

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO



División de Ingeniería.

Departamento de Maquinaria Agrícola

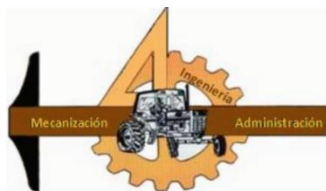
Análisis del comportamiento del sensor integral bajo condiciones de laboratorio para el cambio de posición de los octagonales y de las fuerzas resultantes.

Por: Refugio Sandoval Figueroa

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA



Buenavista Saltillo, Coahuila, México

Junio 2015

Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro

División de Ingeniería

Departamento de Maquinaria Agrícola

Análisis del comportamiento del sensor integral bajo condiciones de laboratorio
para el cambio de posición de los octagonales y de las fuerzas resultantes.

Por:

Refugio Sandoval Figueroa

Tesis

Que somete a consideración del h. jurado examinado como requisito parcial para
obtener el título de

Ingeniero Mecánico Agrícola

Aprobado por el comité de tesis

**Dr. Santos Gabriel
Campos Magaña**

Asesor principal

**Dr. Karim de Alba
Romenus**

Sinodal

**MC. Genaro Demuner
Molina**

Sinodal

**Dr. Luis Samaniego
Moreno**

Coordinador de la
División de Ingeniería

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Buenavista Saltillo Coahuila México

Junio 2015

AGRADECIMIENTOS

A la **UAAAN** por abrirme las puertas de su casa de estudios para formarme una profesión, por darme lo necesario para superarme día con día y la oportunidad de prepararme académicamente e integrarme.

Al **Departamento de Maquinaria Agrícola**, donde obtuve los conocimientos que me ayudan a superarme todos los días.

Al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña**, quien me ofreció y me dio la oportunidad de pertenecer a su grupo de tesis, por apoyarme en cuestiones donde no tenía conocimientos de ellas, y por ser parte de mi formación como profesionalista.

Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández**, por ser una persona que es un ejemplo a seguir, una persona culta, que sabe dar un buen consejo, que se ha preocupado por cómo nos va en la vida laboralmente y que ofrece una amistad sincera.

A la plantilla docente del departamento de maquinaria agrícola, **Dr. Martín Cadena Zapata, Dr. Rodolfo Valenzuela García, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, Ing. Juan Arredondo Valdez, M.C. Tomas Gaytan Muñiz, M.C. Blanca E. de la Peña Casas, Ing. Jorge Flores Berrueto, Ing. Rosendo Gonzales Garza**, 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.

A la generación CXIV, a todos por brindarme un poco de su espacio para conocernos e interactuar unos con otros.

En mención especial a mis amigos de la carrera de ingeniero mecánico agrícola, al **Ing. Raymundo Saldaña, Ing. Luis Enrique Serrano, Abraham Rivera, Ing. Moisés Guadarrama, Ing. Ramaosiris Espinoza**.

Por ser las primeras personas en brindarme su amistad, dentro de la casa de estudios y en cada fin de semana que nos frecuentábamos en el #424.

A mis amigos de infancia y juventud, **Miguel Valencia, Efraín Vázquez, Eduardo Medina, Salvador Montes, Víctor Escamilla, Mauricio Escamilla, Omar cruz, Edgar huerta y Luis Alberto Hernández** por brindarme su amistad en momentos de tristeza y alegría, como demostrar que más que unos amigos son mis hermanos.

A las personas que han estado en momentos buenos y malos durante todo el tiempo que he estado en saltillo, **Catalina Hernández, Alonso Álvarez, Irene Saldaña, Eustaquio Domínguez, Leví Gómez, Daniel Santacruz** Gracias por estar siempre conmigo.

A las empresas que me dieron la oportunidad de estar trabajando en ellas y que me enseñaron bastantes cosas y hasta la fecha sigo aprendiendo, **Importadora de refecciones** con el **Ing. José Manuel Figueroa** y **Afilados y Dispositivos** con el **Sr. Reynaldo García**, Gracias por darme la oportunidad.

También quienes me dijeron de las fechas de presentación e hicieron que me dedicara un poco más a esto tan importante, **Ángeles Carrera y Roxana Leyva**.

DEDICATORIA

A mis padres **Refugio Sandoval salgado** y **Ma. De Lourdes Figueroa cabrera** quienes me han apoyado en todo momento en las buenas y en las malas, que me han guiado por un buen camino y como padres han hecho un excelente trabajo, les agradezco por haberme dado la vida y criarme como lo hicieron, que Dios les de muchos años más a mi lado MUCHAS GRACIAS.

A mis hermanos, cuñados y sobrinos porque gracias a ellos tengo una carrera profesional y por apoyarme en todo momento con sus palabras alentadoras y sus consejos.

Dalia Sandoval Figueroa.

Agustín Sandoval Figueroa.

Esmeralda Sandoval Figueroa.

Alberto Sandoval Figueroa.

Alelí Sandoval Figueroa.

Virginia Sandoval Figueroa.

Lucia Sandoval Figueroa.

Domingo Sandoval Figueroa.

Hugo Sandoval Figueroa.

Lourdes Sandoval Figueroa.

Alejandro Sandoval.

Eduardo Huerta.

José Alberto García.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA.....	III
DE FIGURAS.	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
RESUMEN	IX
I.-INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.-Antecedentes.....	4
Calibración de sensores octagonales extendidos.....	4
1.2.-Objetivos e Hipótesis.....	11
Objetivo General:	11
Objetivos específicos:	11
Hipótesis:.....	11
II.-REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1.-Tecnología de implementos.....	12
2.1.1.-Factores de diseño para herramientas de labranza.....	12
2.1.2.-Fuerzas actuando sobre una herramienta de labranza.....	13
2.1.3.-Relación de la Fuerza Vertical y Horizontal.....	16
2.2.-Análisis de esfuerzos.....	17
2.3.-Análisis teórico del diseño del anillo.....	20
2.4.-Transductores.....	24
2.4.1.-Factores involucrados en la selección para el diseño de un transductor.....	26
2.4.2.-Galgas extensiométricas.....	27
2.4.3.-Puente de Wheatstone.....	30
2.5.-Sistema de adquisición de datos.....	31
2.6.-Construcción y pruebas de un transductor integral.....	32
III.-MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.1.-Criterios para las características del transductor.....	35
3.2.-Selección y dimensiones del material para los sensores.....	36
3.3.-Fabricación de los sensores.....	37
3.4.-Acondicionamiento de sensores.....	37
3.5.-Estructura flotante.....	38
3.6.-Calibración del equipo y transductor.....	38
3.6.1.-Preparación del equipo de adquisición de datos.....	39

3.6.2.-Preparación del software para capturar datos.....	41
3.6.3.-Calibración directa del equipo.	41
3.6.4Registro de Información.....	41
3.7.-Análisis de información.....	42
IV.-RESULTADOS.....	45
4.1.-Evaluación del transductor integral.....	45
4.2.-Calibración de los sensores.....	47
4.2.1.-En la figura (4.4) se muestra al sensor integral y el marco construido para su evaluación bajo condiciones de laboratorio.....	47
4.2.2.-Graficas de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.74 m, 0.64 m, 0.54 m y 0.49 m con el octagonal rojo a una distancia de 0.435 m, 0.39 m, 0.48m.	48
4.2.3.-Graficas de comportamiento de los octagonales y del octagonal rojo a diferentes distancias de 0.39m, 0.43.5m, 0.48m y con un brazo de palanca fijo a 0.74 m.....	52
4.2.4.-Análisis de varianza y comparación de la posición de los octagonales rojo, rojo-amarillo, amarillo y verde con respecto de la fuerza resultante.....	54
V.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
VI.-BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	60
VII.-ANEXOS.....	63
7.1.-Graficas de datos con un brazo de palanca fijo a 0.49m y el octagonal rojo a diferentes distancias de 0.39m, 0.435m y 0.48m. También el brazo de palanca a distancias de 0.74m, 0.64m y 0.54m con el octagonal rojo fijo a la distancia de 0.435m.	64

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura (1.1) Fuerza de arrastre de un implemento acoplado al tractor.	3
Figura (1.2) Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor (Hinojosa 2003).	7
Figura (2.1) El valor de la fuerza vertical V se incrementa con la velocidad (Randolph).	16
Figura (2.2) El estado de deformación en tensión o compresión.	17
Figura (2.3) Estado de deformación (flexión).	18
Figura (2.4) Estado de deformación en torsión.	20
Figura (2.5) Fuerzas actuando en un elemento del anillo.	20
Figura (2.6) Diagrama de adquisición y procesamiento de datos.	26
Figura (2.7) Muestra un galga extensiométrica.	28
Figura (2.8) a) Muestra laminillas apiladas a 90 grados; b) laminilla plana a 90 grados.	29
Figura (2.9) Puente de Wheatstone (Godwin, 1993).	31
Figura (3.1) Medición de parámetros para pruebas de implementos bajo condiciones de campo.	34
Figura (3.2) Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor.	35
Figura (3.3) Sensor Octagonal.	36
Figura (3.4) Modelo de la galga extensiométrica KFG-5-350-C1-11.	37
Figura (3.5) Localización de las galgas y puentes de Wheatstone.	37
Figura (3.6) Estructura flotante.	38
Figura (3.7) Marco de calibración del transductor integral. Ozuna (2011).	40
Figura (3.8) Captura de datos de una sesión de DaqView.	41
Figura (4.1) Dimensiones del octagonal. Acero 1018, con un esfuerzo a la tensión de 343 MPa.	45
Figura (4.2) Galgas montadas y cableadas en el sensor octagonal extendido con capacidad de 40 kN.	46
Figura (4.3) aparato empleado para la calibración en forma individual de los Octagonales de anillo extendido (OAE).	47
Figura (4.4) Marco de calibración del sensor integral.	47
Figura (4.5) Grafica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.74 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.435 m.	48
Figura (4.6) Grafica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.64 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.435 m.	49
Figura (4.7) Grafica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.54 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.435 m.	49
Figura (4.8) Grafica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.49 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.435 m.	50
Figura (4.9) Grafica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.49 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.39 m.	50
Figura (4.10) Grafica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.49 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.48 m.	51

Figura (4.11) Grafica de datos del octagonal rojo desfasado a los 0.39m, 0.435m, 0.48m con respecto al centro y con un brazo de palanca fijo a 0.74m.	52
Figura (4.12) Grafica de datos del octagonal Rojo-Amarillo con respecto del octagonal rojo desfasado a los 0.39m, 0.435m, 0.48m con respecto al centro y con un brazo de palanca fijo a 0.74m.....	52
Figura (4.13) Grafica de datos del octagonal amarillo con respecto del octagonal rojo desfasado a los 0.39m, 0.435m, 0.48m con respecto al centro y con un brazo de palanca fijo a 0.74m.....	53
Figura (4.14) Grafica de datos del octagonal verde con respecto del octagonal rojo desfasado a los 0.39m, 0.435m, 0.48m con respecto al centro y con un brazo de palanca fijo a 0.74m.....	53
Figura (7.0) Diagrama de cuerpo libre.	63
Figura (7.1) grafica de datos con el brazo de palanca a 49 cm de distancia con respecto al centro y el octagonal rojo a 39 cm de distancia.	64
Figura (7.2) grafica de datos con el brazo de palanca a 49 cm de distancia con respecto al centro y el octagonal rojo a 43.5 cm de distancia.	64
Figura (7.3) grafica de datos con el brazo de palanca a 49 cm de distancia con respecto al centro y el octagonal rojo a 48 cm de distancia.	65
Figura (7.4) grafica de datos con el brazo de palanca a 74 cm de distancia con respecto al centro y el octagonal rojo a 43.5 cm de distancia.	65
Figura (7.5) grafica de datos con el brazo de palanca a 64 cm de distancia con respecto al centro y el octagonal rojo a 43.5 cm de distancia.	66
Figura (7.6) grafica de datos con el brazo de palanca a 54 cm de distancia con respecto al centro y el octagonal rojo a 43.5 cm de distancia.	66

