costos de preparación o laboreo del suelo, la reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícola es un tema de gran importancia, pues contribuye al éxito económico de los mismos; para las labores de establecimiento de cultivos, actualmente se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible, esto es un factor que limita la actividad agrícola, pues reduce el costo beneficio del sistema de producción, no obstante, si se implementan cambios tecnológicos apropiados en los sistemas de producción de alimentos, se estima que se puede reducir hasta en un 50% el uso de energía fósil en los mismos (Pimentel *et al.*, 2008).

La creciente caída de la rentabilidad de la producción de granos básicos es una característica que describe los sistemas productivos de nuestro país, donde la preparación de los suelos destaca como la actividad que consume más energía o combustible y, por lo tanto, la que representa los mayores costos. El uso excesivo de la maquinaria agrícola es un indicador de la ausencia de tecnología y conocimiento, representada por la poca información en el establecimiento de los sitios, y, por tanto, ocasionando erróneas decisiones en su manejo (Reynolds, 2012).

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

En los últimos años se ha incrementado el interés por el uso eficiente de la energía, la conservación del suelo y agua, principalmente donde es escasa, lo que ha traído un cambio en actitudes con respecto a las prácticas de manejo del suelo y los residuos. Cada año se da más énfasis al uso de labranzas mínimas y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura temporal (FAO^a, 2003).

Según las investigaciones, 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, el cómo se puede incrementar la producción agrícola, la reducción de costos y de energía, optimizando sistemas de labranza de conservación y/o convencionales (Campos, 2000).

Una prioridad para la evaluación de implementos apegados a los lineamientos institucionales del Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA), como órgano rector, es contar con instrumentos para satisfacer los requerimientos de prueba de los diferentes parámetros a medir durante la evaluación del desempeño de los equipos de labranza. Una de las pruebas es la determinación de la fuerza de tiro, actualmente el método aprobado en México (Norma de Arados NMX-O-182-SCFI-2003) requiere de un dinamómetro de tiro el cual es colocado entre dos tractores, un tractor con el implemento a evaluar en posición de trabajo y otro como fuente de potencia figura (1.1).



Figura 1.1: Fuerza de arrastre de un implemento acoplado al tractor

Las empresas que se dedican a la fabricación de implementos agrícolas, en fechas recientes se han preocupado por implementar diseños óptimos y controlar la calidad de los ya existentes. Debido a que existe poco conocimiento por parte de los fabricantes acerca de las necesidades de la fuerza de tracción que requieren los implementos, así como su potencia consumida por cada implemento para efectuar su labor específica, es necesario conocer la magnitud y dirección de las fuerzas de reacción del suelo sobre el implemento, es por ello que se requiere contar con instrumentos y sensores de medición precisos de los parámetros para la evaluación de los implementos bajo condiciones de campo. El contar con los instrumentos antes mencionados, servirá para dar servicio a fabricantes de equipo agrícola, así como generar la información para el desarrollo de nuevas tecnologías que requieran menos demanda de

energía, que en un momento determinado redunde en gastos para el productor agropecuario y disminuya por un lado su capacidad económica y por consiguiente aumente su capacidad de producción del mismo (Campos, 2000).

Mediante el instrumento integral que utilizaremos se reemplaza el uso de dos tractores como se especifica en las normas, se pueden obtener resultados sumamente confiables y una reducción de costos.

1.1 Antecedentes

Tradicionalmente se emplean dinamómetros de tiro que representan un 60% de las fuerzas a medir en la evaluación de herramientas, requiriéndose para estos diseñar elementos que permitan medir tanto la fuerza de penetración (30%) y las parasitas (10%). Esto con la finalidad de contar con un instrumento integral para el desarrollo de nuevas formas de implementos que demande menor consumo de energía (Campos, 2000).

Thomson y Shinnars (1989), desarrollaron un sistema para medir fuerzas de reacción del suelo en dos direcciones, colocando 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 transductor octagonal de anillo extendido para uso en estudios de labranza (Cook and Rabinowicz, 1954) se diseñó primeramente para monitorear las dos componentes de fuerzas y el momento en el plano de estas fuerzas de reacción del suelo. Baker y Col. (1981) utilizó seis celdas de carga montados en diferentes puntos dentro de un marco, una forma de medir las fuerzas horizontales, verticales y laterales. Otro caso, (Thomas Fontain 1991, citado por Bonifaz, 2012) evaluó un sistema de transductor de platos flotantes de seis componentes, estos componentes permiten la medición de la fuerza de reacción en las tres direcciones. Sakurai (1996), señala como las fuerzas son determinadas a través de un análisis de suma de momentos en un punto de la viga, mediante el cual son determinadas cada una de las fuerzas y la dirección de la fuerza resultante (F_x, F_y, R y θ).

Godwin y Spoor citado por Campos (2000) indican que uno de los aspectos más importantes en la evaluación de nuevos diseños de herramientas de labranza, es el proceso de medición de las magnitudes de las fuerzas que actúan en dichos implementos, la característica de la falla,

así como el volumen de disturbación y sección transversal del suelo como producto de la geometría de la herramienta. 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 a 7 kN m⁻¹. Los porcentajes de sensibilidad cruzadas obtenidas para cada uno de los transductores fueron, octagonal (1.5%), viga “U” (2.3%) y placas flotantes (5.0%). La mejor respuesta fue obtenida con el transductor octagonal, seguida por la viga “U”.

Al-Jalil *et al.*, (2001), diseñaron y fabricaron un enganche de tres puntos capaz de medir tres fuerzas que actúan en el tractor-implemento en tres dimensiones, que ayudaría a diseñar herramientas de labranza y evaluar el funcionamiento del tractor.

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. Dicha propuesta se muestra en la figura (1.2).

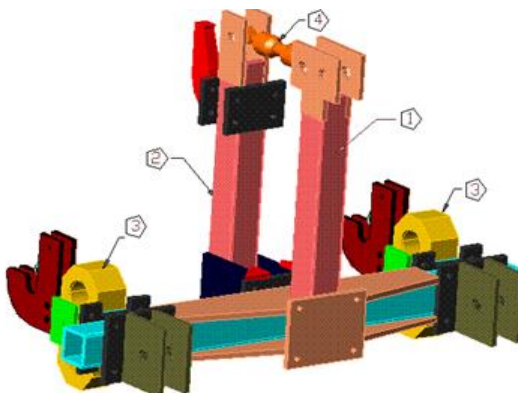


Figura 1.2: Propuesta de diseño de transductor integral (Hinojosa, 2003)

Bonifaz (2012) rediseño, construyó y evaluó un sensor integral con capacidad de 80 kN para las fuerzas horizontales y verticales, así como 70 kN de transferencia de peso. Los elementos que lo integran son tres anillos octagonales extendidos y un marco de enganche de tres puntos, categoría II. La calibración del transductor integral se hizo tanto con cargas individuales como con cargas combinadas en dos direcciones y en un plano. Los resultados de la calibración con

cargas individuales mostrados en sus ecuaciones de respuesta (N vs mV), muestran una alta linealidad con un coeficiente de correlación del 99% para ambas cargas, tanto en el plano vertical (Fy) como en el plano horizontal (Fx).

El rediseñar un transductor basado en la propuesta de Hinojosa (2003), tiene la finalidad de que pueda ser utilizado para la evaluación de implementos integrales de labranza tales como: multi-arado, arado, rastra, vibro-cultivador, sembradora, cultivadora y cualquier otro implemento integral a tractores de categoría II (40-100 HP), por lo que podrá emplearse en la determinación de la fuerza de tiro dentro del procedimiento del desarrollo de las normas de arados, rastras y sembradoras.

Para evaluar una operación de labranza en términos de utilización de la energía, la entrada real de energía de labranza por unidad de volumen se calcula a partir de la longitud de evaluación, el ancho de corte y la profundidad de aradura. La entrada de energía equivalente, determinada mediante la medición de fuerza de tracción, se divide por la entrada real de energía de labranza para obtener una relación adimensional que podría denominarse el factor de utilización de la energía (Kepner *et al.*, 1978).

Pacheco (2012) desarrolló y evaluó un transductor integral para la medición de la fuerza de tiro en un prototipo de labranza vertical con arreglos de hasta 6 cinceles con y sin alas expansoras basado en la propuesta de Hinojosa (2003), el cual está constituido por tres transductores octagonales de anillo extendido denominados Octagonal Verde (OV), Octagonal Amarillo (OA) y Octagonal Rojo (OR) cada uno con capacidad de 40 kN con un factor de correlación por encima del 99%.

Pacheco y Bonifaz, (2012) encontraron un coeficiente de variación entre el 5 y 6% en sus evaluaciones realizadas para el transductor integral, indicándonos así que es un aparato eficiente para el uso de evaluaciones en campo.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Desarrollar y evaluar un sensor integral para la medición de las fuerzas de reacción del suelo en implementos agrícolas.

2.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar una ecuación de predicción bajo condiciones de laboratorio de la magnitud y posición de las fuerzas de reacción del suelo en un sensor integral.

III. HIPÓTESIS

Es posible determinar una ecuación general de predicción de las fuerzas del suelo en el sensor integral empleando la magnitud de vectores en cada AOE.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 Labranza

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

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).

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 ^a, 2003).

4.1.1 Labranza vertical

La labranza vertical se refiere a un sistema en 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 en buena cobertura de rastrojo de más de 30% sobre la superficie, es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos del suelo, inclusive en los que tiene problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación (Agamennoni, 1996; Velásquez, 2011). La eficiencia operativa del sistema de labranza vertical es mas 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 con la labranza vertical, si se la compara con labranza convencional (Barber et al., 1993^a)

4.2 Tecnología de 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 de manifiesto solamente a través del movimiento del suelo. Con el avance de la herramienta, el suelo en esta trayectoria está sujeto a esfuerzo de compresión que, en un suelo friable, resulta ser una acción de corte. El cortado de los suelos es considerablemente diferente al cortado de muchos sólidos, esto es debido a 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.

4.2.1 Factores de diseño y evaluación para herramientas de labranza

Las fuerzas aplicadas a una herramienta de labranza para producir un efecto dado en el suelo pueden ser medidas con exactitud, pero no se puede predecir con confiabilidad los efectos de los cambios en el diseño de la herramienta. Consecuentemente, no debe ser una sorpresa saber que el diseño de los equipos de labranza es más un arte que una ciencia (Ashburner y Sims, 1984; Gill y VandenBerg, 1967; Triplett y Van Doren, 1977).

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):

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

Kepner *et al.*, (1978), menciona que el objetivo de una herramienta de labranza es manipular el suelo (cambiar, mover o formar) para modificar la condición inicial de este.

Los tres factores de diseño necesarios son:

- Condición inicial del suelo.
- Forma de la herramienta y la manera del movimiento de la herramienta.
- Controlar o definir la manipulación del suelo.

Los resultados de estos tres factores independientes de entrada son evidenciados por dos factores de salida, a saber, la condición final del suelo y las fuerzas requeridas para manipulación del mismo.

4.2.2 Fuerzas que actúan 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 estar en equilibrio, Kepner *et al.*, (1978), las cuales son:

- Las fuerzas de gravedad actuando sobre el implemento.
- Las fuerzas del suelo actuando sobre el implemento.
- Las fuerzas actuando sobre el implemento y el primer movimiento.

Clyde (1936), citado por Bonifaz (2012), subdivide el total de fuerzas de reacción del suelo dentro de las fuerzas útiles y parásitas. Él 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 o a través de una línea centro, las fuerzas del suelo útiles frecuentemente introducen un efecto rotacional. Los requerimientos de potencia, de tiro y de energía de varias máquinas de campo (Hunt, 1983), se enlistan en el cuadro (4.1).

Cuadro 4.1: Determinación de fuerza de tiro en diferentes implementos integrales, (Hunt, 1983)

Implemento	Especificación	FH (kN)	Energía o trabajo (kW h Ha ⁻¹)
Arado	3 Discos	12.649	22.1-46.1
Arado	4 Discos	16.865	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

Para un implemento en particular y condición de suelo, las fuerzas de suelo se incrementarán con la profundidad de trabajo. La resultante del peso del implemento y las fuerzas del suelo tendrán magnitud variable, dirección y posición dependiendo de la profundidad de trabajo. Dentro de las investigaciones realizadas por Garner *et al.*, (1988), y citado por Bonifaz en (2012), con pruebas realizadas con un dinamómetro integrado al tractor tirando de un arado de cinceles, determinaron magnitudes de las fuerzas y momentos a 0.30 y 0.43 m de profundidad mostradas en el cuadro (4.2).

La norma ASAE D230 (1997), reporta la fuerza de tiro funcional para los diferentes implementos de labranza. En el cuadro (4.3) se muestran los valores extremos para la determinación de la fuerza de tiro en diferentes implementos:

Cuadro 4.2: Media de las fuerzas y momento en un subsolador (Garner, 1988)

Parámetros	Profundidad 0.30 (m)	Profundidad 0.43 (m)
Fuerza de tiro (kN)	14.3	27.675
Fuerza vertical (kN)	-3.175	-9.125
Momento (kN m ⁻¹)	7.805	16.0
Fuerza en el enganche superior (kN)	15.125	23.37

Cuadro 4.3: Rango de fuerzas de implementos (ASAE D230, 1997)

Implemento	Rango de fuerzas de tiro	Variables
Arado de vertederas	7+0.049s a 2+0.013s (N cm ⁻¹)	s= Velocidad (Km h ⁻¹)
Arado de discos	5.2+0.039s a 2.4+0.045s (N cm ⁻¹)	s= Velocidad (Km h ⁻¹)
Rastra de discos	14.7M a 7.8M (N)	M= Masa (peso Kg)
Subsuelo	120-190d a 175-280d (N)	d= Profundidad
Sembradora	1100 a 800 (N/fila)	N/A

Marín e Hinojosa (2003), en una serie de evaluaciones con diferentes implementos de labranza, midieron las fuerzas de tiro en la barra de compresión, producidas por la interacción del suelo-implemento cuadro (4.4).

Cuadro 4.4: Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento, Fc: fuerza en la barra de compresión y FT: fuerza en el tiro, Marín (2003)

Implementos	Fuerza en la barra de compresión			Fuerza de tiro		
	Profundidad (m)	Fuerza media (kN)	Fuerza pico (kN)	Fuerza media (kN)	Fuerza pico (kN)	Radio entre Fc/FT
Arado	0.30	23.21	33.71	15.48	30.66	1.5
Multiarado (1 timón)	0.34	30.83	34.07	22.06	32.05	1.4
Multiarado (2 timones)	0.21	38.52	43.64	23.77	3.05	1.62
Rastra	N/A	17.05	16.24	5.39	21.92	3.16
Cultivadora	N/A	4.84	9.16	4.76	20.72	1.02
Vibrocultivador	N/A	16.46	6.73	9.84	37.78	1.67

4.2.3 Relación de la fuerza vertical y horizontal

Según Marín (2003), un arado de vertederas generalmente tiene un componente vertical actuando hacia abajo de la fuerza útil del suelo (succión). La magnitud de la fuerza específica (V) en relación a velocidad de avance del tractor (L) varía extensamente, empezando por la influencia del tipo y condición del suelo, profundidad y partes de la forma de corte o afilados y otros factores. El valor de la fuerza vertical (V) se incrementa con la velocidad como se muestra en la figura (4.1), pero con la tendencia en algunos suelos para una reducción ligera de la relación $\frac{V}{L}$. La relación $\frac{V}{L}$ de las pruebas realizadas en el ataque de los suelos esquematizadas se obtiene rangos de relación de 0.5 a 0.6 para las arenas y de 0.35 a 0.45 para limos arenosos finos. Resultados aportados por pruebas de campo de varios tipos y condiciones de suelos, presumiblemente con partes en condiciones buenas, dan rangos de relaciones $\frac{V}{L}$ de 0.1 a 0.3.