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro (1.1) Valores nominales de las galgas, características ajustadas en el DaqBook 2000 y valor de la constante de calibración para cada octagonal.	4
Cuadro (2.1) Determinación de fuerza de tiro de diferentes implementos integrales....	14
Cuadro (2.2) Media de las fuerzas y momento en un subsoleador.	14
Cuadro (2.3) Rango de fuerzas en implementos.....	15
Cuadro (2.4) Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento.....	15
Cuadro (2.5) Localización de los nudos de concentración de esfuerzos derivados por diferentes investigadores.....	24
Cuadro (2.6) Concentrado de constantes de cuadros de calibración con cargas desfasadas y concentradas.	33
Cuadro (4.1) Voltajes de excitación, ganancias y constantes de calibración de los sensores para la fuerza horizontal (F_x).....	46
Cuadro (4.2) Análisis de varianza de la posición del octagonal rojo con respecto de la fuerza resultante.....	54
Cuadro (4.3) (A, B) Comparación de medias para la posición del octagonal rojo y de la fuerza resultante.....	55
Cuadro (4.4) Análisis de varianza de la posición del octagonal rojo-amarillo con respecto de la fuerza resultante.....	55
Cuadro (4.5) (A, B) Comparación de medias para la posición del octagonal rojo-amarillo y de la fuerza resultante.....	56
Cuadro (4.6) Análisis de varianza de la posición del octagonal rojo sobre la magnitud de la fuerza detectada en el OAE amarillo.....	56
Cuadro (4.7) (A, B) Comparación de medias para la posición del octagonal amarillo y de la fuerza resultante.....	57
Cuadro (4.8) Análisis de varianza de la posición del octagonal verde con respecto de la fuerza resultante.....	57
Cuadro (4.9) (A, B) Comparación de medias para la posición del octagonal verde y de la fuerza resultante.....	58

RESUMEN

Se hizo una evaluación del comportamiento del sensor integral bajo condiciones de laboratorio empleando cuatro OAE´S (octagonales extendidos) con una capacidad de cada uno de ellos de 80 kN y un momento de 64 kN-m. La sensibilidad promedio de los cuatro octagonales calibrados en forma individual fue de 15.57 con una R Sqr (cuadrada) superior al 99%. Para las evaluaciones se emplearon 8 diferentes cargas haciendo un total de 347 kg. Las posiciones de la fuerza resultante con respecto a la barra principal fueron de 0.49, 0.54, 0.64 y 0.74m y las posiciones del OAE´S rojo fueron de 0.39, 0,435 y 0.48m. El sensor integral en los OAE´S verde-amarillo detecto el cambio de posición de la fuerza resultante, efecto no deseado para la medición de las fuerzas que actúan en los implementos de labranza. De acuerdo con los resultados obtenidos existe un efecto de la posición del octagonal rojo para la misma magnitud de la fuerza resultante sobre la magnitud de las fuerzas detectadas por los octagonales verde y amarillo. Así mismo se comprobó que no existe un efecto del cambio de posición del octagonal rojo ni de la posición de la fuerza resultante sobre la magnitud de la fuerza detectada en el octagonal rojo-amarillo. Por lo anterior se requiere hacer un análisis del cuerpo libre para determinar el conjunto de ecuaciones que permita calcular la magnitud de la fuerza resultante sin verse afectada por la posición de la misma utilizando los valores instantáneos de los momentos registrados por los OAE´S verde, amarillo y rojo.

PALABRAS CLAVES: Sensor Octagonal Extendido, Fuerzas de Labranza, Galgas Extensiométricas.

Correo electrónico; Refugio Sandoval Figueroa

Black_mex.10@hotmail.com

I.-INTRODUCCIÓN.

En la actualidad el incremento de los costos de los productos derivados del petróleo (combustible), ocasiona que actividades como la preparación de suelo en la agricultura busque alternativas para alcanzar la producción y sustentabilidad de los alimentos. Se requiere para las labores primarias de suelo altos consumos de combustible, tan solo en una sola labor se tienen registros superiores a los 35 litros por hectárea (IDAE, 2005). Por eso en los últimos años se ha incrementado el interés por el uso eficiente de la energía, la conservación de los recursos de 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 de los residuos. Cada año se da más énfasis al uso de las labranzas mínimas y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura de temporal (FAO, 2002).

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

Hoy en día, debido al uso excesivo e inadecuado de los implementos de labranza, se provoca la degradación de suelo y genera la baja rentabilidad de los cultivos; la búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implantación de sistemas de labranza de tipo conservacionista (no inversión del suelo), incluyendo a la labranza vertical, con el fin de disminuir el impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo.

Por lo anterior es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo (Camacho y Rodríguez, 2007).

En nuestro país, no se cuenta con información acerca de 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).

Con relación a esta problemática, el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA), al igual que otras instituciones mexicanas de investigación, se encuentran trabajando en la elaboración de métodos y manuales de pruebas para la evaluación de maquinaria y equipo agrícola. El objetivo global del proyecto CENEMA es el de coadyuvar al desarrollo y extensión del uso de maquinaria agrícola adecuada y segura para pequeños y medianos productores (Ochoa 2002).

Una prioridad para la evaluación de implementos 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 (Figura1.1).

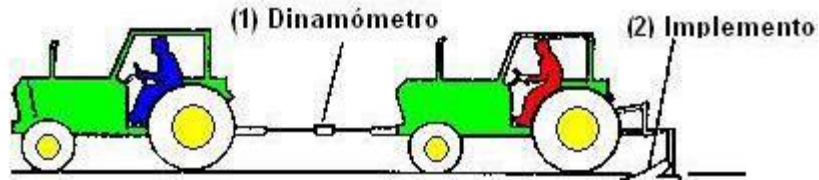


Figura (1.1) Fuerza de arrastre de un implemento acoplado al tractor.

Las empresas que producen implementos agrícolas, en fechas recientes se han preocupado por implementar diseños óptimos y controlar la calidad de los diseños ya existentes. Debido a los pocos conocimientos de los mismos fabricantes acerca de las necesidades de la fuerza de tracción para los implementos, así como la potencia consumida por cada implemento para efectuar las labores específicas, se hace necesario conocer la magnitud y dirección de las fuerzas de reacción del suelo sobre un implemento, por lo que se requiere contar con instrumentos capaces de medir en forma precisa dichos parámetros para la evaluación de implementos de labranza bajo condiciones de campo. El contar con los instrumentos antes mencionados y sensores servirá para dar servicio a fabricantes de equipo agrícola, así como generar información para desarrollar nuevas tecnologías donde no se pierda o consuma demasiada potencia y combustible, que en un momento determinado redunde en gastos para el productor agropecuario y disminuya por un lado su capacidad económica y por consiguiente aumenta su capacidad de producción del mismo (Campos, 2000).

Ante esta situación, es posible desarrollar e implementar un instrumento integral confiable que reemplace el utilizar dos tractores, como es especificado en el desarrollo de normas con la finalidad de reducir costos y aumentar la confiabilidad de los resultados.

1.1.-Antecedentes.

Calibración de sensores octagonales extendidos.

En el cuadro (1.1) se muestran los valores de las ganancias ajustadas en el DaqBook 2000 y en el DBK43A para cada uno de los sensores empleados. Se muestran las constantes de calibración obtenidas para los valores de F_x cuando los sensores fueron cargados tanto axialmente en la canastilla de calibración (axial, rojo, verde y amarillo) como con brazo de palanca en el módulo de calibración del sensor integral (verde-azul y rojo-amarillo).

Cuadro (1.1) **Valores nominales de las galgas, características ajustadas en el DaqBook 2000 y valor de la constante de calibración para cada octagonal.**

Sensores	Canal	Input Gain	Scaling Gain	Galgas	Voltaje de excitación	Constante NmV^{-1}
1 axial	6	4.71	4.60	350 Ω	9.48	15.55
2 OC-rojo	0	4.46	4.47	120 Ω	5.50	20.85
3 OC-verde	4	4.52	4.54	350 Ω	9.60	15.86
4 OC-amarillo	5	4.43	4.45	350 Ω	9.62	15.85
6 OC-ro_am	2	4.50	4.50	350 Ω	9.50	15.58

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, controlando variables del suelo como son humedad y densidad.

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 parásitas (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).

Graham et al. (1990) desarrollaron como parte de un sistema de monitoreo de variables, un transductor de tipo hidráulico empleado para medir fuerzas de tiro en la evaluación de implementos remolcados. El sistema consistió de un cilindro de simple acción conectado entre el tractor y el implemento. Se empleó un transductor de presión para convertir esta a una señal eléctrica. Una respuesta lineal fue obtenida entre la presión ejercida por el tiro y la salida en mV. El inconveniente de este sistema, a pesar de su alta confiabilidad, es que solamente mide una componente de la fuerza resultante.

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 and 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.

Backer 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 lo presenta Thomas Fontain en 1991, evaluó un sistema de transductor de platos flotantes de seis componentes.

Estas componentes permiten la medición de la fuerza de reacción en las tres direcciones. Los sensores empleadas en la medición de las fuerzas de reacción fueron celdas de carga.

Encontrando en sus resultados sensibilidades cruzadas del orden +5 por ciento. El método de análisis de las vigas en cantiliver empleadas como transductores es explicado ampliamente por Sakurai (1996). En él señala como las fuerzas son determinadas a través de un análisis de suma de momentos en un punto en 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).

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. 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 (1.2).

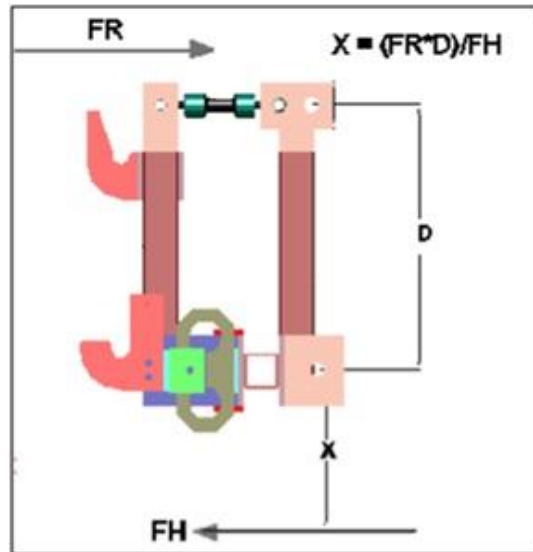


Figura (1.2) Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor, (Hinojosa 2003).

Bonifaz (2012) rediseño, construyó y evaluó un sensor integral con capacidad de 80 kN para las fuerzas horizontal y vertical 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 Newtons vs mV, muestran una alta linealidad con un coeficiente de correlación R sqrt del 99% para ambas cargas, tanto en el plano vertical (F_y) como el plano horizontal (F_x).

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 seis 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 una factor de correlación por encima del 99 %.

Pérez (2013) para determinar los requerimientos de fuerza en la labranza vertical desarrolló y evaluó dos transductores integrales de 40 kN de capacidad cada uno, para la medición de la fuerza en dos direcciones y el momento, en la cual utilizo dos cinceles frontales sin alas a 0.20m de profundidad y un cincel trasero, con seis arreglos diferentes (sin alas, con alas medianas y grandes) trabajando a 0.20m y 0.30m de profundidad. Las constantes de calibración de los octagonales bajo condiciones de laboratorio fueron para FX(13.58), FY(20.33), Momento(4.37) en el caso del octagonal rojo-amarillo, para el octagonal verde-azul, FX(15.29), FY(6.88) ambos octagonales con un coeficiente de correlación superior al 99% en la eficiencia del monitoreo y detección de las fuerzas.

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.

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.

Tomando en cuenta la importancia que tienen las pruebas y evaluaciones de la maquinaria agrícola, para su correcta selección, de tal forma que se garanticen los mejores índices técnico–económicos durante su explotación bajo condiciones

específicas de cada país, y considerando el interés para México, el objetivo fundamental de evaluación técnica de equipos es proveerle al agricultor de escasos recursos económicos equipo confiable que rinda un beneficio neto positivo y atractivo (AFRC, 1990).

La mejoría en calidad de las técnicas de evaluación de un programa de pruebas nacional o regional sería de beneficio para varios grupos, entre ellos:

- Fabricantes locales de implementos agrícolas.
- Extensionistas laborando en programas de desarrollo rural.
- Bancos de crédito rural que toman decisiones acerca de líneas de crédito extendidas a los pequeños productores.
- Proyectistas y tomadores de decisiones en los sectores agrícolas e industriales.

Además la disciplina de evaluación científica desarrolla las aptitudes de observación y medición precisa, aspectos fundamentales en la capacitación de ingenieros agrícolas.

El propósito principal de obtener datos del comportamiento de un equipo es compararlo con el requerimiento para el cual fue diseñado, Crossley y Kilgour (1983). 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).

Esta propuesta tiene como propósito el rediseñar un transductor basado en la propuesta de Hinojosa (2003), que pueda ser utilizado para la evaluación de

implementos integrales de labranza tales como: multiarado, arado, rastra, vibrocultivador, 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 de desarrollo de las normas como son las de arados, rastras y sembradoras que comprenden la medición de la magnitud de este parámetro, además en la creación de bancos de pruebas, así como para dimensionar implementos en cuanto a magnitudes de las fuerzas de tiro, penetración y localización de la fuerza resultante.

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 la longitud de la 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., 1979).

1.2.-Objetivos e Hipótesis.

Objetivo General:

Rediseñar, construir y calibrar un transductor integral confiable con capacidad de 80 kN de tiro y fuerza vertical, 120 kN de par, así como 70 kN de transferencia de peso, para la determinación de las magnitudes y posición de las fuerzas que actúan en implementos integrales a tractores categoría II.

Objetivos específicos:

- Evaluar bajo condiciones de laboratorio y campo un transductor que pueda medir las fuerzas de reacción del suelo, en implementos integrales.
- Determinar la transferencia de peso por el implemento hacia el tractor.

Hipótesis:

Mediante el uso del este dinamómetro (transductor octagonal extendido) se podrá determinar las fuerzas de reacción del suelo en implementos integrales.

II.-REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1.-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 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.

2.1.1.-Factores de diseño para herramientas de labranza.

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

- Habilidad para obtener penetración del implemento bajo condiciones adversas, particularmente con implementos tales como rastras de discos y arados de discos.
- Efecto del implemento sobre la habilidad tractiva 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 un

suelo (cambiar, mover o formar) que requiere cambiar una condición de éste.

Tres factores resumidos de diseño son necesarios, (a) condición inicial del suelo, (b) forma de la herramienta y la manera del movimiento de la herramienta y (c) 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 manipular el suelo.

2.1.2.-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.

Hunt (1983) enlista los requerimientos de potencia, de tiro y de energía de varias máquinas de campo mostradas en el cuadro (2.1).

Cuadro (2.1) **Determinación de fuerza de tiro de diferentes implementos integrales.**

Implemento		FH (kN)	Energía o trabajo kW h/Ha
Arado	3 discos	12.649	22.1 – 46.1
	4 discos	16.865	
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, 1983.

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) con pruebas realizadas con un dinamómetro integrado al tractor tirando de un arado de cinceles, determinaron las magnitudes de las fuerzas y momentos a 0.30 y 0.43m. de profundidad mostradas en el cuadro (2.2).

Cuadro (2.2) **Media de las fuerzas y momento en un subsoleador.**

Parámetros	Profundidad 0.30 m.	Profundidad 0.43 m.
Fuerza de tiro kN	14.300	27.675
Fuerza vertical kN	- 3.175	- 9.125
Momento kN m	7.805	16.000
Fuerza en el enganche superior kN	15.125	23.370

Fuente: Garner, 1988.

La norma ASAE D230 reporta la fuerza de tiro funcional para los diferentes implementos de labranza. En el cuadro (2.3) se muestran los valores extremos para la determinación de la fuerza de tiro en diferentes implementos:

Cuadro (2.3) **Rango de fuerzas en implementos.**

Implemento	Rango de la fuerza de tiro	Variables
Arado de vertederas	$7+0.049s^2$ a $2+0.013s^2$ (N/cm ²)	S = velocidad (Km./h)
Arado de discos	$5.2 + 0.039s^2$ a $2.4+0.045s^2$ (N/cm ²)	S = velocidad (Km./h)
Rastra de discos	14.7 M a 7.8 M (N)	M = masa (peso Kg.)
Subsuelo	120-190d a 175-280d (N)	D = profundidad
Sembradora	1100 a 800/fila N/fila	

Fuente: Norma ASAE D230.

Marin (2003) 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 suelo – implemento como se muestra en el cuadro (2.4).

Cuadro (2.4) **Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento.**

Implementos	Fuerza en la barra de compresión			Fuerza en el 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	1.50
Multiarado (1 timón)	0.34	30.83	34.07	22.06	32.05	1.40
Multiarado (2 timones)	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: Omaña (2003).

En donde:

Fc=Fuerza en la barra de compresión y

FT=Fuerza en el Tiro.

2.1.3.-Relación de la Fuerza Vertical y Horizontal.

Un arado de vertederas generalmente tiene una 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 de suelo, condición del suelo, profundidad de corte, 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 (2.1), pero con una tendencia en algunos suelos para una reducción ligera de la relación V/L. La relación V/L de las pruebas realizadas en un tanque de suelos esquematizadas se obtienen rangos de relación de 0.5 a 0.6 para las arenas y de 0.35 a 0.45 para limos arenoso finos. Resultados reportados por pruebas de campo en varios tipos y condiciones de suelos, presumiblemente con partes en condiciones buenas dan rangos de relaciones V/L de 0.1 a 0.3.

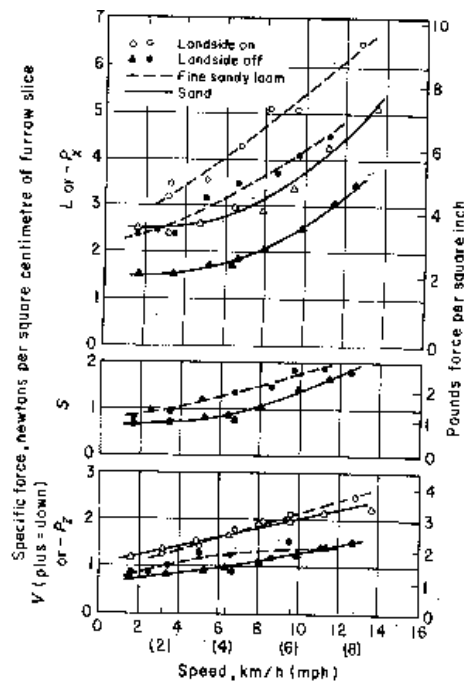


Figura (2.1) El valor de la fuerza vertical V se incrementa con la velocidad (Randolph).

2.2.-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 el funcionamiento de maquinaria, como el arado, ya que 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 ya que permite medir no solo una magnitud y una dirección de fuerza, sino también una posición en la línea de acción.

- 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 Figura (2.2).

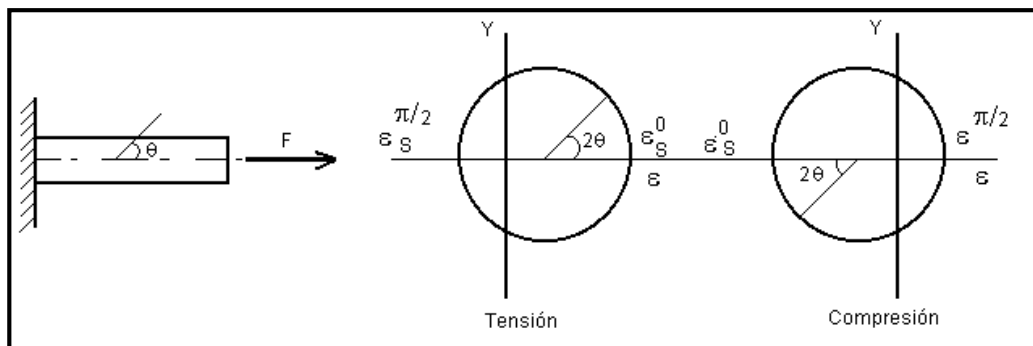


Figura (2.2) El estado de deformación en tensión o compresión.

Las deformaciones máximas principales están dadas por:

$$\varepsilon_s^0 = \frac{\sigma_s^0}{E} = \frac{F}{EA} \quad (2.1)$$

$$\varepsilon_s^{\frac{\pi}{2}} = -\mu \varepsilon_s^0 \quad (2.2)$$

Donde:

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

σ_s^0 =Esfuerzo 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=Módulo 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 (2.3).

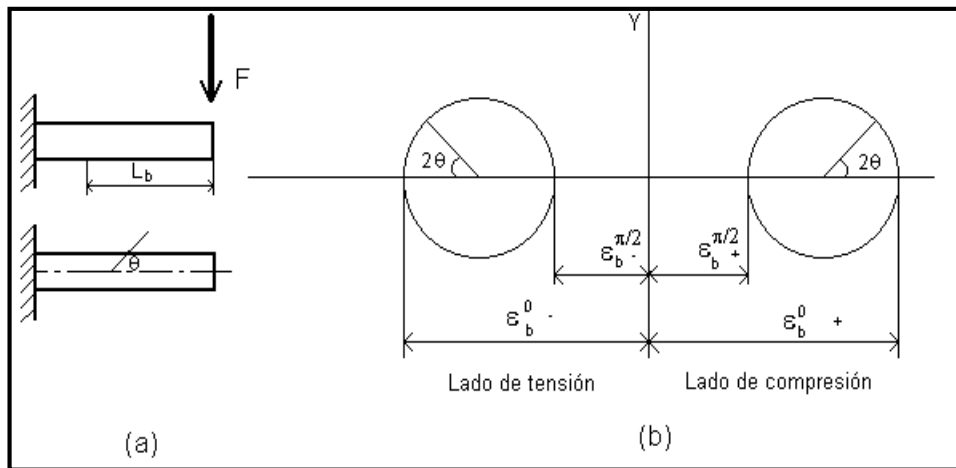


Figura (2.3) Estado de deformación (flexión).

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

$$\varepsilon_b^{0\pm} = \pm \frac{\sigma_0}{E} = \pm \frac{M}{EZ_b} = \pm \frac{FL_b}{EZ_b} \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_b^{\pi\pm} = \mu \varepsilon_b^{0\pm} = \pm \mu \frac{M}{EZ_b} = \pm \mu \frac{FL_b}{EZ_b} \quad (2.4)$$

Dónde:

$\varepsilon_b^{0\pm}$, $\varepsilon_b^{\frac{\pi}{2}\pm}$ = deformación normal a $\theta = 0$ y $\pi/2$ 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:

$$Z_b = \frac{2I}{d'} \quad (2.5)$$

Dónde:

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 (2.4).