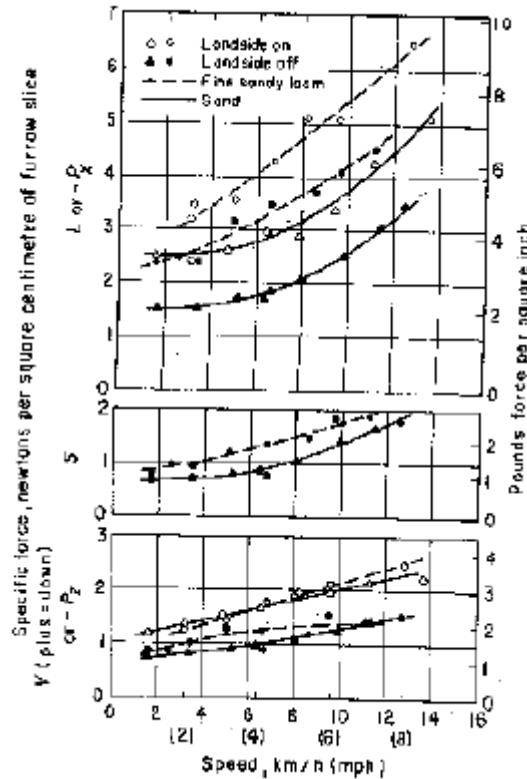


Figura 4.1: Valor de la fuerza vertical (V) se incrementa con la velocidad (Randolph)

4.3 Análisis de esfuerzos

Una medida de fuerza con alto grado de exactitud es de gran importancia en el análisis mecánico en un problema de ingeniería. En particular, la resistencia medida del suelo para varios funcionamientos de maquinaria, tal como el arado, es indispensable en la maquinaria agrícola para nuestro campo (Sakurai, 1996). Una medida general de la fuerza, en uno de los tres estados dimensionales, es explicada que permite medir no solo una magnitud y una dirección de la fuerza, sino también una posición en la línea de acción.

1. Cuando la línea de acción de la fuerza es conocida:

En este caso, tres tipos de medición para la magnitud de la fuerza son considerados, los cuales primeramente son:

- a) Tensión o compresión

El simple estado de tensión y compresión ocurre en el eje cuando la línea de acción coincide con el eje para la medición, se muestra en la figura (4.2).

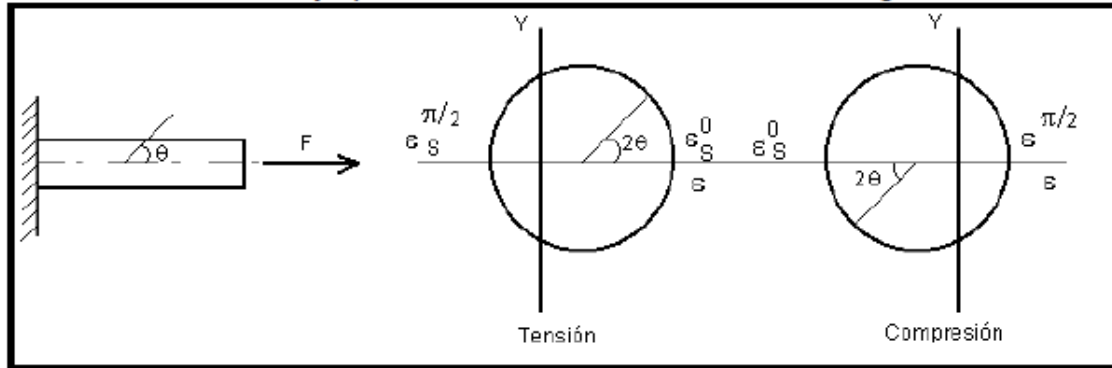


Figura 4.2: El estado de deformación en tensión o compresión

Las deformaciones máximas principales están dadas por:

$$\varepsilon_s^0 = \frac{\sigma_s^0}{E} = \frac{F}{EA} \quad (4.1)$$

$$\varepsilon_s^{\frac{\pi}{2}} = -\mu \varepsilon_s^0 \quad (4.2)$$

Donde:

$\varepsilon_s^0, \varepsilon_s^{\frac{\pi}{2}}$ = Deformación normal para $\theta=0$ y $\frac{\pi}{2}$.

σ_s^0 = Deformación normal para $\theta=0$.

θ = El ángulo medido de la línea del centro del eje a la dirección de la deformación normal ε en una dirección de las manecillas del reloj.

F= Fuerza aplicada.

A= Área de la sección transversal del eje.

E= Modulo de Young.

μ = Relación de Poisson.

El exponente y el subíndice son agregados a los esfuerzos y deformaciones para indicar las direcciones de ellos y condiciones de fuerza actuando respectivamente.

b) Flexión

Un estado de flexión ocurre en el eje cuando la línea de acción es perpendicular al eje y es interceptada en el centro como se muestra en la figura (4.3).

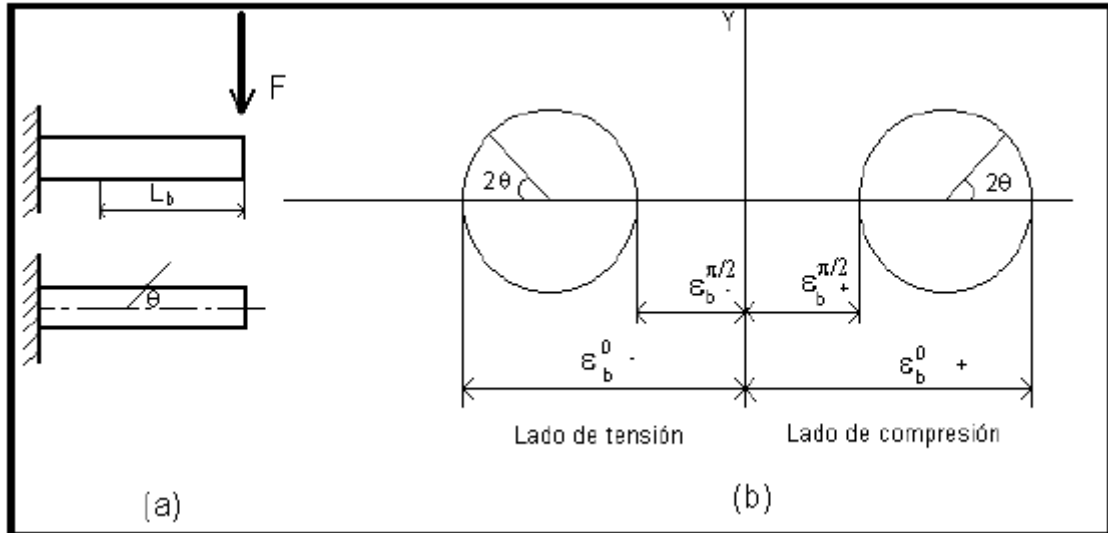


Figura 4.3: Estado de deformación (flexión)

El máximo y mínimo de deformaciones en posición aparte de la línea de acción con la distancia L_b son dados por:

$$\varepsilon_b^{0\pm} = \pm \frac{\sigma_0}{E} = \pm \frac{M}{EZ_b} = \pm \frac{FL_b}{EZ_b} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon_b^{\frac{\pi}{2}\pm} = \mu \varepsilon_b^{0\pm} = \pm \mu \frac{M}{EZ_b} = \pm \mu \frac{FL_b}{EZ_b} \quad (4.4)$$

Donde:

$\varepsilon_b^{0\pm}, \varepsilon_b^{\frac{\pi}{2}\pm}$ = Deformación normal a $\theta = 0$ y $\frac{\pi}{2}$ respectivamente, mientras el subíndice (+) y (-) son colocados para un lado máximo tensional y otro lado máximo a compresión respectivamente.

Por lo tanto, $M = FL_b$ es un momento aplicado y Z_b es un módulo de la sección dado por:

$$Z_b = \frac{2I}{d} \quad (4.5)$$

Donde:

I= Segundo momento de área

d`= Radio del eje

c) Torsión

Un estado de torsión ocurre en el eje, cuando la línea de acción no intercepta al eje y el producto escalar de vectores va en dirección de la línea del eje cero, es lo ilustrado en la figura (4.4).

Las deformaciones principales máximas y mínimas están dadas por:

$$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{2}}, \sigma_t^{\frac{\pi}{4}} = \frac{\tau_t}{G} = \frac{T_t}{GZ_p} = \frac{FL_t}{GZ_p} \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}} = -\sigma_t^{\frac{\pi}{4}} = \frac{\tau_t}{G} = -\frac{T}{GZ_p} = -\frac{FL_t}{GZ_p} \quad (4.7)$$

Donde:

$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{2}}, \varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}}$ = Deformación normal a $\theta=\frac{\pi}{4}$ y $-\frac{\pi}{4}$ respectivamente.

$\sigma_t^{\frac{\pi}{4}}$ = Esfuerzo normal a $\theta=\frac{\pi}{4}$

G= Modulo de elasticidad.

T_t = Torsión que aplica al eje.

L_t = Distancia entre la línea de acción y el eje.

Z_p = Momento polar de inercia de área.

Más allá, referenciado a la figura (4.4), una deformación para el ángulo θ arbitrario se representa por:

$$\varepsilon_t = \frac{FL_t}{GZ_p} \sin 2\theta \quad (4.8)$$

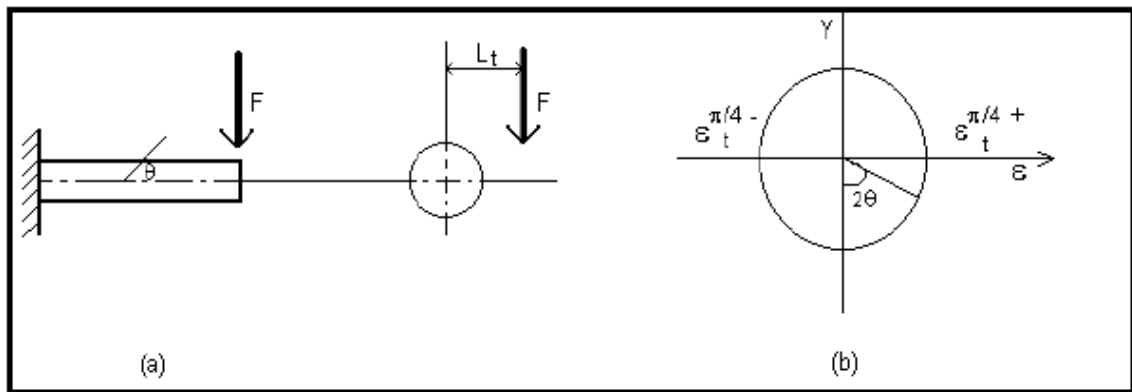


Figura 4.4: Estado de deformación en torsión

4.4 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 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 la fuerza aplicada. Estos 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).

Korkut (2003), desarrolló un dinamómetro para medir las componentes de fuerza durante el corte de un metal en tres direcciones y se encontró que el dinamómetro puede utilizarse de manera fiable para la medición de fuerzas de corte. Khan *et al.* (2007), diseño 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 en una señal eléctrica, ya que esta 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. La figura (4.5) representa los componentes de los sistemas de medición descritos.

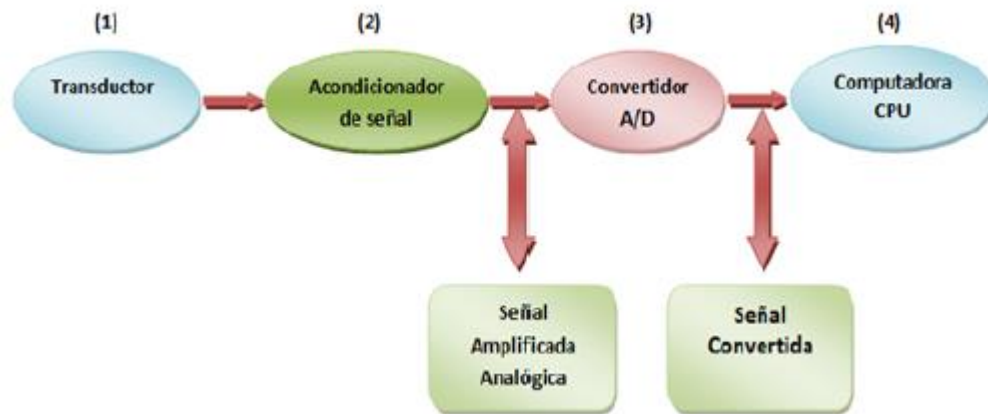


Figura 4.5: Diagrama de adquisición y procesamiento de datos (Mojica, 2000)

Mojica (2000), describe que un transductor es un dispositivo que ha sido diseñado para reaccionar ante un estímulo físico y proporcionar una salida que puede ser un desplazamiento o por lo regular un voltaje, que posteriormente puede ser comparado o analizado dependiendo de los requerimientos del sistema donde se utiliza.

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.

4.4.1 Parámetros para la selección en el diseño de transductores

La necesidad de conocer con precisión la magnitud y dirección de las fuerzas de reacción del suelo, que actúan sobre un implemento en particular para su diseño óptimo, requiere el uso de transductores para medir dichos parámetros, los cuales se han diseñado para medir las fuerzas de tiro, fuerza vertical para herramientas de geometría simétrica, ya que de acuerdo a la teoría de falla de suelo son los componentes de interés. También existe una tercera fuerza de interés para elementos de geometría no simétrica como es la fuerza lateral. Uno de los transductores

más apropiados para determinar las fuerzas de reacción del suelo en los implementos de labranza es el transductor octagonal de anillo extendido, que tienen las ventajas sobre otros comúnmente empleados en la evaluación de equipos de labranza (Campos, 1993).

- a) Sensitividad alta y predecible sin desviaciones grandes.
- b) La sensitividad cruzada insignificante.
- c) No detecta fuerzas parásitas originadas por la fricción.
- d) Tamaño relativamente pequeño.
- e) Respuesta lineal.
- f) Precisa determinación de la magnitud de las fuerzas no importando la localización de las mismas.
- g) Detecta las fuerzas en un plano, además del momento resultante con un solo transductor.
- h) Detecta los cambios de dirección de las fuerzas.