Las deformaciones principales máximas y mínimas están dadas por:

$$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}}, \sigma_t^{\frac{\pi}{4}} = \frac{\tau_t}{G} = \frac{T_t}{GZ_p} = \frac{FL_t}{GZ_p} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}} = -\sigma_t^{\frac{\pi}{4}} = -\frac{\tau_t}{G} = -\frac{T}{GZ_p} = -\frac{FL_t}{GZ_p} \quad (2.7)$$

Dónde:

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

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

G = Módulo 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 (2.4) una deformación para un ángulo θ arbitrario se representa por:

$$\varepsilon_t = \frac{F L_t}{G Z_p} \sin 2\theta \quad (2.8)$$

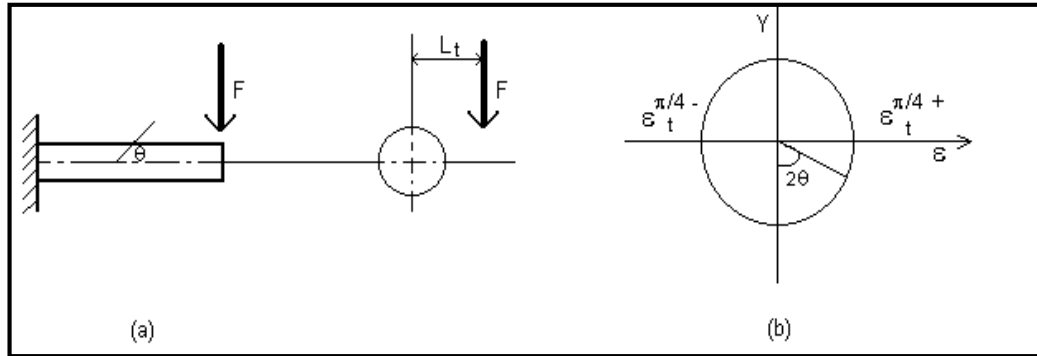


Figura (2.4) Estado de deformación en torsión.

2.3.-Análisis teórico del diseño del 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 (2.5) se muestran las fuerzas actuando en un elemento del anillo; donde el momento flexionante ($M\theta$) a cualquier punto en el anillo es calculado y es dado por la ecuación

$$M\theta = \frac{1}{2} F_x r (\sin \theta - 2/\pi) - \frac{1}{2} F_y r \cos \theta \quad (2.9)$$

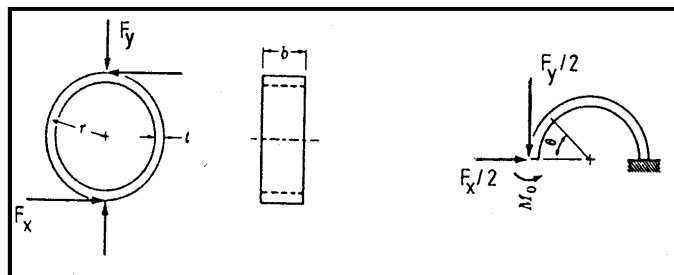


Figura (2.5) Fuerzas actuando en un elemento del anillo.

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

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

$$\varepsilon_{39.6^\circ} = \frac{2.31 F_y r}{E b t^2} \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{1.09 F_x r}{E b t^2} \quad (2.11)$$

Para propósitos prácticos, principalmente para evitar la rotación del anillo debido a la fuerza vertical (F_y), una versión extendida del anillo fue sugerida por Cook *et al.* (1963) citado por Varela (2000). Se encontró que con esta modificación práctica, el anillo de carga, y la colocación del nodo de deformación para la fuerza horizontal cambiaba a $\theta = 50^\circ$ pero permanecía a $\theta = 90^\circ$ para así generar las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon_{50^\circ} = \frac{1.4 F_y r}{E b t^2} \quad (2.12)$$

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{0.7 F_x r}{E b t^2} \quad (2.13)$$

Como resultado del análisis de esfuerzo - deformación de los anillos extendidos, (Cook *et al.* 1963) derivó la ecuación 2.14 que envuelve la relación sensibilidad del momento flexionante – rigidez. Esta ecuación es básica para el diseño de cualquier tamaño de Anillo Octagonal Extendido.

$$K = 6.626 - 19.63M_s + 21.142M_s^2 - 8.699M_s \quad (2.14)$$

Esta ecuación da la relación básica para el diseño del anillo extendido donde los términos ($M_s = \varepsilon E b t^2 / M$) y ($K = L/r$) son la sensibilidad del momento sensitivo (M_s) y la rigidez respectivamente (K).

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

Las sensibilidades experimentales determinadas por Godwin (1975). Son dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{1.5 F_y r}{E b t^2} \quad (2.15)$$

$$\epsilon_{34^\circ} = \frac{1.66 F_x r}{E b t^2} \quad (2.16)$$

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 $[\epsilon/S(x, y)]$. Esta relación representa la cantidad de deformación por unidad de desplazamiento relativo del anillo del fondo medio. La relación (ϵ/S) puede ser expresada como una función de las dimensiones principales del anillo (t , r y b) y están dadas por la ecuación 2.17.

$$\epsilon/S_x = 0.60 t/r^2 \quad (2.17)$$

Para obtener máxima ejecución del anillo en la tensión 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, esto puede verse en la ecuación (2.18).

$$\left\{ \frac{t}{r^2} \right\} = \frac{M}{\sigma_{\max} t r^2 b} \quad (2.18)$$

La ecuación anterior puede verse que para mejorar la relación de (ϵ / S_x), estos deben ser valores relativamente pequeños de (t, r 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 montado de las 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 son dadas por las ecuaciones siguientes:

$$\epsilon_{22.5^\circ} = \frac{2.66Fxr}{Ebt^2} \quad (2.19)$$

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{1.13Fyr}{Ebt^2} \quad (2.20)$$

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 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 $\theta=391/4^\circ$ y se encontró que las sensibilidades para cada nudo de deformación fueron:

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{2.12Fxr}{Ebt^2} \quad (2.21)$$

$$\varepsilon_{39.25^\circ} = \frac{2.24F_y r}{E b t^2} \quad (2.22)$$

En el cuadro (2.5) 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 como sus respectivas sensibilidades derivadas por investigadores diferentes.

Cuadro (2.5) **Localización de los nudos de concentración de esfuerzos derivados por diferentes investigadores.**

SITUACIÓN DE NUDO DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS (θ)			SUGERIDO POR DIFERENTES AUTORES	
NUDO			SENSITIVIDAD (ε)	
	θF_y	θF_x	F_x	F_y
Anillo de carga (Cook, 1963)	90°	39.6°	$\frac{1.09 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{2.31 F_y r}{E b t^2}$
Anillo exterior (Cook, 1963)	90°	50°	$\frac{0.7 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{1.4 F_y r}{E b t^2}$
Godwin (1975)		90°	$\frac{1.5 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{1.4 F_y r}{E b t^2}$
(Anillos espaldas no discretas) (Godwin, 1993)	90°	22.5°	$2.66 F_x r$ $E b t^2$	$1.13 F_y r$ $E b t^2$
Campos (1992)	90°	39.25°	$2.12 F_x r$ $E b t^2$	$2.24 F_y r$ $E b t^2$

2.4.-Transductores.

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

1. **Etapa detectora - transductora**, la cual detecta la variable física y efectúa una transformación, ya sea mecánica o eléctrica para convertir la señal a una forma más manejable. Generalizando el concepto, un transductor es un dispositivo que transforma un efecto físico en otro, y en la 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**, la cual 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**, en la cual se indica, graba o controla la variable que va a ser medida.

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. Éstos 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 (2.6) se muestra un diagrama de bloques de un sistema típico de medición empleado en la recolección de datos.

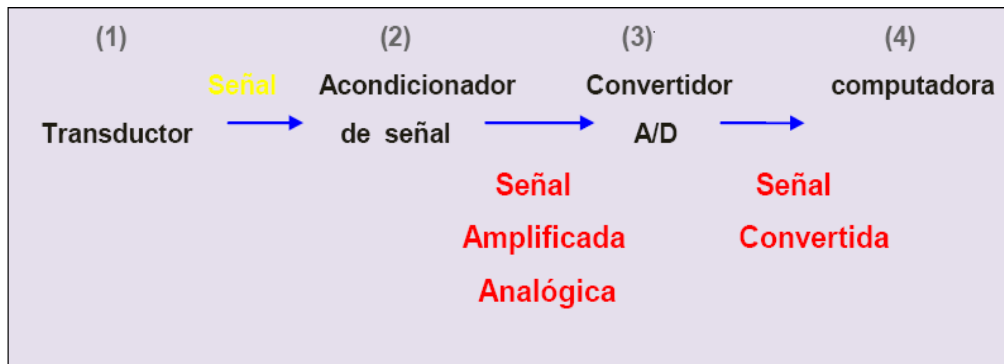


Figura (2.6) Diagrama de adquisición y procesamiento de datos.

2.4.1.-Factores involucrados en la selección para el diseño de un transductor.

La necesidad de conocer con precisión la magnitud y dirección de las fuerzas de reacción del suelo que actúan sobre un implemento en particular, es requisito para su diseño óptimo, y 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 la 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 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 sensibilidad 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 dos 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, éste 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, y es censada 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 fuerzas, 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 y salida de galga, temperatura característica, deslizamiento característico, endurecimiento y bajo costo (Moo, 1999).

2.4.2.-Galgas extensiométricas.

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

Para la configuración de las galgas, la forma del elemento sensor se selecciona de acuerdo con la tensión mecánica por medir; uniaxial, biaxial o multidireccional. Para aplicaciones uniaxiales a menudo se utilizan elementos sensores largos y angostos para maximizar la tensión del material sensor en la sección de interés como lo muestra en la Figura (2.7).

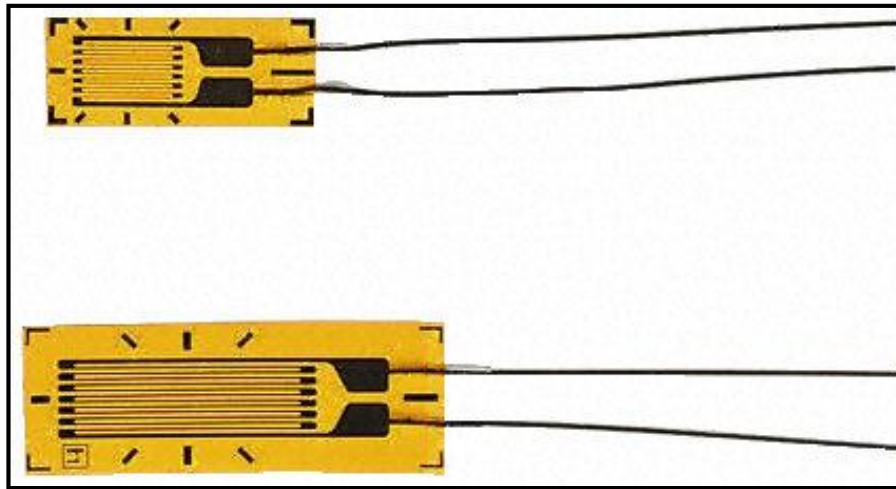


Figura (2.7) Muestra un galga extensiométrica.

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

Las siguientes rosetas pueden utilizarse en transductores de fuerzas. Las galgas se conectan en un circuito puente de Wheatstone para proporcionar una máxima salida. La Figura (2.8) muestra diferentes rosetas de dos elementos:

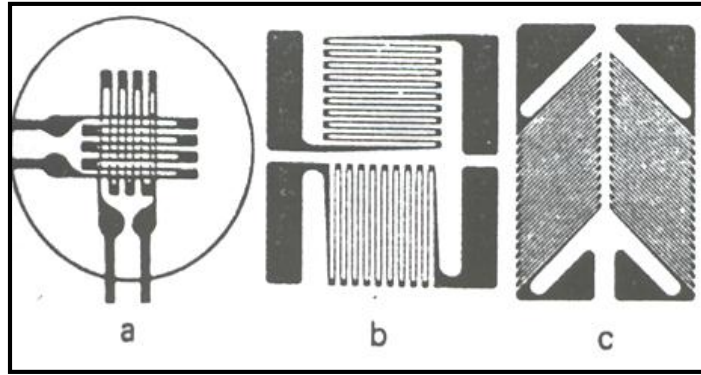


Figura (2.8) a) Muestra laminillas apiladas a 90 grados; b) laminilla plana a 90 grados; y c) laminillas planas a 45 grados

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:

$$\varepsilon = \frac{dL}{L} = \frac{\sigma}{E} \quad (2.23)$$

Dónde:

ε = Deformación

L = Longitud original

dL = Cambio en longitud debido a la deformación

σ = Esfuerzo.

E = Modulo de elasticidad

Según la ecuación (2.24), puede decirse que la tensión es obtenida por la determinación de deformación, en región elástica. Aunque hay varios métodos para determinar la deformación, se usan ampliamente las galgas para medir la deformación, porque la tecnología de usar métodos de la galga extensiométrica es la simplicidad de manejo y de alta precisión.

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

$$\frac{dR}{R} = K\varepsilon \quad (2.24)$$

Dónde:

R=Resistencia sin deformación;

dL =Incremento de la resistencia sin deformación;

K =Número fijo proporcional;

ε =Deformación.

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

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.25)$$

Dónde:

ρ = Resistividad

L = Longitud.

A = Área de la sección

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

2.4.3.-Puente de Wheatstone.

Los dispositivos electrónicos que son normalmente usados para medir $\varepsilon K = \frac{dR}{R}$ y

para convertir esta medición de cambio de resistencia en deformación, son el potenciómetro y el puente de Wheatstone como es mostrado en la Figura (2.9). El puente de Wheatstone puede determinar lecturas de galgas de tensión dinámicas y estáticas.

El voltaje de la excitación puede ser CA o DC. Aquí solo DC es considerada.

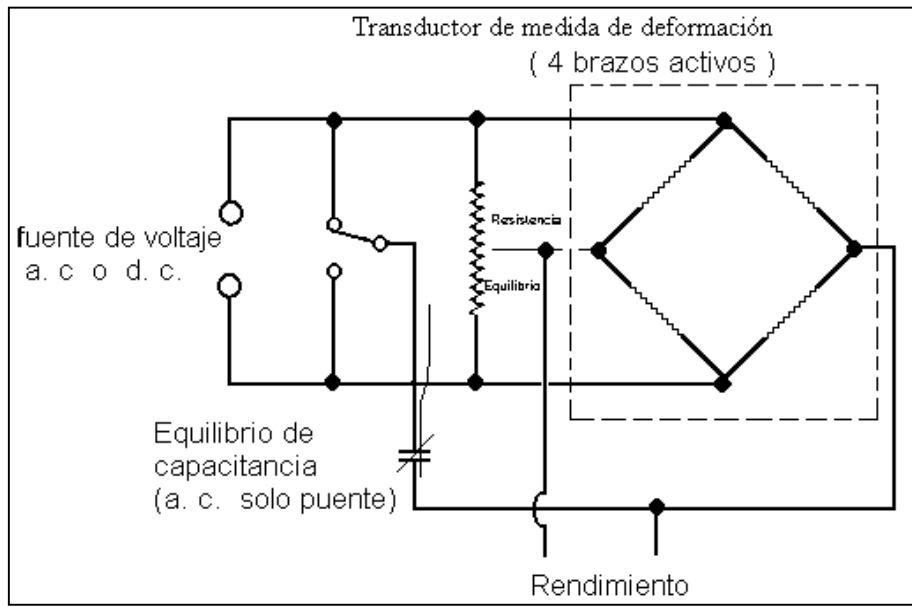


Figura (2.9) Puente de Wheatstone (Godwin, 1993).

De esto se puede desprender la ecuación

$$V = \frac{(U)(FG)(n)(\varepsilon)}{4} * Gain \quad (2.26)$$

Dónde:

V = Voltaje de salida esperado

U = Voltaje de excitación

n = Número de galgas activas

ε = Deformación

F_G = Factor de galga

Gain = ganancia

2.5.-Sistema de adquisición de datos.

Rogers y Johnston (1953). Indican la necesidad del procesamiento de datos de las 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 con una cámara de video de 16 cuadros/s. Aparentemente el procesamiento de datos para las fuerzas fueron obtenidos de un análisis de foto por foto de la filmación. Ellos fueron capaces de grabar las fuerzas en intervalos de distancias de 0.05m. 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. Licso (1988), Campos (2000), Graham (1989) 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, 2000). El anterior sistema permite reproducir en términos de energía lo que está sucediendo en interacción suelo herramienta. (Moo, 2000) desarrolló 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 la adquisición de datos de laboratorio comprende un tanque de suelos el cual se le adaptan el sistema y los transductores. Y para el análisis de información proveniente de los procesos de muestreo (conversión analógica a digital) se utilizó la metodología del algoritmo de la transformada rápida de Fourier para la obtención de la potencia espectral.

2.6.-Construcción y pruebas de un transductor integral.

Ramos (2010), indica que para la construcción satisfactoriamente de un transductor integral hay que tener una linealidad de más del 98% para todos los sensores en cargas combinadas. Ozuna (2011), describe que en las pruebas en un marco de calibración, si presenta una sensibilidad cruzada en cambios de posición de un 7% de la fuerza de tiro, indica que existe el efecto de un momento en los octagonales extendidos, como se muestra en el cuadro (2.6).

Cuadro (2.6) **Concentrado de constantes de cuadros de calibración con cargas desfasadas y concentradas.**

Sensor	Arreglo	Posición (M)	# Cargas	Constantes	R-Sqr	Relación entre constantes
Oct. Amarillo	Fx C. Concentrada	0.56	3	17,26	100%	1,14
		0.73	3	15,10	99,90%	
Ring Rojo	Tp C. Concentrada	0.56	3	27,28	100%	1,27
		0.73	3	21,46	100%	
Oct. Verde	Sup C. C.	0.56	1	29,21	99,70%	1,17
		0.73	1	24,86	100%	
	Inf C. C.	0.56	1	31,12	99,90%	1,19
		0.73	1	26,24	99,80%	
Oct. Amarillo	Fx C. Desfasada	0.56	4	12,70	100%	1,12
		0.73	4	11,31	99,90%	
Ring Rojo	Tp C. Desfasada	0.56	4	19,36	99,80%	1,20
		0.73	4	16,13	99,90%	
Oct. Verde	Sup C. D.	0.56	4	18,67	96,20%	1,02
		0.73	4	18,37	100%	
	Inf C. D.	0.56	4	21,66	99,70%	1,12
		0.73	4	19,28	99,80%	

III.-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 (3.1) (Hinojosa 2003).

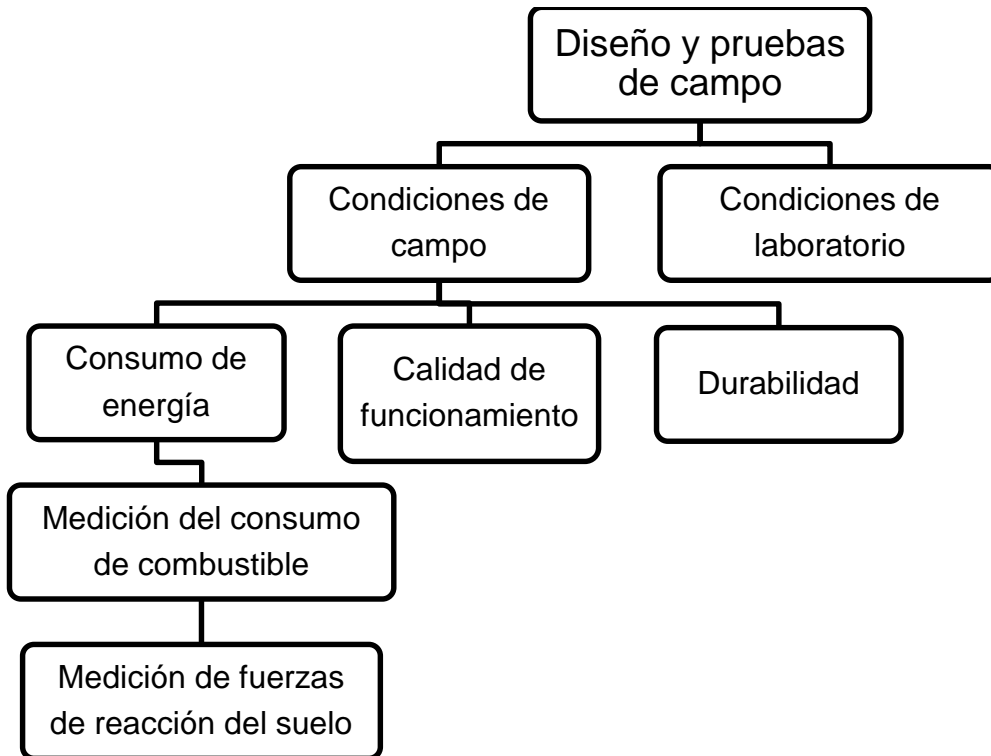


Figura (3.1) **Medición de parámetros para pruebas de implementos bajo condiciones de campo.**

Donde para las condiciones de campo es necesario determinar las magnitudes, posición y dirección de las fuerzas de reacción del suelo que actúan sobre un implemento de labranza. El propósito de esto es corroborar con las magnitudes de la fuerza de tiro y transferencia de peso para así dimensionar los transductores. Mediante el análisis de datos se toma como base la lectura promedio más alta de valores sumándole el pico más alto, determinado en valores de voltaje expresado en magnitudes de fuerza.

También se hace un análisis de perfil de cada uno de las repeticiones para determinar el área disturbada del suelo por el paso del implemento para contrastarlo con la fuerza requerida de cada arreglo del cincel con sus respectivas alas.

Los elementos que integran la propuesta son:

- a) Tres transductores octagonales con capacidad de 40 kN de fuerza.
- b) Un sistema de enganche.
- c) Una estructura flotante.

El diseño de la propuesta original (Hinojosa, 2003) a ser rediseñado se muestra en la Figura (3.2).

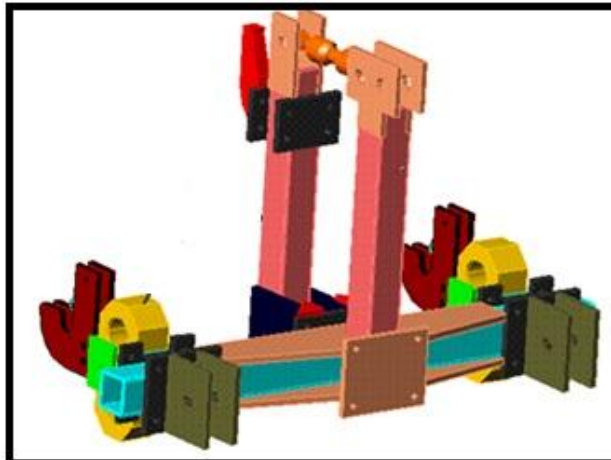


Figura (3.2) **Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor.**

3.1.-Criterios para las características del transductor.