Cuando un elemento de maquinaria se somete a una fuerza, este sufre una deformación proporcional a la fuerza aplicada. La deformación puede ser causada por una carga axial, por una torsión o por un momento. Esta deformación puede ser medida para conocer la fuerza que está actuando sobre el elemento, esta fuerza es sensada mediante galgas extensiométricas. Las galgas extensiométricas pueden ser utilizadas para transformar esta deformación en valores de voltaje, estas son adheridas al material en el cual se desea conocer la fuerza aplicada, al deformarse el material, la galga aumentaría o disminuiría su longitud junto con el material, variando así su resistencia (Mojica, 2000).

Por lo tanto, para los transductores de fuerza, se necesita un elemento elástico que transmita la fuerza en deformación. El material para construir los transductores de fuerza debe tener las siguientes características: rigidez elevada, carga de ruptura elevada, límite elástico y módulo de elasticidad bajo. Y para la elección de las galgas de deformación se consideran los siguientes factores: longitud de carga, factor de salida de galga, temperatura característica, deslizamiento característico, endurecimiento y bajo costo (Moo, 1999).

4.4.2 Análisis teórico del diseño de un transductor tipo Anillo

Un análisis teórico de la aplicación del anillo extendido del transductor octagonal fue desarrollado por Cook *et al.* (1963) citado por Varela, (2000) esto es basado en el análisis de la energía elástica de un anillo usado como una celda de carga. En la figura (4.6) se muestra las fuerzas actuando en un elemento del anillo; donde el momento flexionante ($M\theta$) a cualquier punto en el anillo es calculado y determinado por la ecuación (4.9).

$$M\theta = \frac{1}{2}Fx * r \left(\text{sen}\theta - \frac{2}{\pi} \right) - Fy * r * \text{cos}\theta \quad (4.9)$$

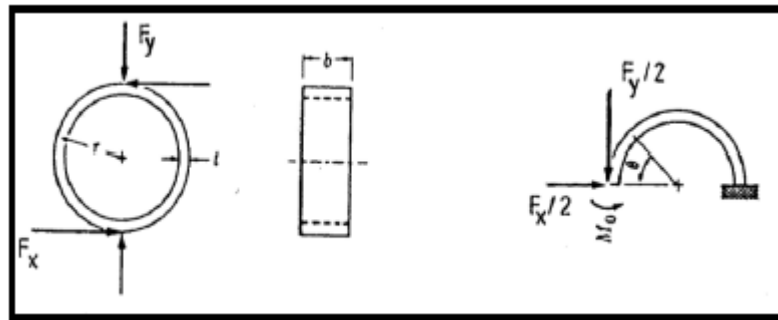


Figura 4.6: Fuerzas actuando en un elemento del anillo

La colocación del nodo para cada fuerza individual involucrada en el elemento del anillo se encuentra cuando el momento producido por $\frac{1}{2}Fx$ se vuelve cero y esto es verdadero cuando $\text{sen}\theta = \frac{2}{\pi}$, $\theta = 39.6^\circ$. El momento debido a $\frac{1}{2}Fy$ es cero cuando $\text{cos}\theta = 0$, ($\theta = 90^\circ$).

Como resultado de este análisis, las dos colocaciones de nodo de deformación son: ($\theta = 39.6^\circ$) para la fuerza (Fx) y ($\theta = 90^\circ$) para la fuerza (Fy). La deformación esperada (ϵ), producida por el momento en el anillo de carga se obtuvo y está dado por las siguientes ecuaciones:

$$\epsilon_{39.6^\circ} = \frac{2.31Fyr}{Ebt^2} \quad (4.10)$$

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{1.09Fxr}{Ebt^2} \quad (4.11)$$

Para propósitos prácticos, principalmente para evitar la rotación del anillo debido a la fuerza vertical (Fy), una versión extendida del anillo fue sugerida por Cook *et al.* (1963), citado por Varela (2000), fue encontrado que, con esta modificación práctica, el anillo de carga, la

colocación del nodo de deformación para la fuerza horizontal cambiaba a ($\theta = 50^\circ$) pero permanecía a ($\theta = 90^\circ$), debido a eso se generaron las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon_{50^\circ} = \frac{1.4Fyr}{Ebt^2} \quad (4.12)$$

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{0.7Fxr}{Ebt^2} \quad (4.13)$$

Como resultado del análisis de esfuerzo- deformación de los anillos extendidos, (Cook *et al.* 1963), derivó la ecuación (4.14) que envuelve la relación sensibilidad del momento flexionante-rigidez. Esta ecuación es básica para el diseño de cualquier tamaño de anillo octagonal extendido.

$$K = 6.626 - 19.63Ms + 21.142Ms^2 - 8.699Ms \quad (4.14)$$

Esta ecuación da la relación básica para el diseño del anillo extendido donde los términos ($Ms = \frac{\varepsilon Ebt^2}{M}$) y ($K = \frac{L}{r}$) son la sensibilidad del momento sensitivo (Ms) y la rigidez respectivamente (K).

Una contribución importante al diseño de los anillos extendidos fue dada por Godwin (1975), el determinó que para emplear estos transductores en la evaluación de implementos de labranza era necesario insertar dos platos separadores, uno entre el montaje y transductor, el otro entre el traductor y el implemento. Esto fue necesario para eliminar el cruzamiento de sensibilidades cuando las galgas extensiométricas fueron localizadas a: $\theta = 50^\circ$ para Fy y $\theta = 90^\circ$ para Fx , determinando su nueva localización y sensibilidades en forma experimental ($\theta = 34^\circ$ para Fy y $\theta = 90^\circ$ para Fx).

Las sensibilidades experimentales determinadas por Godwin (1975), son dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{1.5Fyr}{Ebt^2} \quad (4.15)$$

$$\varepsilon_{34^\circ} = \frac{1.66Fxr}{Ebt^2} \quad (4.16)$$

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 $\left\{\frac{\epsilon}{S}\{x, y\}\right\}$. Esta relación representa la cantidad de deformación por unidad de desplazamiento relativo del anillo del fondo medio. La relación $\left\{\frac{\epsilon}{S}\right\}$ puede ser expresada como una función de las dimensiones principales del anillo $\{t, r \text{ y } b\}$ y están dadas por la ecuación (4.17).

$$\frac{\epsilon}{Sx} = 0.60 \frac{t}{r^2} \quad (4.17)$$

Para obtener la máxima ejecución del anillo en la tensión del desplazamiento, sugirió Hoag (1977), citado por Varela (2000,) que la relación $\frac{t}{r^2}$ 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, esto puede verse en la ecuación (4.18).

$$\left\{\frac{t}{r^2}\right\} = \frac{M}{\sigma \max t r^2 b} \quad (4.18)$$

La ecuación anterior puede verse que para mejorar la relación de $\left\{\frac{\epsilon}{Sx}\right\}$, estos deben ser valores relativamente pequeños de $\{t, r \text{ y } b\}$.

Godwin *et al.* (1993), diseñaron un dinamómetro para medir las fuerzas y momentos que actúan sobre implementos de labranza. El diseño fue basado en dos anillos octagonales extendidos montados “espalda con espalda” o “espaldas no discretas” arreglados con sus ejes longitudinales en ángulos correctos, estos anillos se encontraban montados en un plato cada uno con la finalidad de ser colocado ante el tándem del implemento y así poder ser transportados, también se encontraban montados sobre un tubo con el propósito de medir las fuerzas que ocasiona un par o una fuerza lateral a un implemento. Mediante su investigación encontraron la posición óptima para el montaje de galgas extensiométricas y fue de 22.5° considerando que es una modificación apropiada para la teoría de un anillo delgado. Las sensibilidades experimentales determinadas por Godwin (1993), son dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\epsilon_{22.5^\circ} = \frac{2.66Fxr}{Ebt^2} \quad (4.19)$$

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{1.13Fyr}{Ebt^2} \quad (4.20)$$

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. Campos demostró que existe un efecto de la longitud del plato sobre la localización de los nudos de deformación, (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 derivó realizar una determinación experimental de las dimensiones apropiadas del plato, así como su efecto de 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 $\theta = \frac{391}{4^\circ}$ y se encontró que las sensibilidades para cada nudo de deformación fueron:

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{2.12F_x r}{Ebt^2} \quad (4.21)$$

$$\varepsilon_{39.25^\circ} = \frac{2.24F_y r}{Ebt^2} \quad (4.22)$$

En el cuadro (4.5) se muestra una de las diferentes situaciones de nudo en deformación del anillo extendido en los transductores, como resultado de fuerzas horizontales y verticales aplicadas, y sus respectivas sensibilidades derivadas por investigadores diferentes.

Cuadro 4.5: Localización de los nudos de concentración de esfuerzos derivados por diferentes investigadores

SITUACIÓN DE NUDO DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS (θ)			PROPUESTA DE LOS DIFERENTES AUTORES	
NUDO			SENSITIVIDADES (ε)	
	θF_y	θF_x	F_x	F_y
Anillo de carga (Cook, 1963)	90°	39.6°	$\frac{1.09F_x r}{Ebt^2}$	$\frac{2.31F_y r}{Ebt^2}$
Anillo exterior (Cook, 1963)	90°	50°	$\frac{0.7F_x r}{Ebt^2}$	$\frac{1.4F_y r}{Ebt^2}$
Godwin (1975)		90°	$\frac{1.5F_x r}{Ebt^2}$	$\frac{1.4F_y r}{Ebt^2}$
Anillos espaldas no discretas (Godwin, 1993)	90°	22.5°	$\frac{2.66F_x r}{Ebt^2}$	$\frac{1.13F_y r}{Ebt^2}$

Campos (1992)	90°	39.25°	$\frac{2.12Fxr}{Ebt^2}$	$\frac{2.24Fyr}{Ebt^2}$
------------------	-----	--------	-------------------------	-------------------------

4.4.3 Sensor de anillo extendido

Los transductores octagonales de anillo extendido han sido desarrollados como se muestran en la figura (4.7); 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).

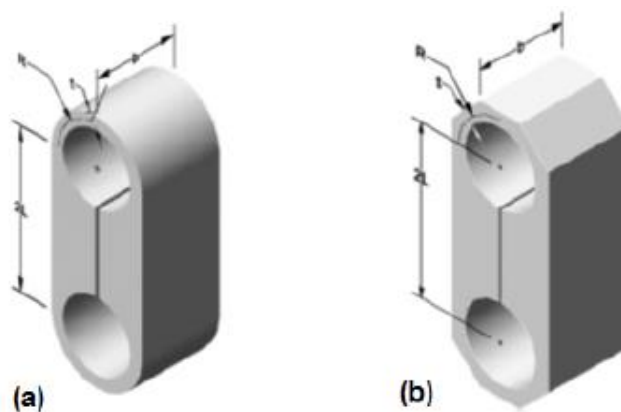


Figura 4.7: Transductor tipo anillo: (a) anillo liso extendido; (b) anillo octagonal extendido “EOR”, (Chen *et al.*, 2005)

La idea de emplear anillos octagonales extendidos (EOR’s 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 de límites utilizando el método de tensión de energía.

4.4.4 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 dinamómetros muy pequeños o grabado en laminillas metálicas delgadas figura (4.8). 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 y Helfrick, 1991).

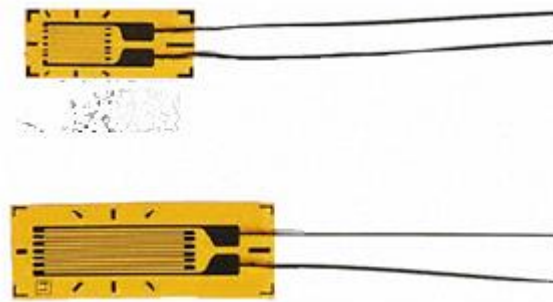


Figura 4.8: Galgas extensiométricas (producto comercial, www.kiowa-ei.com)

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

$$\varepsilon = \frac{dL}{L} = \frac{\sigma}{E} \quad (4.23)$$

Donde:

ε = Deformación

L = Longitud original

dL = Cambio en longitud debido a la deformación

σ = Esfuerzo

E = Modulo de elasticidad

Según la ecuación (4.23) puede decirse, que la tensión es obtenida por la determinación de la deformación en la región elástica. Aunque hay varios métodos para determinar la deformación, se usan ampliamente las galgas para medir la deformación, porque la tecnología de usar métodos de galgas extensiométricas es la simplicidad de manejo y su alta precisión. Cuando la deformación ocurre, la resistencia eléctrica de una galga cambia y esto se ilustra en la ecuación siguiente (4.24).

$$\frac{dR}{L} = K\varepsilon \quad (4.24)$$

Donde:

R = Resistencia sin deformación

dL = Incremento de la resistencia sin deformación

K = Número fijo proporcional

ε = Deformación

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

$$R = \rho * \frac{L}{A} \quad (4.25)$$

Donde:

ρ = Resistividad

L = Longitud

A = Área de la sección

Vaughan (1975), menciona que una viga bajo una carga de tensión simple, ésta incrementa 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 varía de material a material. Este usualmente es sobre 0.3, así que la deformación medida perpendicularmente a la carga será aproximadamente 0.3 veces la deformación paralela a la carga.

4.4.5 Puente de Wheatstone

Es un dispositivo eléctrico que normalmente es usado para medir $K = \frac{dR}{R}$ 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 (4.9). El puente de Wheatstone puede determinar lecturas de galgas de tensión dinámica y estática. El voltaje de excitación puede ser CA o DC.

De esto se puede desprender la ecuación (4.26).

$$V = \frac{U * FG * n * \varepsilon}{4} * Gain \quad (4.26)$$

Donde:

V = Voltaje de salida esperado.

U = Voltaje de excitación.

n = Número de galgas activas.

ε = Deformación.

FG = Factor de galga.

$Gain$ = Ganancia.

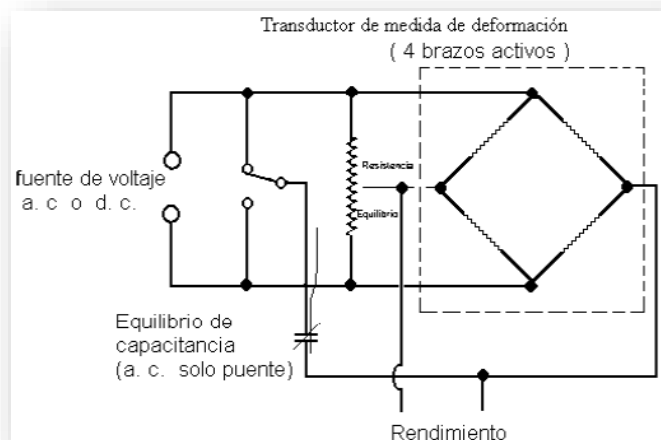


Figura 4.9: Puente de Wheatstone (Godwin, 1993)

4.5 Sistema de adquisición de datos

Rogers y Johnson (1953), indican la necesidad del procesamiento de datos de fuerzas que actúan sobre los implementos. Ellos usaron un cilindro de simple efecto para los brazos del enganche de tres puntos. Las líneas de presión de estos cilindros fueron ruta para las galgas montadas sobre un equipo. Durante la operación de este sistema el equipo fue fotografiado por una cámara de video de 16 cuadros. Aparentemente el procesamiento de datos para las fuerzas fue obtenido de un análisis foto por foto de la filmación. Ellos fueron capaces de grabar las fuerzas en intervalos de distancias de 0.05 m en el campo. Neuholff (1959), describe la técnica de cómo se puede usar un analizador de deformación y registrarla para medir la suma de dos fuerzas simultáneamente.