Primeramente se estudiarán y se analizarán las diferentes fuerzas de algunos implementos conocidos de acuerdo a las tablas donde indican la fuerza de tiro y la transferencia de peso de los diferentes implementos de labranza, y se obtendrán los reportes de prueba de tractores de Nebraska y OECD, para tractores de categoría II, para así poder llegar a la conclusión de la capacidad de los sensores octagonales y del dinamómetro de transferencia de peso.

3.2.-Selección y dimensiones del material para los sensores.

Siguiendo con la propuesta de Hinojosa (2003), el material a utilizar será un acero 1018. Este acero de bajo carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria (<http://www.sumitec.com>).

Para obtener las dimensiones de los sensores octagonales se utilizará:

1. Una computadora de escritorio (marca Dell con un procesador Genuine Intel, una memoria RAM de 512 MB, con una capacidad en el disco duro de 34.1 GB).
2. Software de Turbo Basic que tiene por nombre “diseño de transductores”, que incluye dimensiones del anillo: radio, ancho y espesor del anillo; esfuerzo de cedencia del material (N/m^2), módulo de elasticidad; factores de seguridad y factor de galga, sensibilidad y voltaje de salida esperado. Este software involucra todos los factores de diseño variando el espesor (t) y radio (r), de manera que se obtengan las dimensiones específicas de aceros comerciales, ancho (b) y profundidad del anillo (DPT) como se ilustra en la Figura (3.3). Para el dinamómetro de transferencia de peso también se utilizará acero 1018. Y su factor de diseño respecto a los radios se obtiene mediante el factor de seguridad.

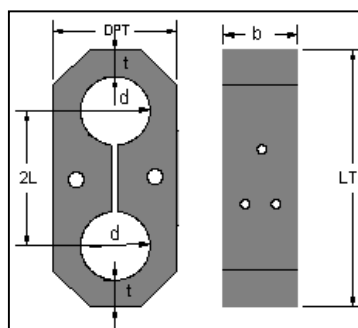


Figura (3.3) **Sensor Octagonal.**

3.3.-Fabricación de los sensores.

El maquinado de los sensores octagonales se elaboraran en la empresa Bison donde además nos fabricarán los acoplamientos para la estructura flotante.

3.4.-Acondicionamiento de sensores.

Se colocaran las galgas extensiométricas de acuerdo al puente de Wheatstone que le corresponda y se cablearan cada una de ellas; el tipo de galgas extensiométricas empleadas para llevar a cabo la determinación de la F_x y para el momento para tomar la referencia para el diseño del octagonal extendido fueron del tipo KFG-5-350-C1-11 con un factor de galga de 4.4.1, conectadas en un circuito de puente de "Wheatstone". Para el dinamómetro axial y para la F_y fueron del tipo KFG-3-120-C1-11N30C2 con un factor de galga de 2.09, conectada a un circuito de puente de "Wheatstone". Mostradas en la Figura (3.4).

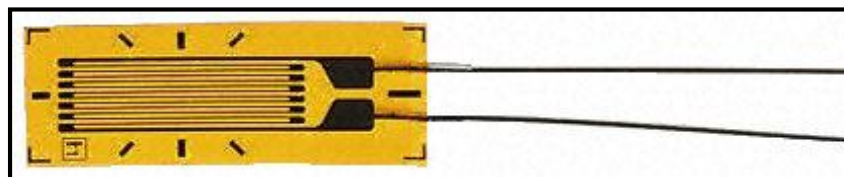


Figura (3.4) Modelo de la galga extensiométrica KFG-5-350-C1-11.

La localización de las galgas y los arreglos de los puentes de Wheatstone se muestran en la Figura (3.5).

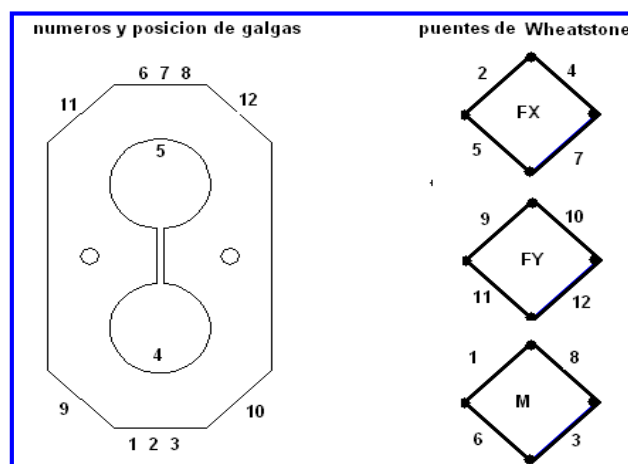


Figura (3.5) Localización de las galgas y puentes de Wheatstone.

3.5.-Estructura flotante.

Se utilizará como estructura flotante para colocar nuestros dinamómetros una parte del arado de cinceles del modelo MCC-357 de la marca BISON, acondicionado con placas para la colocación de los sensores octagonales como se muestra en la Figura (3.6).



Figura (3.6) Estructura flotante.

3.6.-Calibración del equipo y transductor.

Para esto se utilizará la computadora que anteriormente habíamos mencionado pero ahora con un software llamado “DaqView” que trabaja en conjunto con:

1. Un amplificador – acondicionador (DBK – 43A) con 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. Éste además provee el voltaje de excitación al transductor en un rango de 1 - 10 V y 100 mA.
2. Un convertidor analógico – digital (DakBook 200). El cual es un 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.

Éste módulo es integrado por seis voltajes diferenciales. Con una ganancia de 0.01 – 10 V y con una velocidad de muestreo de 25 – 625 E3 muestras por segundo. Con 16 canales analógicos y ocho canales digitales con rangos de ganancias en micro deformaciones de 100 a 10 K. Este sistema permite almacenar en forma instantánea los datos en el disco duro de la computadora 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, MINITAB y MATLAB.

3.6.1.-Preparación del equipo de adquisición de datos.

- a) Primeramente se conectará la estructura flotante al enganche de tres puntos del tractor, para así posteriormente enganchar el implemento con el cual se va a calibrar.
- b) Se coloca todo el equipo al tractor para después empezar a conectar, tomando en cuenta que los transductores octagonales y el transductor axial ya tienen incluido una tarjeta para conexión rápida con cables que van desde el octagonal hasta el DBK - 43a, considerando que hay que tener mucho cuidado en la conexión de los cables con los canales correspondientes del DBK – 43a
- c) El DBK-43a va conectado por medio de un puente al DaqBook/200.
- d) En el DaqBook/200, se conectan los cables de los datos: el que comunica al módulo con el puerto paralelo de la computadora. Se coloca el cable de alimentación que va de las baterías del DaqBook/200 a la unidad de proceso de datos. Se enciende el DaqBook/200 y el DBK - 43a.
- e) Con todo el equipo ya encendido y bien conectado, se ejecuta el programa DaqView. En este momento el sistema de adquisición de datos ya está activado, y es recomendable esperar de 5 a 10 minutos para iniciar la captura de datos, ya que las galgas extensiométricas deben alcanzar su temperatura de operación o de lo contrario se puede obtener datos erróneos.

Las pruebas de laboratorio se harán en un marco de calibración (Figura 3.7) elaborado por Ozuna (2011) y la metodología del mismo aplicando una carga escalonada de 4 niveles: de 2, 4, 6 y 8 kN y con un desfaseamiento de 0.54m, 0.64m, y 0.74m. Se combinará un sensor axial, con un octagonal y verificando con esto la magnitudes que censan cada uno de ellos, el transductor integral trabajará de forma estática, pero a su vez censando en conjunto con los cuatro dinamómetros (octagonal amarillo, octagonal verde, octagonal rojo, octagonal de energía), como también utilizar un arreglo de 3 octagonales y un axial (octagonal rojo, octagonal amarillo, octagonal de energía y dinamómetro axial como se muestra en la figura (3.7).

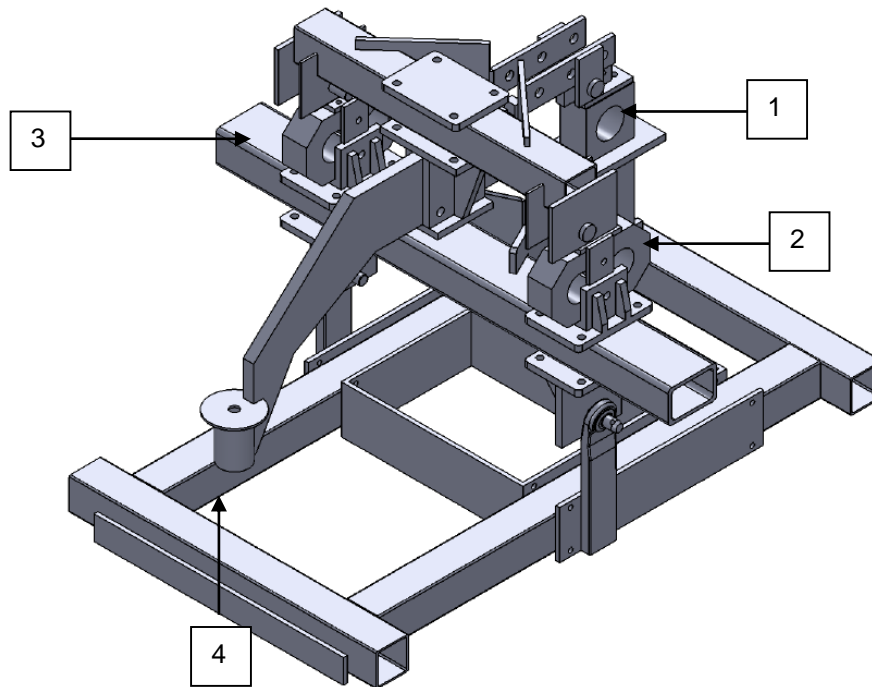


Figura (3.7) Marco de calibración del transductor integral. Ozuna (2011).

- 1.- Ring rojo se sustituirá por octagonal rojo (transferencia de peso).
- 2.- Octagonal amarillo.
- 3.- Octagonal verde que será comparado con el dinamómetro axial.
- 4.- Posición del octagonal de energía.

3.6.2.-Preparación del software para capturar datos.

La Figura (3.8) muestra una sección de DaqView y los parámetros que se deben configurar para iniciar el muestreo de información. Estos son: selección y configuración del hardware, configuración de los canales a ser censados, frecuencia de muestreo, cantidad de datos a registrar y nombre del archivo para guardar los datos.

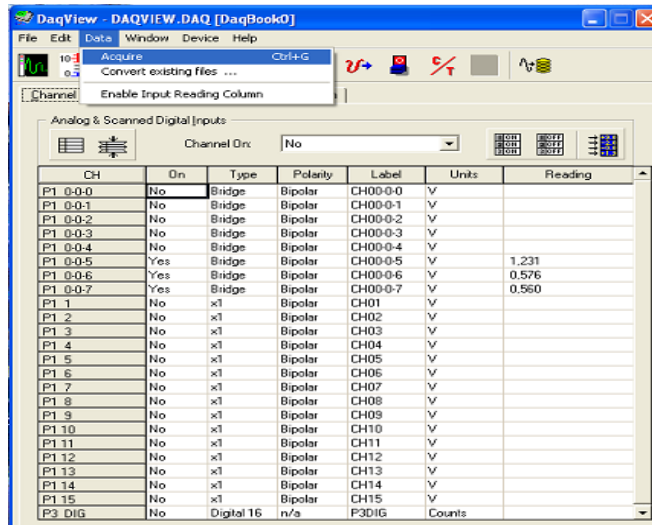


Figura (3.8) Captura de datos de una sesión de DaqView.