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 incluyen transductor 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 (2000), desarrollo un sistema de adquisición de datos de laboratorio y campo que permite evaluar el desempeño de los implementos de labranza, además muestra el diseño de medidores de velocidad y desplazamiento. Campos (1993) menciona que dentro de la adquisición de datos de laboratorio comprende de un tanque de suelos el cual el sistema y los transductores se adaptan a este. Y para el análisis de información proveniente de los procesos de muestreo (conversión analógica a digital) utilizo la metodología del algoritmo de la transformada de Fourier para la adaptación de la potencia espectral.

Kheiralla y Azmi (2002), desarrollaron un sistema completo de adquisición de datos de instrumentación y fue desarrollado e instalado en un tractor Massey Ferguson 3060, tractor agrícola para poder mapear la energía y la demanda energética en la operación de campos agrícolas de Malasia. El sistema de instrumentación es capaz de medir y visualizar información sobre la velocidad del motor, la velocidad de toma de fuerza, velocidad de avance, deslizamiento de ruedas de accionamiento, acres trabajado, el consumo de

combustible por hora, el consumo de combustible por hectárea, acres por hora, factor de costo, combustible consumido, el combustible restante y la distancia. Los ensayos de campo muestran que el sistema es capaz de funcionar con éxito sin dar mucho problema. Todos los sensores son capaces de escanear y grabar el registro de datos en los entornos hostiles de campo. En la figura (4.10) se muestra el diagrama de bloques en donde se ven los componentes del sistema de adquisición de datos.

Pacheco y Bonifaz (2012), encontraron un error entre el 5 y 6% en sus evaluaciones realizadas para el transductor integral, indicándonos así que es un aparato eficiente para el uso de evaluaciones en campo.

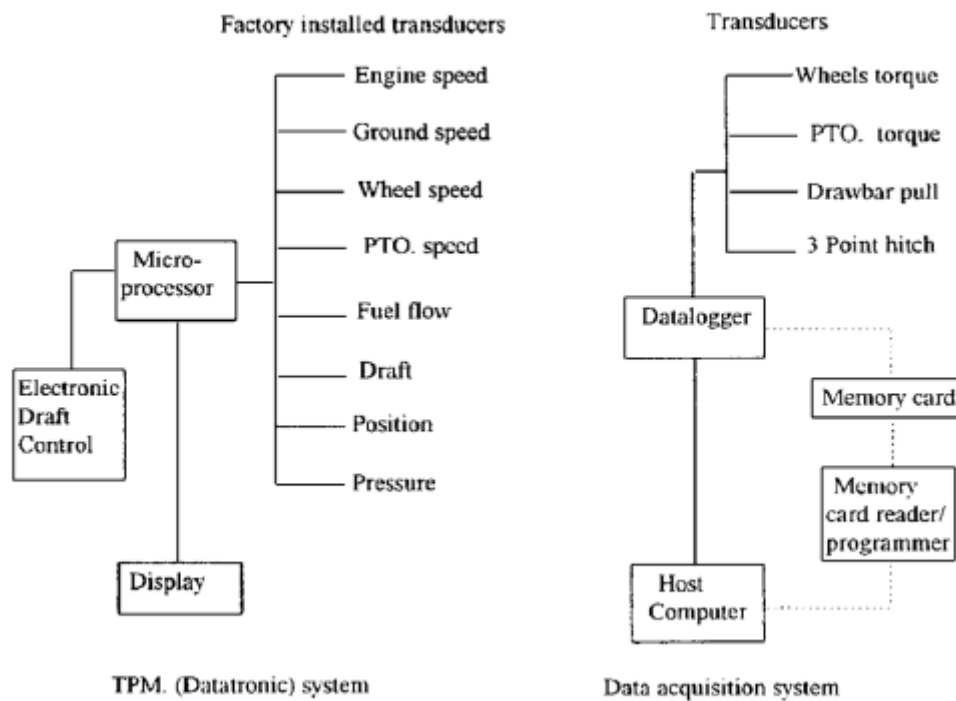


Figura 4.10: Diagrama de bloques del sistema de instrumentación del tractor (Kheiralla y Azmi, 2002)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Los fines de evaluación y diseño de un implemento agrícola integrado al tractor comienzan a partir del análisis de fuerzas de reacción del suelo sobre los implementos. El proceso de este análisis puede apreciarse en la figura (5.1).

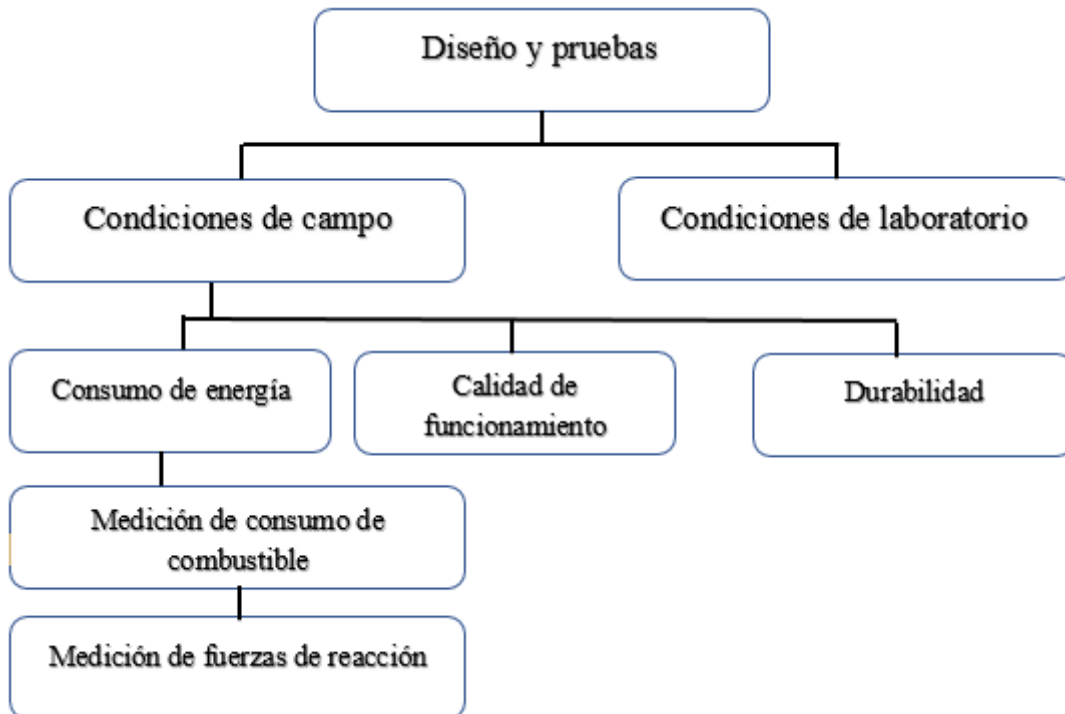


Figura 5.1: Medición de parámetros para pruebas de implementos bajo condiciones de campo (Hinojosa, 2003)

5.1 Descripción de componentes y arreglos de evaluación

Este trabajo se realizó bajo condiciones de laboratorio en donde se montó la estructura flotante en el marco de calibración para poder colocar los sensores OAE y posteriormente los componentes de la parte superior donde va empotrado el brazo de palanca y como consecuencia la canastilla de los contrapesos. Las pruebas se hicieron aplicando una carga escalonada de 5 niveles (73, 73, 48, 48 y 48 kg) y con un desfase en el brazo de palanca de (0.59, 0.69 y 0.79 m) respectivamente.

Los sensores OAE (verde y amarillo) forman una corredera de 10 cm entre la rótula, el perno y la estructura superior, en cada uno de ellos se consideraron 3 posiciones que son sus extremos y su centro respectivamente, el sensor OAE (rojo) dispone en la estructura flotante de una

corredera de 12 cm en la cual el sensor se moverá en tres posiciones, es decir, a sus extremos y en el centro.

Los arreglos están compuestos por la combinación de posiciones (distancias respecto a la línea de barra de tiro), esto con la finalidad de analizar el comportamiento de la fuerza ejercida en los sensores con el cambio dirección de los vectores.

Por cada arreglo se realizaron tres repeticiones con la finalidad de verificar resultados y tener una mayor precisión en la información obtenida.

Cuadro 5.1: Variables de posición en el marco de calibración

Distancias respecto a la línea de barra de tiro (cm)			
Brazo de palanca (b)	Sensor amarillo (a)	Sensor verde (v)	Sensor rojo (r)
59.0	36.7	36.1	38.8
69.0	39.0	39.0	43.3
79.0	39.7	40.7	47.9

El origen de donde parten las distancias de posición de los vectores y el desfase de los sensores se muestran en la Figura 5.2 y 5.3.

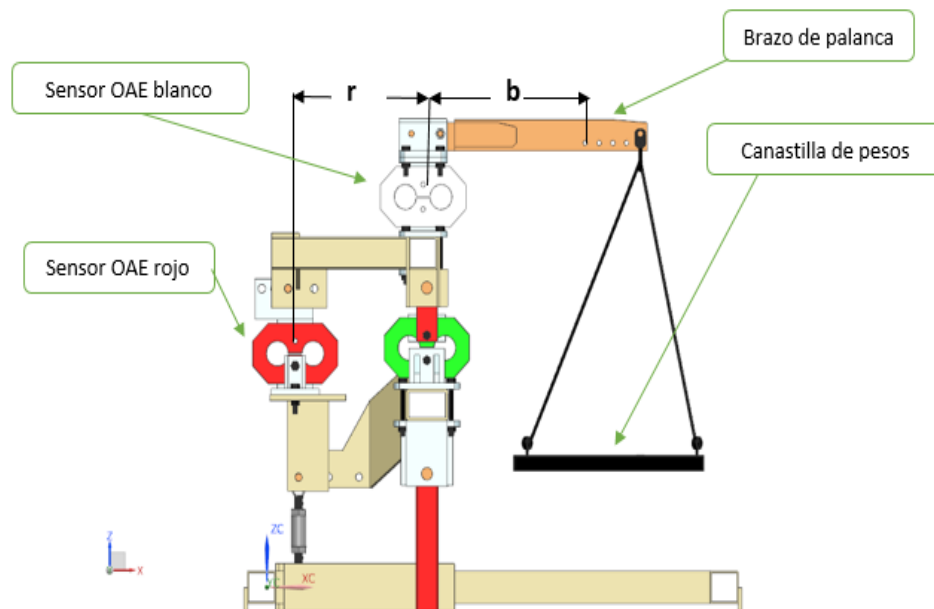


Figura 5.2: Vista lateral con desfase del sensor OAE rojo y brazo de palanca con respecto a la barra de tiro

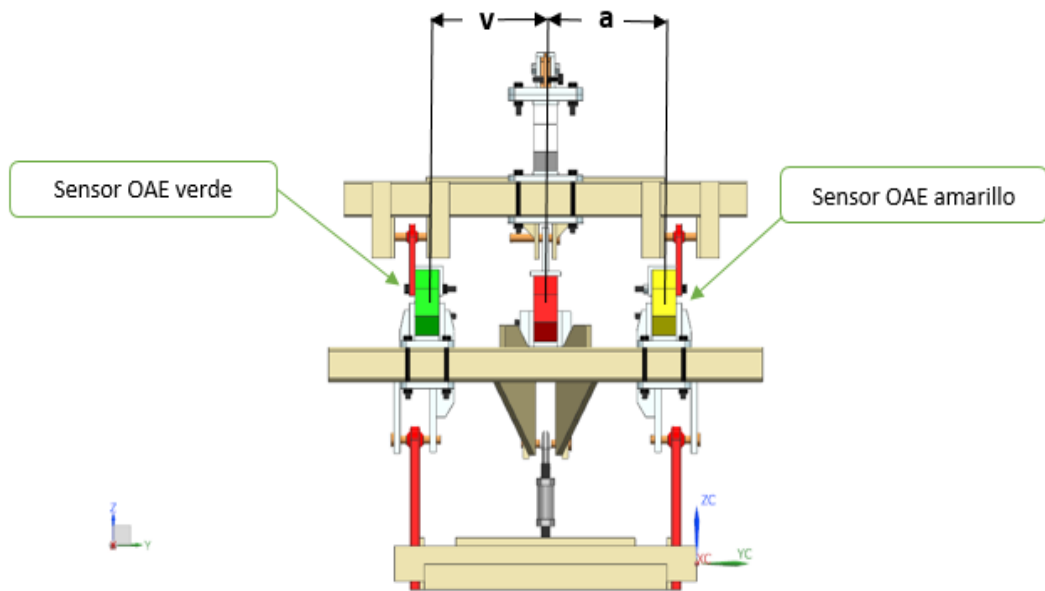


Figura 5.3: Vista frontal con desfase de los sensores OAE verde y amarillo con respecto a la barra de tiro

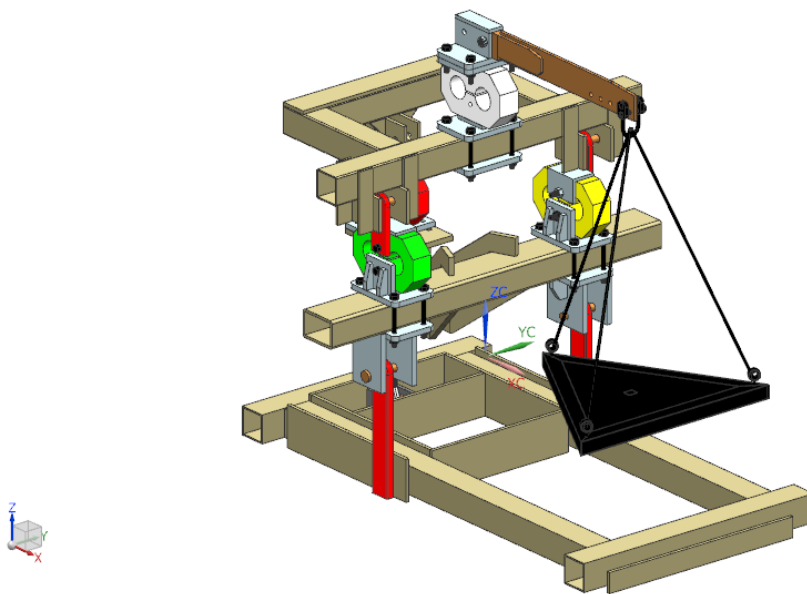


Figura 5.4: Diseño del marco de calibración en su vista tridimensional

5.2 Equipo empleado para la evaluación de los sensores OAE

- Un amplificador acondicionador (DBK-43A) con los módulos de 8 canales, con ganancia de $10 \times$ a $1250 \times$ (ϵ), fabricado por Lotech, 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. Este además provee el voltaje de excitación al transductor en un rango de 1-10 V y 100 mA.
- Un convertidor analógico-digital (DaqBook 2000). El cuál es el módulo que se conecta al puerto paralelo de la computadora y que convierte los valores de voltaje en valores digitales para que puedan ser procesados por la computadora. Este sistema se compone de dos partes, la primera parte es la que procesa la información y la segunda parte es un banco de baterías que alimenta a la parte de procesamiento. Este módulo es integrado por 6 voltajes diferenciales. Con una ganancia de 0.01-10 V y con una velocidad de muestreo de 25-625 E3 muestras por segundo. Con 16 canales analógicos y 8 canales digitales con rangos de ganancias de micro deformaciones de 100 a 10×10^3 . 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. Los datos obtenidos durante el proceso son posteriormente analizados con los paquetes de Excel 16, Minitab 17 y MATLAB 10.