3.6.3.-Calibración directa del equipo.

Éste se calibra de acuerdo a los parámetros que nosotros queremos obtener. Se calibra canal por canal, pero antes debe de estar el DBK-43a en la posición de “cal” en la parte de atrás; se puede calibrar la excitación, offset, gain y scalling.

Para calibrar el bridge y ver en que rango se estarán guardando los datos, debe de estar el programa en ejecución y en posición normal, y girar el potenciómetro del offset hasta el valor deseado.

3.6.4Registro 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.

- b) Antes que nada tendremos que tener los tractores alineados en serie para que tenga la siguiente secuencia. En primer lugar tendremos el tractor Massey Ferguson, posteriormente tendremos colocado el dinamómetro axial entre el tractor Massey Ferguson y el tractor Jhon Deere. En seguida estará acoplado el transductor integral a los tres puntos de enganche del tractor Jhon Deere y por último tendremos acoplado el implemento (arado de cinceles) con los tres puntos de enganche del transductor integral.
- c) Se ponen en movimiento los dos tractores. El primer tractor tendrá que estar en segunda baja y el segundo tractor debe estar en neutral; se espera que pase un promedio de 300 datos ya adquiridos para bajar el hidráulico del tractor Jhon Deere en conjunto con el transductor integral y el implemento (arado de cinceles), en estado dinámico el transductor se inicia hasta que tenga un almacenamiento de información de 5000 datos, al llegar esta cantidad de datos adquiridos se procede a levantar el hidráulico del tractor, se deja que termine de almacenar los 7000 datos y se terminará una corrida. Este proceso se repite varias veces por cada diferente tipo de arreglo.
- d) De acuerdo a la calibración de cada dinamómetro octagonal, se estará almacenando la cantidad de 30 datos/segundo, con un total de 7000 datos que son los datos requeridos en tiempo para terminar un recorrido de 100 m en estado dinámico del transductor integral.
- e) Al término de cada repetición, automáticamente el programa lo guarda en la carpeta que nosotros habíamos destinado. Se procede a revisar los datos graficando canal por canal en el programa de Excel para observar que en realidad está funcionando nuestro dinamómetro.

3.7.-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 en 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 restando el primer valor de la columna con todos los valores de la misma columna para tener una mayor percepción del comportamiento del transductor integral en un estado dinámico. Ya hecha esta acción se procede a multiplicar cada una de las columnas por su constante correspondiente.

Este archivo puede ser leído por el programa “análisis5.m” el último dígito del nombre del programa se refiere a la cantidad de dinamómetros que puede procesar la frecuencia registrada. Éste se maneja en un ambiente de Matlab, que nos permite procesar toda la información contenida. Por medio de un análisis espectral se puede conocer las fuerzas que se presentan durante la operación del implemento.

La información que se obtiene del sistema de adquisición de datos es de tipo dinámico porque varía con el tiempo, y es aleatorio porque no tiene un comportamiento definido, ya que depende de las fuerzas en la interacción suelo – implemento que son registradas durante la operación de la herramienta.

Para determinar que herramienta requiere la máxima fuerza y así poder dimensionar el dinamómetro, es necesario conocer la magnitud de las fuerzas de reacción del suelo y su frecuencia correspondiente, para lo cual se realiza un análisis espectral de los datos obtenidos. Un espectro es una relación típicamente representada por una gráfica de la magnitud o valor relativo de un parámetro contra frecuencia. Cada fenómeno físico, ya sea electromagnético, mecánico, hidráulico, térmico o de algún otro sistema tiene un espectro único asociado a él.

Para conocer esta información se selecciona el algoritmo de la transformada rápida de Fourier incluido en el programa de Matlab. Éste algoritmo calcula el espectro de frecuencia de los datos obtenidos, y a partir de aquí se pueden localizar la mayor magnitud ocurrida y su correspondiente frecuencia (Mojica, 2000).

Una vez terminada las 8 repeticiones, se da a la tarea de hacer muestreos con el perfilómetro, para determinar la disturbación del suelo por el paso del implemento. Se hacen dos muestreos, uno a 30m y el otro a 60m del inicio de la repetición, con una longitud de 1m de largo por 0.5m de ancho. Se procede hacer una remoción de la tierra suelta hasta donde el suelo esté firme, para alcanzar las huellas de los cinceles, ya obtenidas las huellas de los cinceles se procede a tomar medidas con el perfilómetro y finalmente capturar los datos en una hoja de Excel para su interpretación.

IV.-RESULTADOS.

4.1.-Evaluación del transductor integral.

Después de estudiar y analizar las diferentes fuerzas de algunos implementos conocidos de acuerdo a las tablas donde se indican la fuerza de tiro y la transferencia de peso de los diferentes implementos de labranza, así como los reportes de prueba de tractores de Nebraska y OECD, para tractores de categoría II, los parámetros de diseño seleccionados fueron de 80 kN de tiro y fuerza vertical, 120 kN de par y de 70 kN de transferencia de peso.

Posteriormente se procedió a construir los dinamómetros octagonales con las dimensiones correspondientes al diseño que se muestran en Figura (4.1).

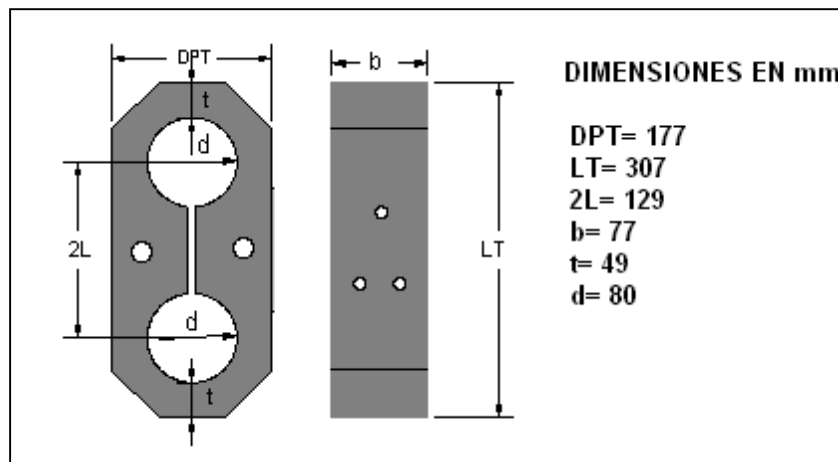


Figura (4.1) Dimensiones del octagonal. Acero 1018, con un esfuerzo a la tensión de 343 MPa.

En la figura (4.2) se muestra el montaje de las galgas así como el cableado de las mismas, y la medición del aislamiento entre las galgas y el metal del sensor. Éste último se comprobó que fuera superior a 50 M Ω .



Figura (4.2) **Galgas montadas y cableadas en el sensor octagonal extendido con capacidad de 40 kN.**

En el cuadro (4.1) se muestran el voltaje de excitación, la ganancia, las constantes obtenidas durante su calibración en laboratorio así como su coeficiente de correlación de los cuatro sensores empleados en el Sensor Integral.

Cuadro (4.1) **Voltajes de excitación, ganancias y constantes de calibración de los sensores para la fuerza horizontal (Fx).**

Dinamómetro (Fx)	Input Gain	Escalling Gain	Excitación	Constante	R-sqr
Octagonal verde	4.41	4.41	9.54	15.56	99.9
Octagonal amarillo	4.39	4.40	9.64	15.56	99.9
Octagonal rojo	4.53	4.52	9.59	15.57	99.8
Octagonal rojo amarillo	4.45	4.48	9.50	15.57	99.7

En la figura (4.3) se muestra el proceso de calibración individual de cada OAE empleando un tripié utilizando distintos pesos.



Figura (4.3) aparato empleado para la calibración en forma individual de los Octagonales de anillo extendido (OAE).

4.2.-Calibración de los sensores.

4.2.1.-En la Figura (4.4) se muestra al sensor integral y el marco construido para su evaluación bajo condiciones de laboratorio.



Figura (4.4) Marco de calibración del sensor integral.

4.2.2.-Gráficas de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.74 m, 0.64 m, 0.54 m y 0.49 m con el octogonal rojo a una distancia de 0.435 m, 0.39 m, 0.48m.

En la gráfica (4.5) se muestra un ejemplo del comportamiento del sensor integral, cuando el OAE rojo se encuentra a una distancia de 0.435m y la carga se halla a 0.74m ambos con respecto al centro en el plano horizontal de los OAE´s amarillo y verde a ocho diferentes cargas. En esta gráfica se aprecia que la respuesta de los OAE´s amarillo y verde tienen la misma respuesta no así el OAE rojo ni el OAE amarillo-rojo. Lo cual indica que el sensor integral es sensible a los cambios de posición de la carga dando respuestas diferentes en magnitud entre los sensores rojo, verde-amarillo y amarillo-rojo.

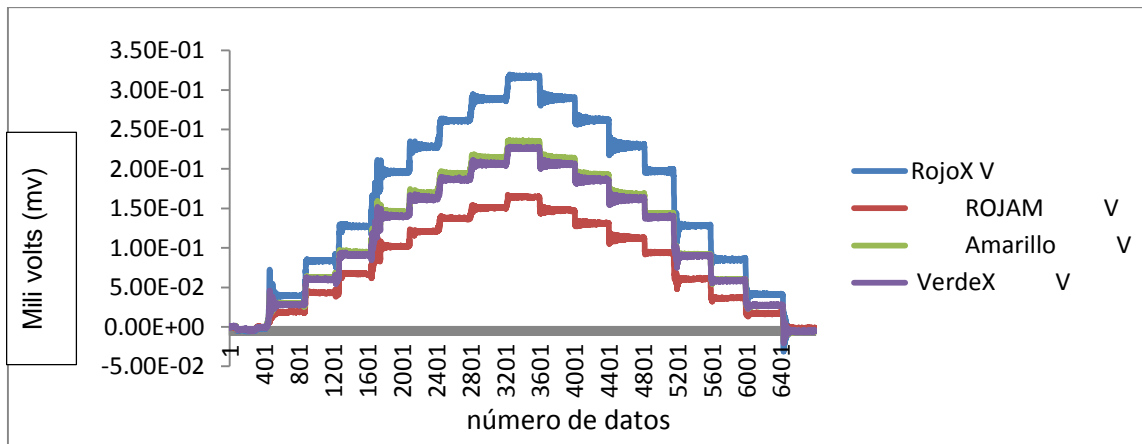


Figura (4.5) Gráfica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.74 m y el octogonal rojo a una distancia de 0.435 m.

En las gráficas de la Figuras (4.6) a la Figura (4.10) los OAE's tiene comportamientos similares es decir, se comporta los OAE's amarillo y verde en forma idéntica no así los OAE's amarillo-rojo y el rojo. Confirmándose que los OAE's amarillo, verde y rojo son afectados por la posición de brazo de palanca.