La interfaz entre el sistema de adquisición de datos (DaqBook 2000) y la computadora se transmite mediante un cable de Ethernet.

5.3 Preparación del software para capturar datos

La figura 5.5 muestra una sección del DaqView y los parámetros que configuramos para iniciar el registro de la información los cuales son:

- Selección y configuración del hardware
- Configuración de los canales a ser sensados
- Frecuencia de muestreo a 20 Hz
- Cantidad de datos a registrar que son 5500
- Nombre del archivo para guardar los datos

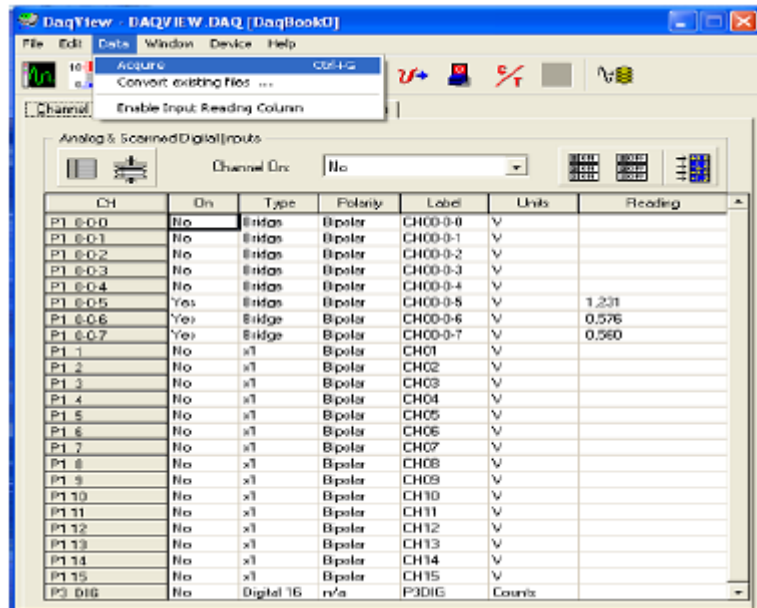


Figura 5.5: Captura de datos de una sesión de DaqView

5.4 Calibración directa del equipo

Se calibra de acuerdo a los parámetros que se requieren según sea el caso. Se calibra canal por canal, pero antes debe estar en DBK-43a en la posición de “cal” en la parte de atrás; se puede calibrar la excitación, offset, ganancia (gain) y escala (scaling). Para calibrar el puente (bridge) y ver en que rango se estarán guardando los datos, debe estar el programa en ejecución y en posición normal, y al girar el potenciómetro del offset hasta el valor deseado.

5.5 Registro de información

En la barra de herramientas se presiona el icono DATA y una vez abierto se presiona el botón ACQUIRE donde nos muestra otra ventana, donde, para empezar a almacenar los datos se presiona MANUAL TRIGGER, ver anexo 9.6.

Cada 500 datos se incrementa el peso en la canastilla para crear la gráfica escalonada ascendente y descendente hasta el momento de retirarlos por completo. Una vez que se alcanzan los 5500 datos automáticamente el programa guarda el archivo en la carpeta seleccionada en archivo con extensión ‘txt’ en el cual se puede verificar en Excel el comportamiento de la gráfica canal por canal, de igual forma verificar si existió algún error en el dinamómetro ya que en ocasiones no se registran los datos y es necesario repetir la corrida.

5.6 Análisis de información

La disposición de un equipo de adquisición de datos que registren los valores que se obtienen por medio de un transductor y los envíe a una computadora, hace posible almacenar un archivo en disco los valores registrados durante la operación de la herramienta. Para el análisis de datos primeramente se abren los archivos en Excel y se grafican los canales, lo siguiente sería llevar a cero todas las gráficas, lo cual se logra restando el valor de la columna a todos los valores de la misma para tener mayor percepción del comportamiento del transductor integral.

Una vez realizado lo anterior se grafica cada columna, en la línea de la gráfica que genera cada escalón se coloca el cursor para obtener un valor medio, esto se hace ascendente y descendentemente en cada canal o sensor (amarillo, rojo, verde y blanco). De ahí se prosigue a ordenarlos en una tabla de Excel y con ayuda del paquete Minitab 17 se obtenga la constante de calibración mediante una regresión lineal.

VI. RESULTADOS

A continuación, se muestra los resultados obtenidos en nuestra evaluación del sistema integral de sensores OAE.

6.1 Evaluación del transductor integral

Se monto la estructura flotante entre el marco de calibración y el implemento que se evaluó figura (6.1), la estructura permite el acoplamiento de los transductores en tres puntos de enganche exactos a los del tractor.

Se calibraron los voltajes de excitación y ganancia con los cuales trabaja el sistema para realizar su adquisición de datos cuadro (6.1).

Cuadro 6.1: Voltajes de excitación y ganancia de calibración de los sensores para la fuerza horizontal (Fx).

Dinamómetro (Fx)	Input Gain (V)	Escaling Gain (V)	Excitación (V)
Octagonal verde	4.48	4.45	9.62
Octagonal amarillo	4.61	4.58	9.52
Octagonal rojo	4.49	4.46	9.59
Octagonal blanco	4.24	4.21	5.57



Figura 6.1: Marco integral

6.2 Ejemplo de grafica escalonada en Excel y de regresión lineal en Minitab 17

La información se procesó en el software Excel generando gráficas escalonadas de carga y descarga de los pesos aplicados en la evaluación (figura 6.2), en donde se registró la deformación de los sensores OAE en términos de voltaje, en el software MINITAB 17 mediante un análisis de regresión lineal (figura 6.3) se obtuvieron las ecuaciones de los 4 sensores OAE (amarillo-verde-rojo-blanco) por cada arreglo para determinar sus constantes de calibración.

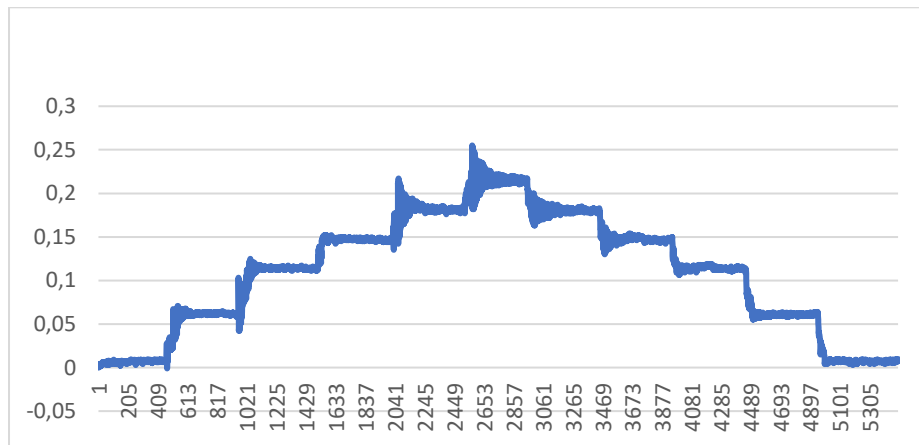


Figura 6.2: Grafica de carga y descarga de contrapesos en el marco integral

En la figura 6.3 se muestra un ejemplo de las ecuaciones generadas en el paquete MINITAB 17 para obtener la constante de calibración en cada arreglo.

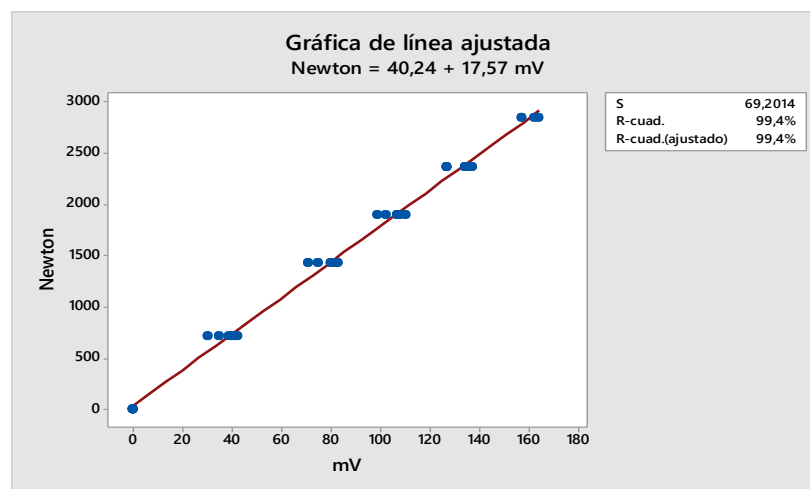


Figura 6.3: Grafica de regresión lineal Newton vs mV para obtener la constante y correlación del arreglo $a= 39.0$, $v=40.7$, $r=47.9$ y $b=59.0$ del sensor verde

En el cuadro (6.2) se muestran las constantes de los 4 sensores OAE en sus 54 arreglos mencionados anteriormente. En esta tabla se pueden apreciar los cambios que se generan en cada posición y su constante respectivamente.

6.3 Arreglos vs constantes obtenidas de los sensores en la evaluación

Cuadro 6.2: Arreglos y constantes obtenidas en la evaluación de los sensores OAE

DISTANCIAS EN (cm) ENTRE SENSORES Y LOCALIZACIÓN DE LA CARGA				CONSTANTES GENERADAS			
Amarillo	Verde	Rojo	Blanco	Verde	Amarillo	Rojo	Blanco
39.0	40.7	47.9	59.0	17.57	15.47	12.85	1.22
39.0	40.7	47.9	69.0	15.73	14.22	11.02	1.044
39.0	40.7	47.9	79.0	14.6	13.26	9.601	0.9119
39.0	40.7	43.3	59.0	16.9	14.18	12.88	1.439
39.0	40.7	43.3	69.0	15.3	13.21	11.12	1.228
39.0	40.7	43.3	79.0	13.78	12.34	9.451	1.063
39.0	40.7	38.6	59.0	16.4	15.16	12.27	1.441
39.0	40.7	38.6	69.0	14.95	13.77	10.53	1.226
39.0	40.7	38.6	79.0	14.08	12.73	9.325	1.077
Amarillo	Verde	Rojo	Blanco	Verde	Amarillo	Rojo	Blanco
39.0	36.0	47.9	59.0	15.52	16.42	13.01	2.837
39.0	36.0	47.9	69.0	14.25	14.81	11.21	2.409
39.0	36.0	47.9	79.0	13.26	13.54	9.808	2.097
39.0	36.0	43.3	59.0	15.75	15.45	13.1	1.44
39.0	36.0	43.3	69.0	14.44	14	11.15	1.22
39.0	36.0	43.3	79.0	13.32	12.81	9.752	1.064
39.0	36.0	38.6	59.0	15.81	15.56	12.49	1.437
39.0	36.0	38.6	69.0	14.35	14.2	10.66	1.211
39.0	36.0	38.6	79.0	13.27	13.12	9.357	1.071
Amarillo	Verde	Rojo	Blanco	Verde	Amarillo	Rojo	Blanco
36.7	39.0	47.9	59.0	16.37	15.9	12.61	2.776
36.7	39.0	47.9	69.0	15.01	14.56	10.85	1.233
36.7	39.0	47.9	79.0	13.86	13.44	9.515	1.074
36.7	39.0	43.3	59.0	16.22	14.8	12.74	2.798
36.7	39.0	43.3	69.0	14.81	13.51	11.08	2.422
36.7	39.0	43.3	79.0	13.72	12.37	9.736	2.12
36.7	39.0	38.6	59.0	16.95	14.31	12.69	1.443
36.7	39.0	38.6	69.0	15.35	13.2	10.8	1.23

36.7	39.0	38.6	79.0	14.32	12.25	9.522	1.076
------	------	------	------	-------	-------	-------	-------

Amarillo	Verde	Rojo	Blanco	Verde	Amarillo	Rojo	Blanco
39.7	39.0	47.9	59.0	15.87	16.07	13.04	1.437
39.7	39.0	47.9	69.0	14.59	14.56	11.17	1.221
39.7	39.0	47.9	79.0	12.97	13.56	9.799	1.068
39.7	39.0	43.3	59.0	15.99	15.12	12.74	1.438
39.7	39.0	43.3	69.0	14.61	13.69	10.99	1.22
39.7	39.0	43.3	79.0	13.43	12.55	9.666	1.06
39.7	39.0	38.6	59.0	15.72	15.44	12.5	1.38
39.7	39.0	38.6	69.0	14.45	14.2	10.68	1.226
39.7	39.0	38.6	79.0	13.56	12.75	9.72	1.065
Amarillo	Verde	Rojo	Blanco	Verde	Amarillo	Rojo	Blanco
39.0	39.0	47.9	59.0	16	15.79	12.89	1.21
39.0	39.0	47.9	69.0	14.73	14.69	11.21	1.028
39.0	39.0	47.9	79.0	13.62	13.29	9.835	0.8918
39.0	39.0	43.3	59.0	16.18	14.65	12.84	1.433
39.0	39.0	43.3	69.0	14.83	13.33	11.07	1.227
39.0	39.0	43.3	79.0	13.41	12.43	9.774	1.064
39.0	39.0	38.6	59.0	16.33	15.35	12.68	1.44
39.0	39.0	38.6	69.0	14.93	14.13	10.52	1.225
39.0	39.0	38.6	79.0	13.82	13.11	9.285	1.07
Amarillo	Verde	Rojo	Blanco	Verde	Amarillo	Rojo	Blanco
39.0	39.0	47.9	59.0	16.14	16.06	12.58	1.434
39.0	39.0	47.9	69.0	14.83	14.7	10.83	1.225
39.0	39.0	47.9	79.0	13.9	13.51	9.432	1.072
39.0	39.0	43.3	59.0	16.28	14.78	12.97	1.44
39.0	39.0	43.3	69.0	14.74	13.46	11.36	1.221
39.0	39.0	43.3	79.0	13.47	12.59	9.984	1.068
39.0	39.0	38.6	59.0	16.21	15.38	12.46	1.443
39.0	39.0	38.6	69.0	14.86	13.73	10.61	1.225
39.0	39.0	38.6	79.0	13.61	12.99	9.254	1.074

6.4 Análisis de varianza y comparación de medias del sensor OAE verde

Cuadro 6.3: Análisis de varianza de las constantes del sensor verde

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
A (Posición del AOE rojo)	2	0.062	0.031	2.875	0.108
B (Posición del brazo de palanca)	2	19.568	9.784	912.047	0.000
A x B	4	0.120	0.030	2.798	0.092
Error	9	0.097	0.011		
Total	17	19.847			

Posición del OAE verde: 39 cm.-Posición del OAE rojo: 38.8, 43.3 y 47.9 cm.-Posición de brazo de palanca: 59.0, 69.0 y 79.0 cm.

Cuadro 6.4: (A, B) Comparación de medias de la constante de calibración del sensor OAE verde

A	Media
1	14.870
2	14.818
3	14.960

(A) Media de la constante del sensor verde por efecto de la posición del OAE rojo.

B	Media	0.05
1	16.190	A
2	14.820	B
3	13.638	C
Tukey=		0.167

(B) Media de la constante del sensor verde por efecto de la posición del brazo de palanca.

En el cuadro (6.3) y (6.4) se muestra el análisis de varianza y comparación de medias de la magnitud de la fuerza detectada por el sensor OAE verde con respecto al cambio de posición del sensor OAE rojo, asimismo, nos indica que no existe efecto en la magnitud registrada, a diferencia del brazo de palanca que nos indica que existe un efecto en el sensor OAE verde.

6.5 Análisis de varianza y comparación de medias del sensor OAE amarillo

Cuadro 6.5: Análisis de varianza de las constantes del sensor amarillo

	FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
A (Posición del AOE rojo)		2	3.854	1.927	97.395	0.000
B (Brazo del brazo de palanca)		2	16.639	8.320	420.533	0.000
A X B		4	0.125	0.031	1.579	0.261
Error		9	0.178	0.020		
Total		17	20.796			

Posición del OAE amarillo: 39 cm.-Posición del OAE rojo: 38.8, 43.3 y 47.9 cm.-Posición de brazo de palanca: 59.0, 69.0 y 79.0 cm.

Cuadro 6.6: (A, B) Comparación de medias de la constante de calibración del sensor OAE amarillo

A	Media	0.05
1	14.673	A
2	14.115	B
3	13.540	c
	Tukey	0.227

(A) Media de la constante del sensor amarillo por efecto de la posición del OAE rojo.

B	Media	0.05
1	15.335	A
2	14.007	B
3	12.987	c
	Tukey	0.227

(B) Media de la constante del sensor amarillo por efecto de la posición del brazo de palanca

En el cuadro 6.5 y 6.6 se muestra el análisis de varianza de la magnitud de la fuerza detectada por el sensor OAE amarillo con respecto al cambio de posición del sensor OAE rojo, en el cual se puede apreciar que existe efecto en la magnitud registrada, de igual manera el brazo de palanca nos indica que existe un efecto en el sensor OAE amarillo.

6.6 Ecuación de predicción de las fuerzas en el sensor OAE verde

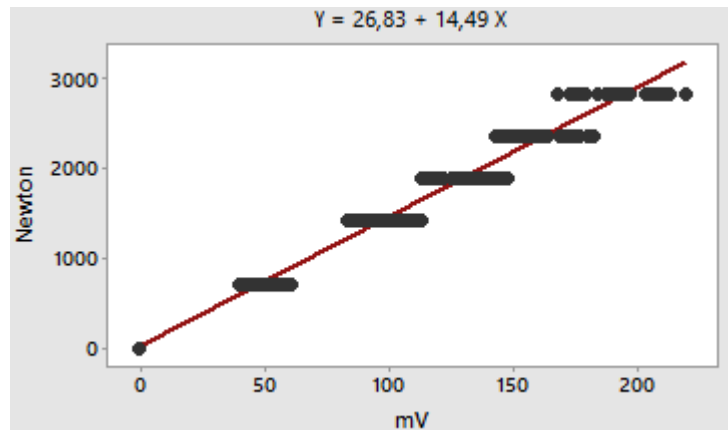


Figura 6.4: Ecuación de predicción del sensor verde generada en minitab 17 con una R-cuad de 97.67%

La línea ajustada roja muestra el valor pronosticado de Y para cualquier valor de X.

La ecuación ajustada al modelo lineal la cual describe la relación entre X, Y es: $Y = 26.83 + 14.49X$; si el modelo se ajusta adecuadamente a los datos, esta se puede utilizar para predecir la fuerza (N) para un valor de mV, o hallar la configuración de mV que corresponda a un valor o rango de valores deseados para la fuerza (N).

6.7 Ecuación de predicción de las fuerzas en el sensor OAE amarillo

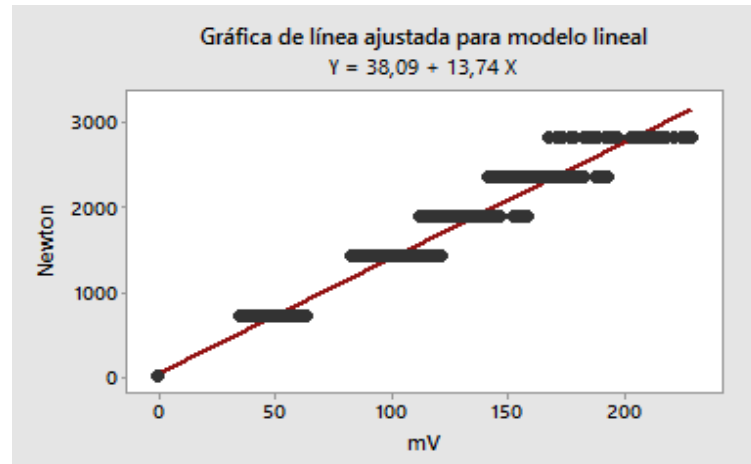


Figura 6.5: Ecuación de predicción del sensor amarillo generada en Minitab 17 con una R-cuad de 96.78%.

La línea ajustada roja muestra el valor pronosticado de Y para cualquier valor de X.

La ecuación ajustada al modelo lineal describe la relación entre X, Y es: $Y = 38.09 + 13.74X$; si el modelo se ajusta adecuadamente a los datos, esta se puede utilizar para predecir la fuerza (N) para un valor de mV, o hallar la configuración de mV que corresponda a un valor o rango de valores deseados para la fuerza (N).

6.8 Representación del error generado entre los brazos de palanca

A continuación, se muestran los errores que se generan ante el cambio de posición del brazo de palanca, tomando como referencia que el error a una distancia de 69 cm es cero.

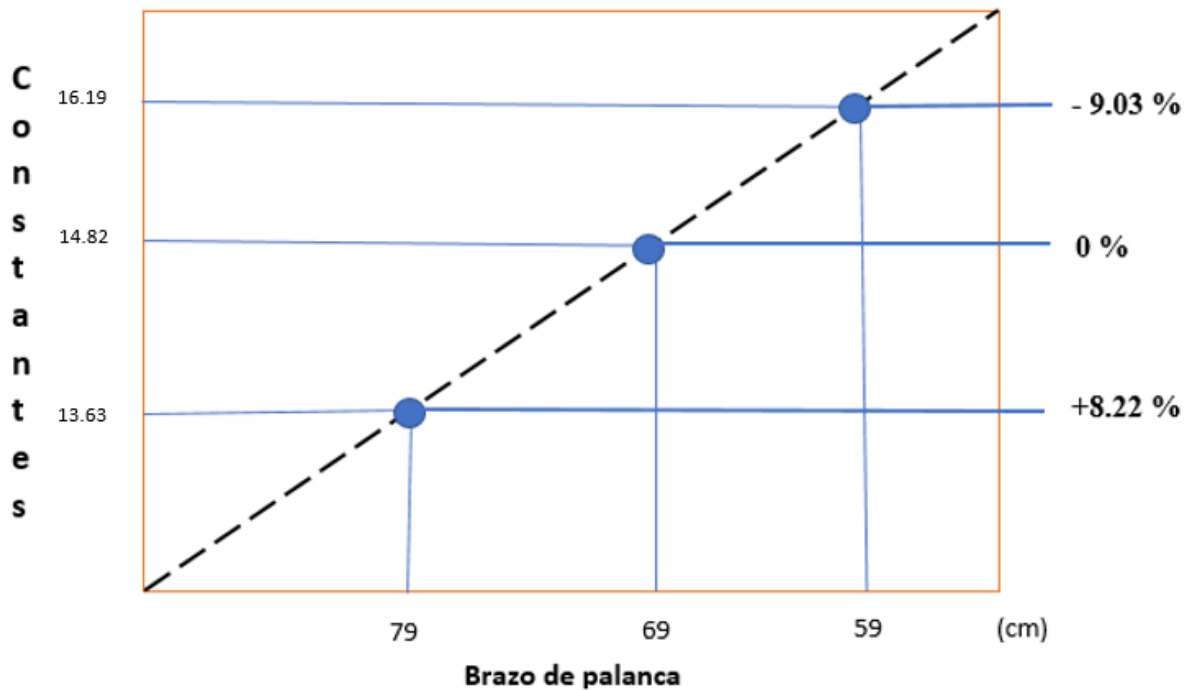


Figura 6.6: Error producido por el brazo de palanca

Esto nos indica que cuando el brazo de palanca cambia de 69 a 59 cm se le debe de restar un 9.03% ya que la ecuación de predicción que obtenemos nos da una constante adimensional de 14.5 que es similar al promedio de las constantes obtenidas en los arreglos a 69 cm de brazo de palanca.

Caso contrario cuando el cambio se efectúa de 69 a 79 cm ya que se le debe de sumar un 8.22% debido a que su constante adimensional se reduce en relación a 14.5 obtenida en el modelo de predicción y a la media obtenida entre los arreglos a 69 y 79 cm en este caso.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- No existe efecto en la magnitud de la constante de calibración en el sensor OAE verde con el cambio de la posición del sensor OAE rojo.
- Existe efecto en la magnitud de la constante de calibración en el sensor OAE amarillo con el cambio de la posición del sensor OAE rojo.
- Verificar el efecto que se genera en el sensor OAE amarillo debido a que presenta variabilidad con respecto al sensor OAE verde cuando son equidistantes.
- La ecuación general de calibración presenta un error entre -9.03% y +8.22% cuando se cambia de posición el brazo de palanca
- Verificar el comportamiento de las ecuaciones de predicción generadas en campo.

Recomendaciones

- Realizar otras series de calibraciones con brazos de palanca que se asemejen a los arreglos que se trabajaran bajo condiciones de campo.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Agamennoni, R. 1996. Rotaciones y labranzas en la región semiárida bonaerense sur. En Labranzas en la Región Semiárida Argentina. D. Buschiazzo, J. Panigatti y F. Babinec. Ed. INTA CERLAP- San Luis.
- Al-Jalil, H. F., Khdair, A., and Mukahal, W. (2001). Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer. *Soil and Tillage Research* 62: 153-156.
- Barber, R.G., Navarro, F. y Orellana, M. 1993. Labranza Vertical. Centro de Investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical y Proyecto de Desarrollo Tierras Bajas del Este del Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia.
- Bonifaz del Carpio, A. 2012. Evaluación de un transductora 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.
- Camacho-Tamayo, J. H. y G. A. Rodríguez-B. 2007. Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua en el suelo. *Agric. Téc.* 67: 60-67.
- Campos, M.S.G, B. Wills and Cadena Z. M. 1992. Consideraciones para el diseño de transductores octagonales y su aplicación en la evaluación de implementos de labranza. Memorias del II Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola (AMIA). Irapuato, Gto., México.
- Campos, M.S.G. 1993. Development of minimum maize planter for Mexican agriculture, unpublished Ph.D. Thesis, Newcastle University, England, 167p.
- Cook N.H. and E. Rabinowicz. 1963. Physical measurement and analysis, N.Y.: Addison Wesley, pp. 160–164. Sakurai, H. 1996. An application of strain gages to the agricultural machinery. Edit. Farm machinery section. 2nd Training Division. Tsukuba International Centre (TBIC). Japan International Cooperation Agency (JICA).

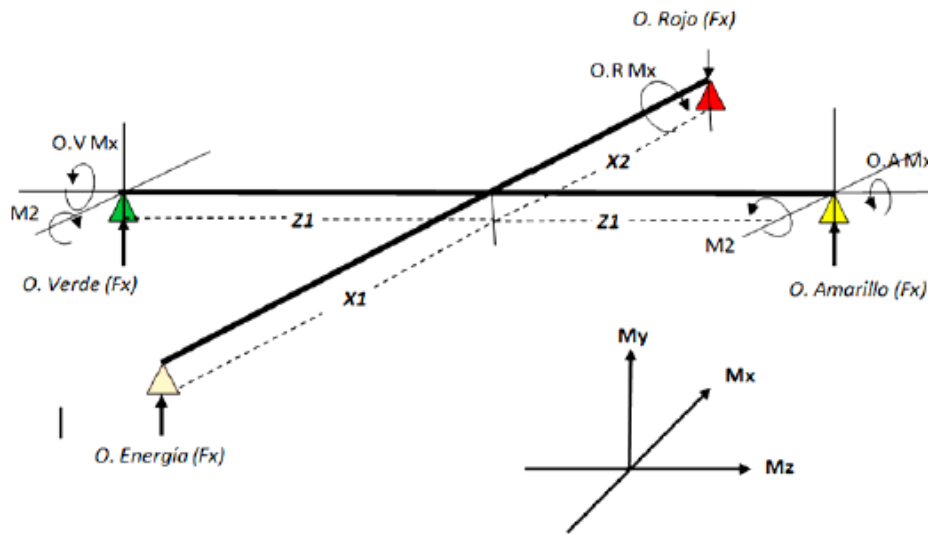
- Cook N.H. and E. Rabinowicz. 1963. Physical measurement and analysis, N.Y.: Addison Wesley, pp. 160–164.
- Cooper D.W. and Helfrick D.A. 1991. Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición, p. 101.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO. Roma, Italia, P. 204.
- FAO. 2003. “Manual de prácticas integradas de manejo de conservación de suelos”], [Documento en línea] <http://www.fao.org/ag/ags/agse/agse_s/7mo/iita/iita.htm>
- FAO. 2003. Agricultura de conservación, uniendo producción con sostenibilidad.
- Garner, T.H.; Dodd, R. B.; Wolf Dan; Peiper, U. M. 1988. Force analysis and application of a Three – point hitch dynamometer. Transaction of the ASAE. 31(4):1047-1053.
- Gill, W.R. and W.F. McCreery. 1960. Relation of size of cut to tillage tool efficiency. Agricultural Engineering, 41, 372-374. Gill, W. y Vandenberg, G. 1967. Soil dynamics in tillage and traction. USDA-ARS. Agriculture Handbook No. 316, 511 p.
- Godwin R J; Spoor G; Soomro M S (1984). The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. Journal of Agricultural Engineering Research, 30, 47–56.
- Godwin, R. J. 1975. An Extended Octagonal Ring Transducer for Use in Tillage Studies. J. Agric. Eng. Res., 20: 347-352.
- Hai Sakurai. 1996. An Application of Strain Gages to the Agricultural Machinery. Edit. Farm Machinery section. 2nd Training Division. Tsukuba Internacional centre (TBIC). Japan Internacional Cooperation Agency (JICA).
- 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 extendida, tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.
- Hoag, D.L.,R.R. Yoerger 1974. Desingnig load rings for measurement. Transactions of de ASAE 17(2):251-261.

- Hoag, D.L.,R.R. Yoerger 1975. Analysis and desing of load rings.Transactions of the ASAE 18(6):995-999.
- Hoogmoed, W.B. 1999. Tillage for soil and water conservation in the semi-arid tropics. Tropical Resource Management Papers 24, Wageningen Agricultural University. The Netherlands. Wageningen, The Netherlands.
- Kepner, R.A., R. Bainer and E.L. Barger. 1978. Principles of farm machinery. Avi Pub. Co., Westport, Connecticut, EE. UU. P. 527.
- Khan, J., R.J. Godwin, J. Kilgour and B.S. Blackmore. 2007. Design and calibration of a bi-axial extended octagonal ring transducer system for the measurement of tractor-implement forces. J. Eng. Appl. Sci., 2(1) Bedford, England, U.K.: Pp. 16-20.
- Kheiralla, A.F. and Y. Azmi. 2002. A Tractor instrumentation and data acquisition system for power and energy demand mapping. University Putra Malaysia.
- Korkut, I. 2003. A Dynamometer design and its construction for milling operation. Materials and Design, 24(8). Technical Education Faculty, Gazi University. Besevler, Ankara, Turkey: Pp. 631-637.
- Lowen, E.G., E.R. Marshall and M.C. Shaw. 1951. Electric Strain Gauge Tool Dynamometers. Proc. Soc. Exp. Stress Analysis, 8(2): 1-16.
- Marín, O. L. 2003. Desarrollo de un Transductor de fuerzas 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.
- Mojica, L. E. D. 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurco para labranza de conservación, empleando equipo multiusos de tracción animal, tesis, Licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver.; México.
- Moo-Yam, V.M.J. 1999. Desarrollo y evaluación de un sistema de adquisición de datos para la evaluación de implementos de labranza. Tesis, Maestría, Universidad Veracruzana, Instituto de ingeniería, Veracruz, Veracruz, México.

- Neuholff, L.A. 1959. Measuring Force in Two or More Members With One Instrument. *Agricultural Engineering* 40 (August): 456-457.
- Pacheco, L. J. L. 2012. Requerimientos de energía en la labranza vertical basado en el principio de profundidad crítica. Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Pimentel, D. S. P. 2008. Reducing energy inputs in the US food system. *Argentina*, 459-471.
- REYNOLDS-CHÁVEZ, M. A. 2012. Protocolo de proyectos de investigación (programas doctorales) de ingeniería en el sistema de producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- S. Campos, M., A. Aragón, R., y M. Cadena Z. 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.
- Spoor, G., and Godwin, R. J. 1978. An experimental investigation into the deep loosening soil by rigid tines. *J. Agric. Engng. Res.* 23. Amsterdam, The Netherlands. Pp. 243-258.
- Thomson, N. P., and K.J. Shinnars. 1989. A portable instrumentation system for measuring draft and speed. *Applied Engineering in Agriculture* 5(2): 133-137.
- Valera, V.S. 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y dibujos patentes. Instituto Tecnológico de Veracruz. Veracruz, México.
- Vaughan J. 1975. Application of B & K Equipment to Strain Measurements. Brüel & Kjaer, Copenhagen.

IX. ANEXOS

9.1 Diagrama de cuerpo libre para determinar las fuerzas el comportamiento de las fuerzas en los dinamómetros en el marco integral



Donde el momento es igual a la raíz cuadrada de $M1$ elevado al cuadrado mas $M2$ elevado al cuadrado:

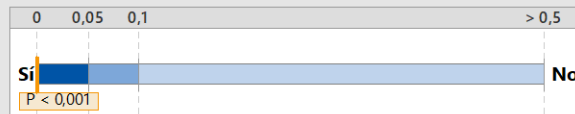
$$MR = \sqrt{M1^2 + M2^2}$$

9.2 Resumen de la ecuación de predicción del sensor OAE verde

Regresión para Newton vs. mV Informe de resumen

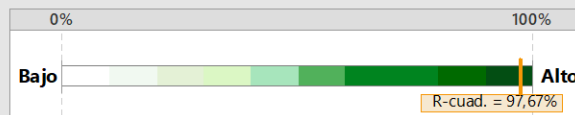
Y: Newton
X: mV

¿Existe una relación entre Y y X?



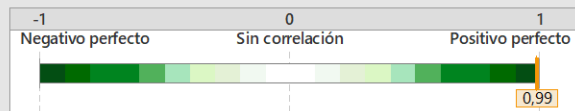
La relación entre Newton y mV es estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

% de variación explicado por el modelo



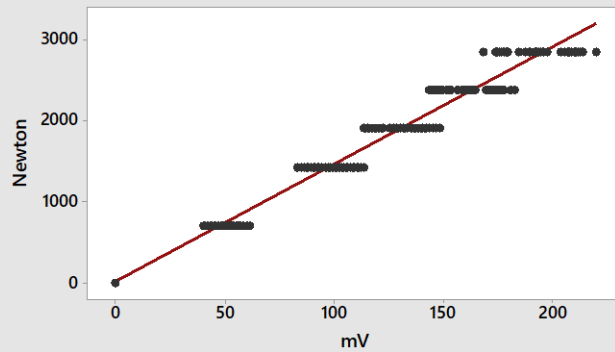
El modelo de regresión puede explicar 97,67% de la variación en Newton.

Correlación entre Y y X



La correlación positiva ($r = 0,99$) indica que cuando mV aumenta, Newton también tiende a aumentar.

Gráfica de línea ajustada para modelo lineal
 $Y = 26,83 + 14,49 X$



Comentarios

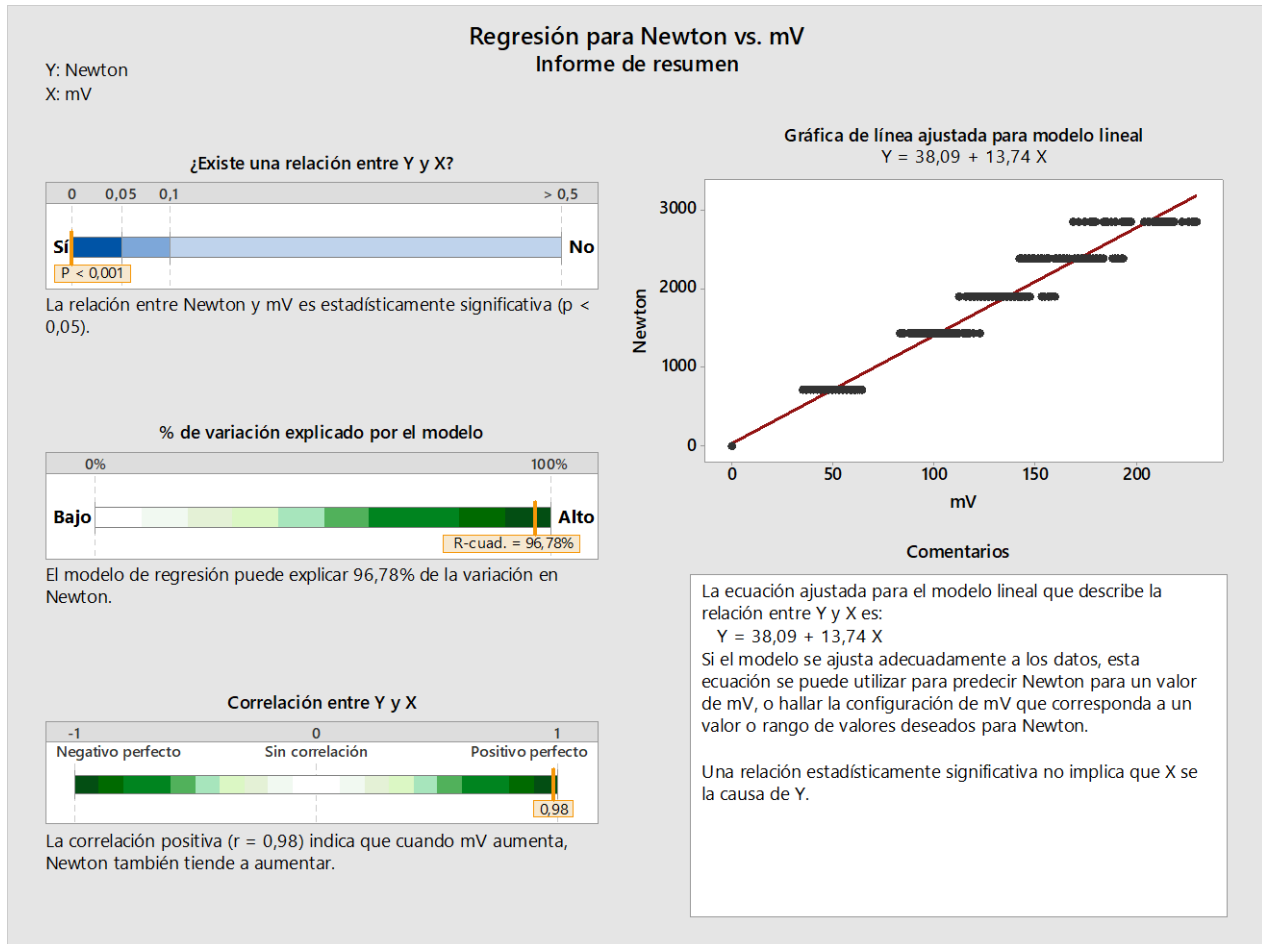
La ecuación ajustada para el modelo lineal que describe la relación entre Y y X es:

$$Y = 26,83 + 14,49 X$$

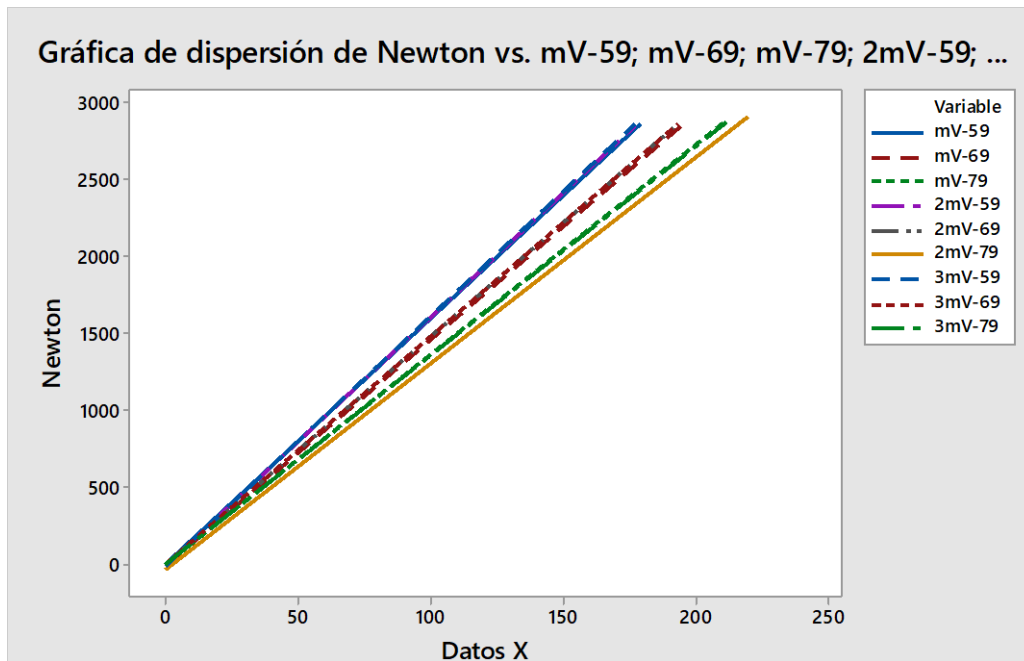
Si el modelo se ajusta adecuadamente a los datos, esta ecuación se puede utilizar para predecir Newton para un valor de mV, o hallar la configuración de mV que corresponda a un valor o rango de valores deseados para Newton.

Una relación estadísticamente significativa no implica que X se la causa de Y.

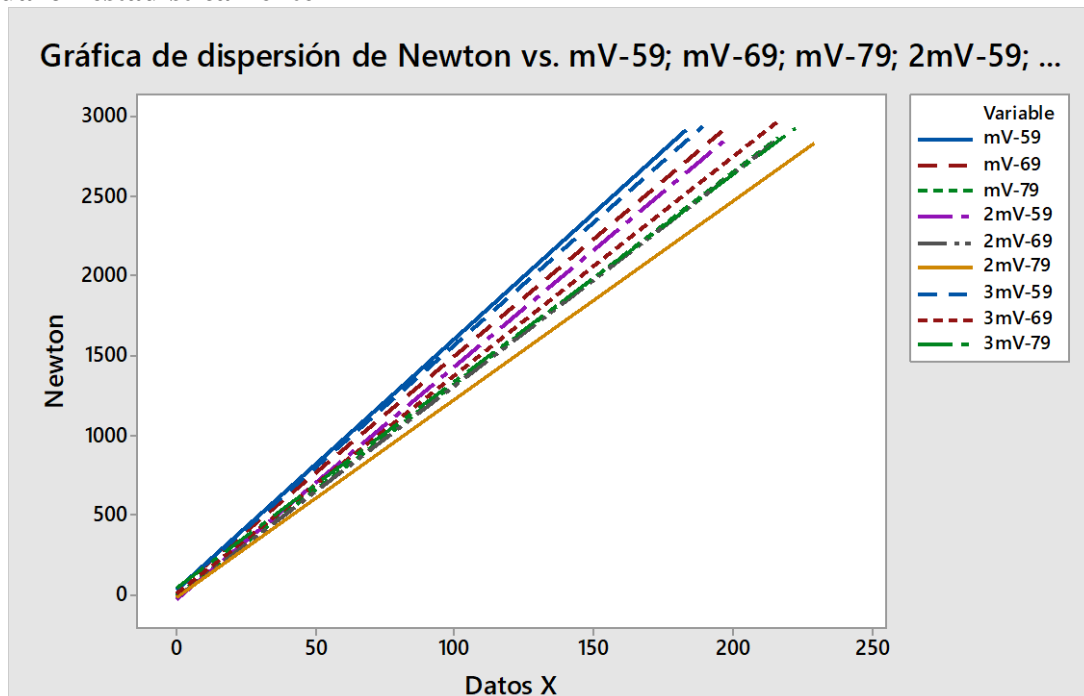
9.3 Resumen de la ecuación de predicción del sensor OAE amarillo



9.4 Gráfica (Newton vs mV) del sensor OAE verde entre los 9 arreglos que se evaluaron estadísticamente

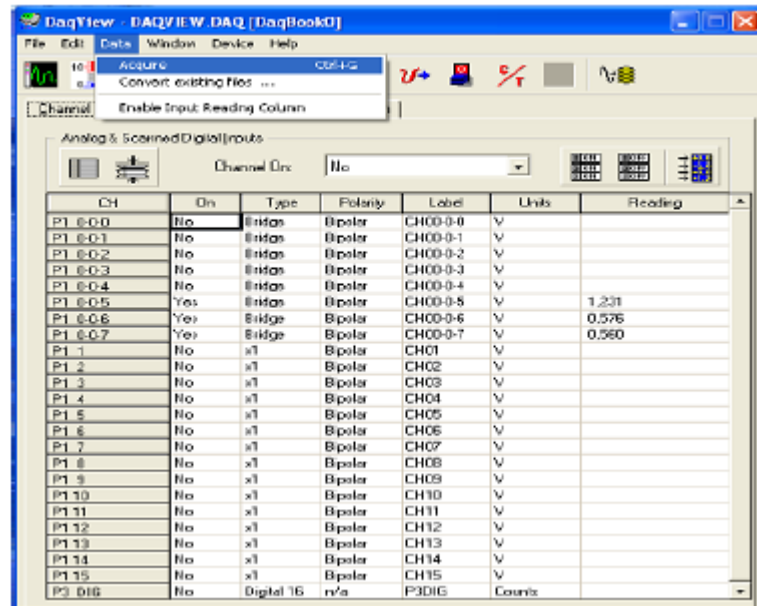


9.5 Gráfica (Newton vs mV) del sensor OAE amarillo entre los 9 arreglos que se evaluaron estadísticamente

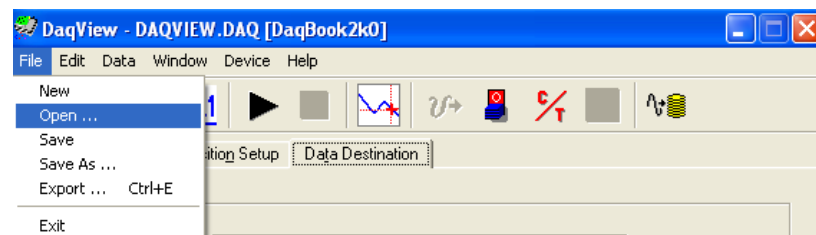


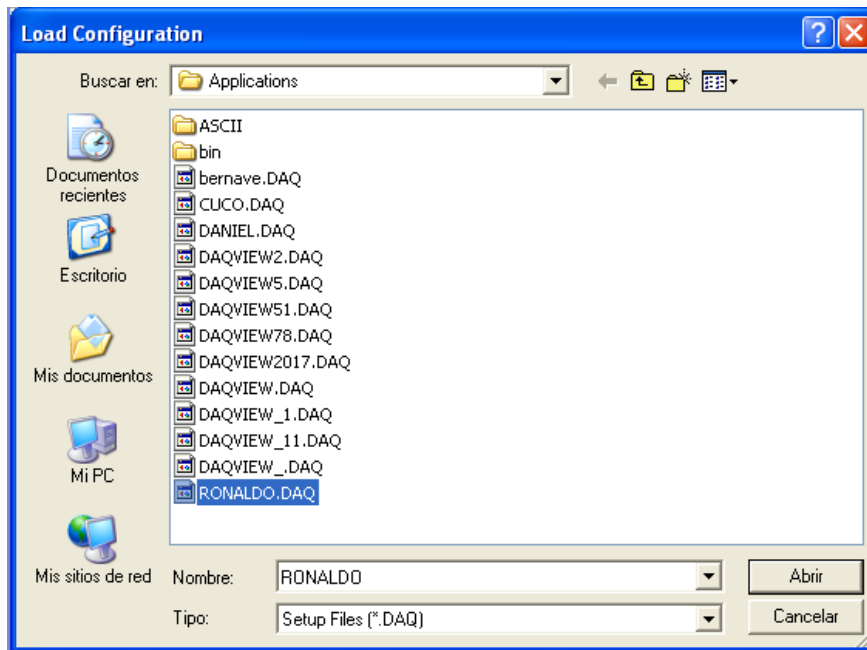
9.6 Manual de DAQVIEW

1.- Se abre el software DaqView que generamos con la configuración de los canales.

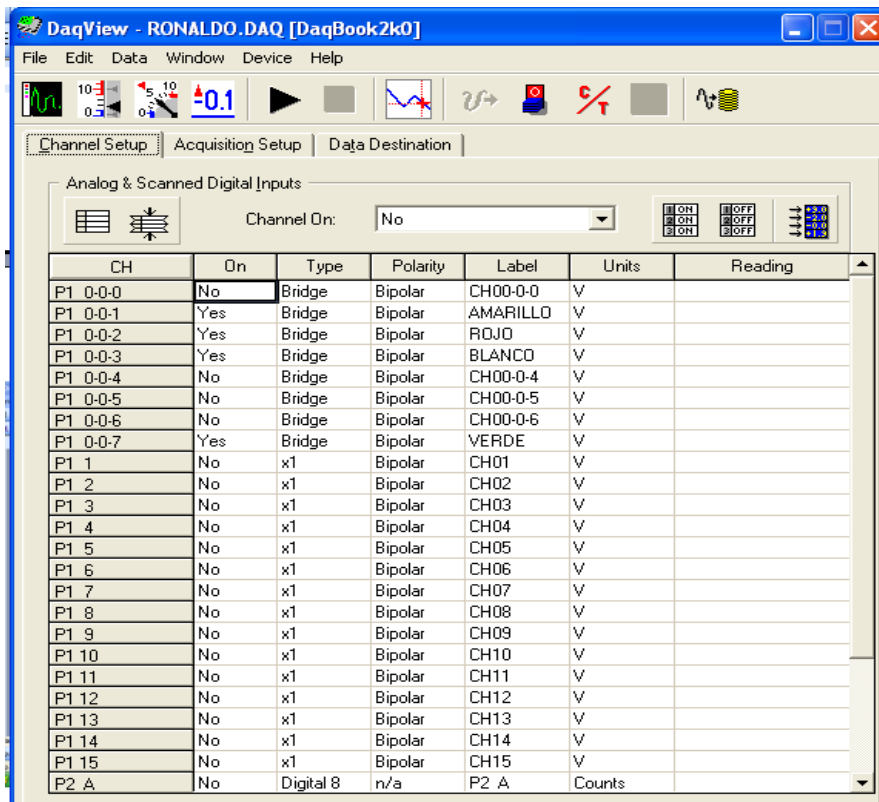


2.- Se abre el archivo que se guardó con la configuración de los canales.

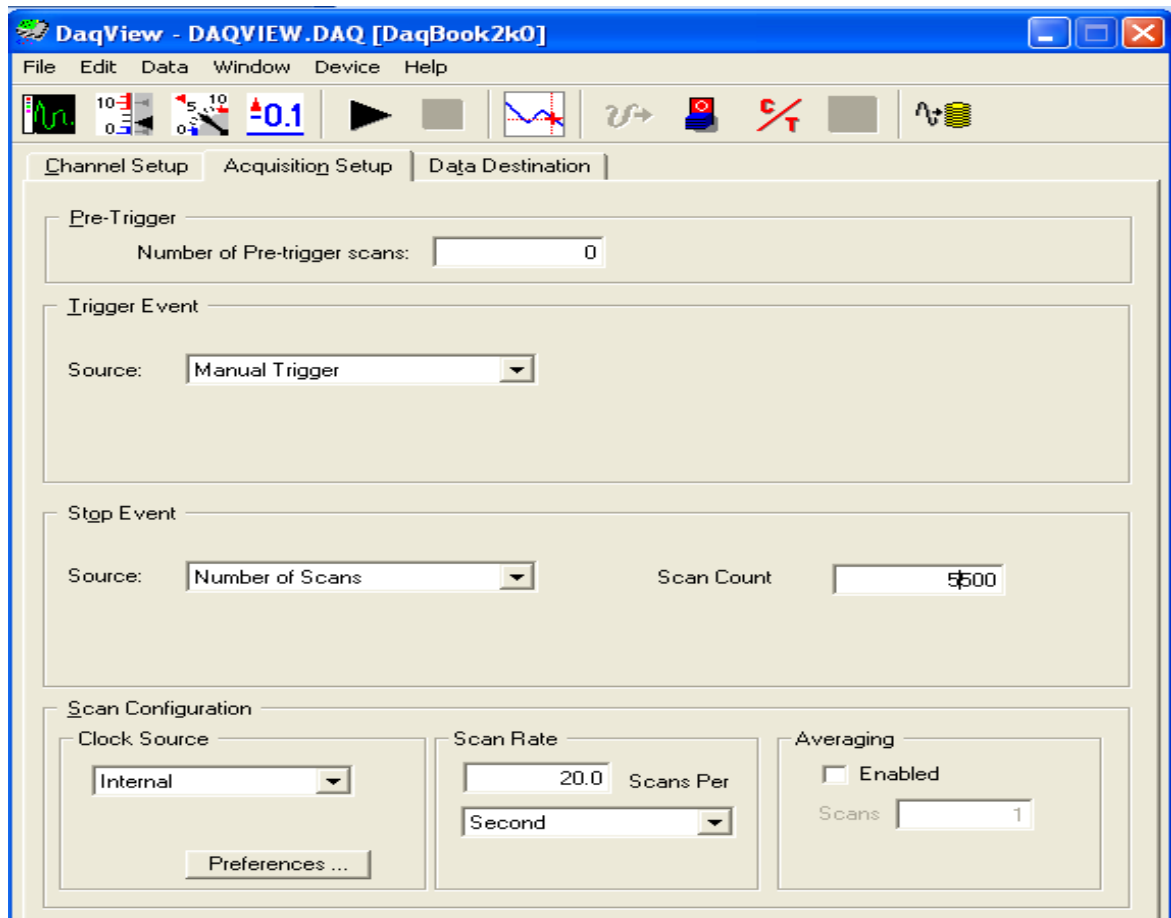




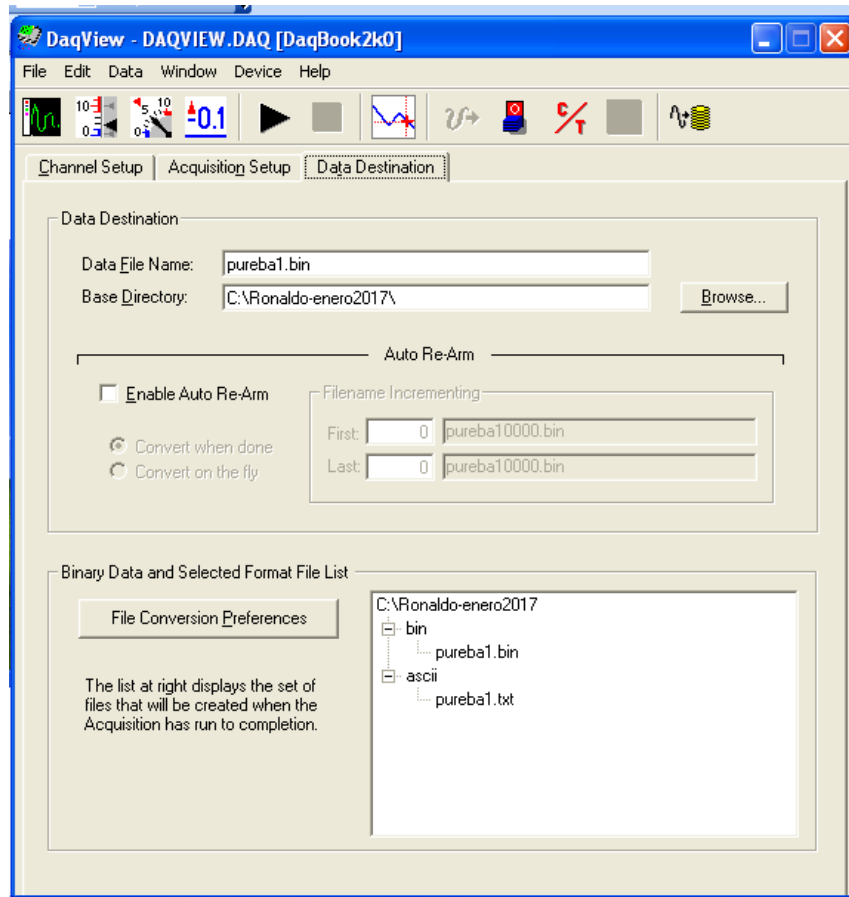
3.- Una vez que esté abierto el archivo se verifican y conectan los canales en el DaqBook 2000.



4.- Una vez conectados los cables en los canales correspondientes se presiona la pestaña ‘Acquisition Setup’ para asignar los parámetros.



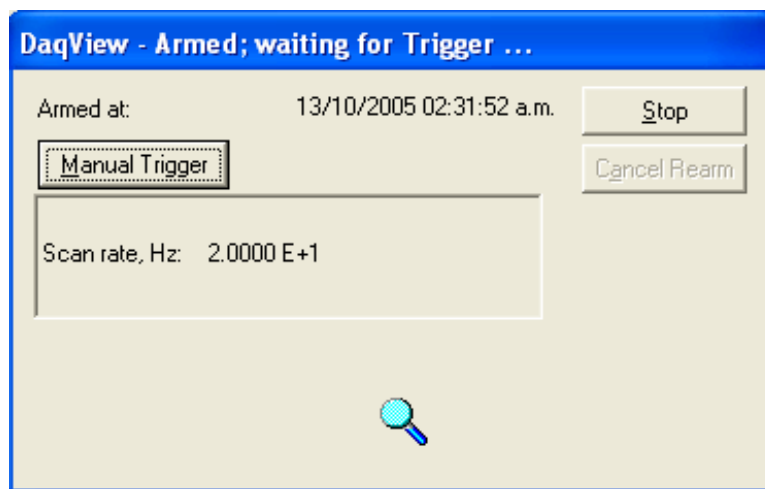
5.- A continuación, se selecciona la pestaña 'Data Destination', se asigna el nombre y seleccionamos la ruta en la cual se estarán almacenando los datos al disco duro del CPU seleccionando la pestaña 'Browse'. En la parte inferior se da un clic en el cuadro blanco y debe aparecer la ruta que establecimos anteriormente.



6.- Para el registro de la información seleccionamos la pestaña 'Data y Acquire'.



7.- Una vez realizado lo anterior nos aparecerá una ventana en la cual para iniciar el registro de datos se debe seleccionar 'Manual Trigger'.



8.- Nos aparecerá una ventana con la cantidad de datos que se están registrando, nosotros subiremos cada peso a la canastilla de evaluación guiándonos de esta.