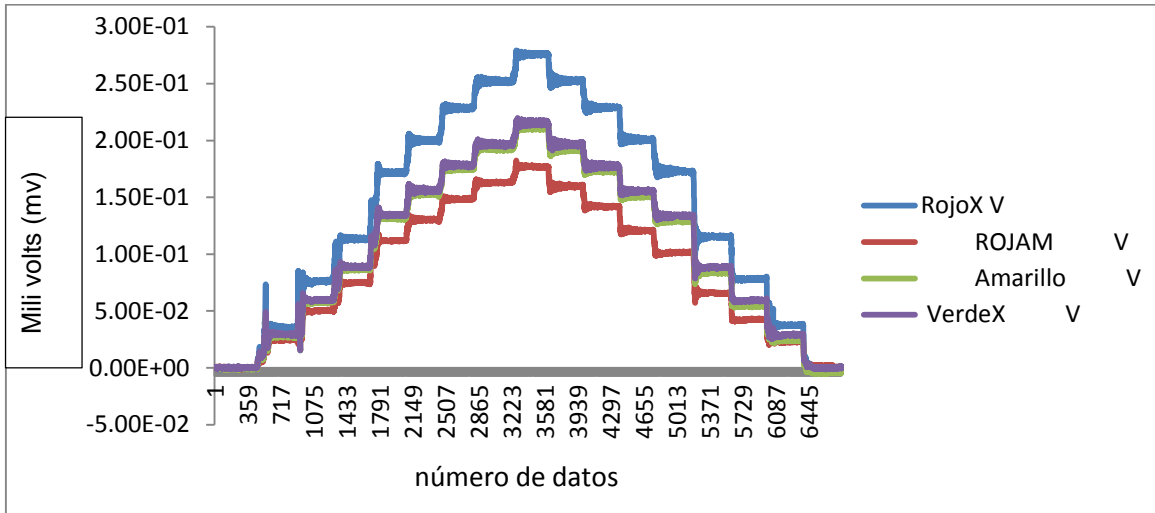


Figura (4.6) Gráfica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.64 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.435 m.

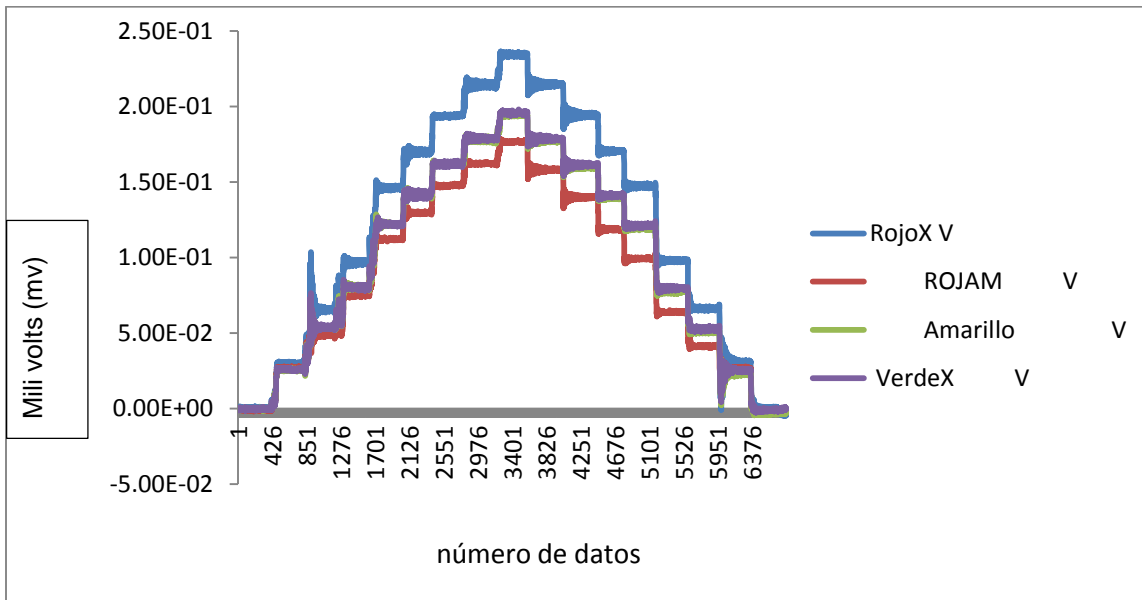


Figura (4.7) Gráfica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.54 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.435 m.

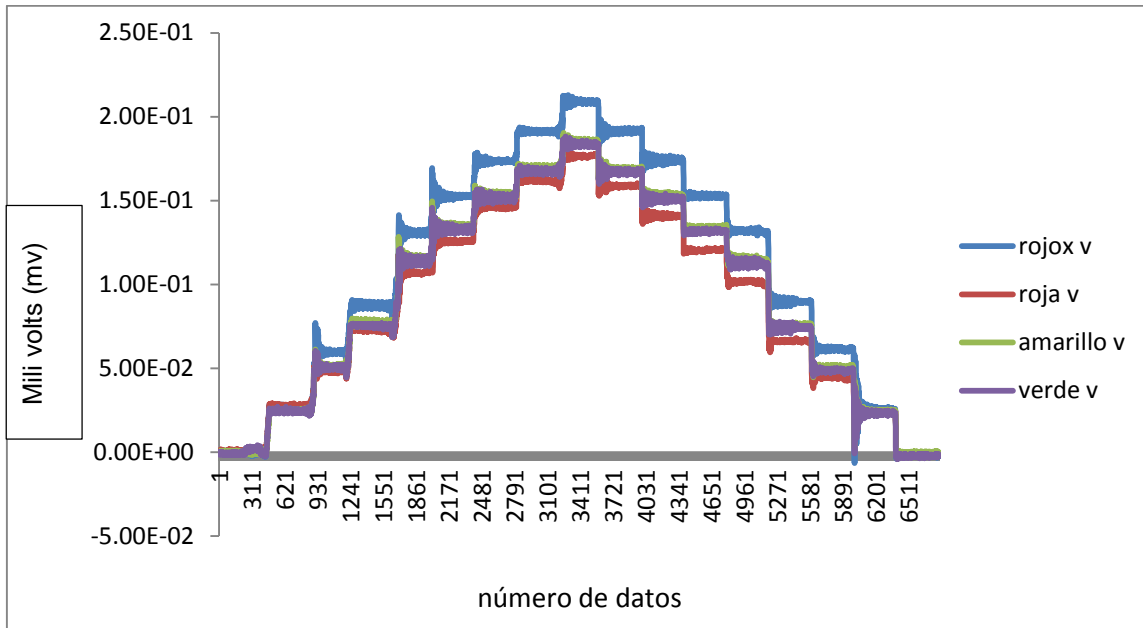


Figura (4.8) Gráfica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.49 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.435 m.

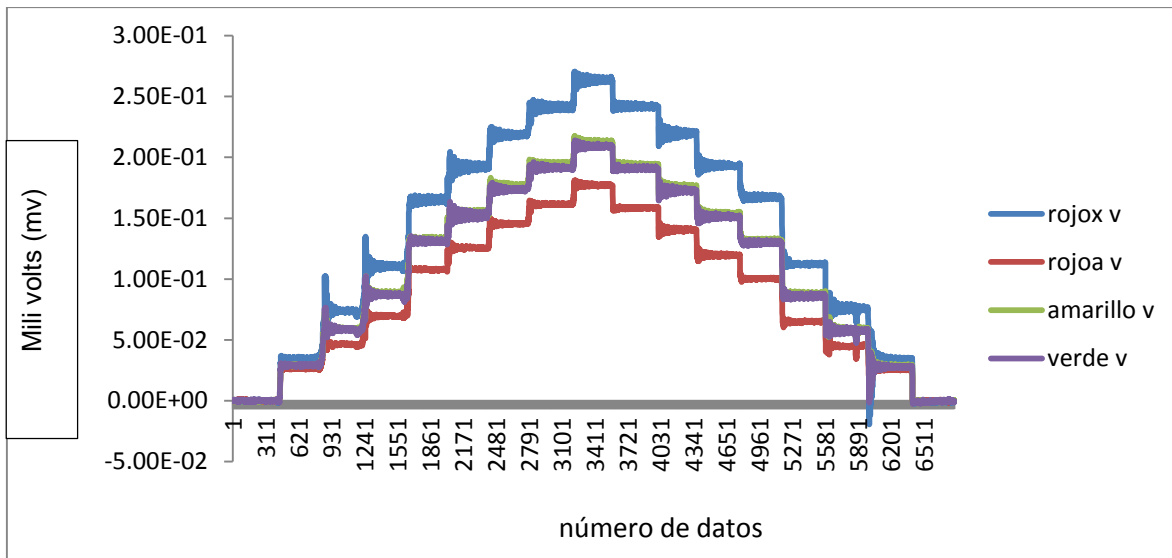


Figura (4.9) Gráfica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.49 m y el octagonal rojo a una distancia de 0.39 m.

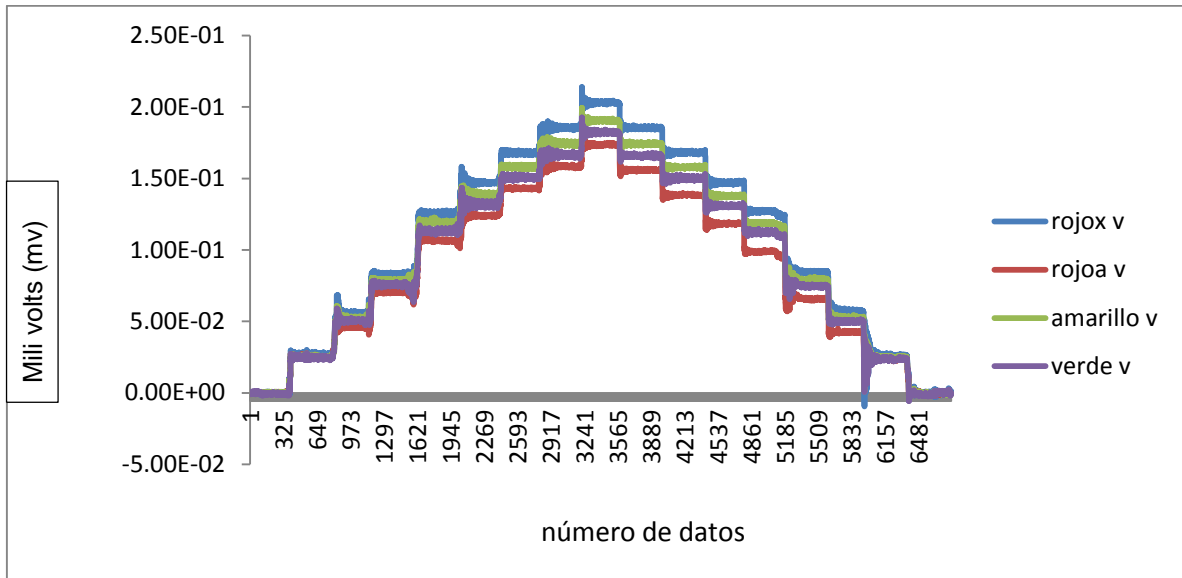


Figura (4.10) Gráfica de datos con una distancia de brazo de palanca de 0.49 m y el octogonal rojo a una distancia de 0.48 m.

4.2.3.-Gráficas de comportamiento de los octagonales y del octagonal rojo a diferentes distancias de 0.39m, 0.43.5m, 0.48m y con un brazo de palanca fijo a 0.74 m.

En las gráficas de las figuras de la (4.11) a la (4.14) se muestra el efecto de cambio de posición de la fuerza en los valores detectados en cada uno de los OAE´s. Se puede apreciar que existe un efecto en la magnitud de la fuerza detectada para los OAE´s amarillo-verde y rojo no así para el OAE amarillo-Rojo.

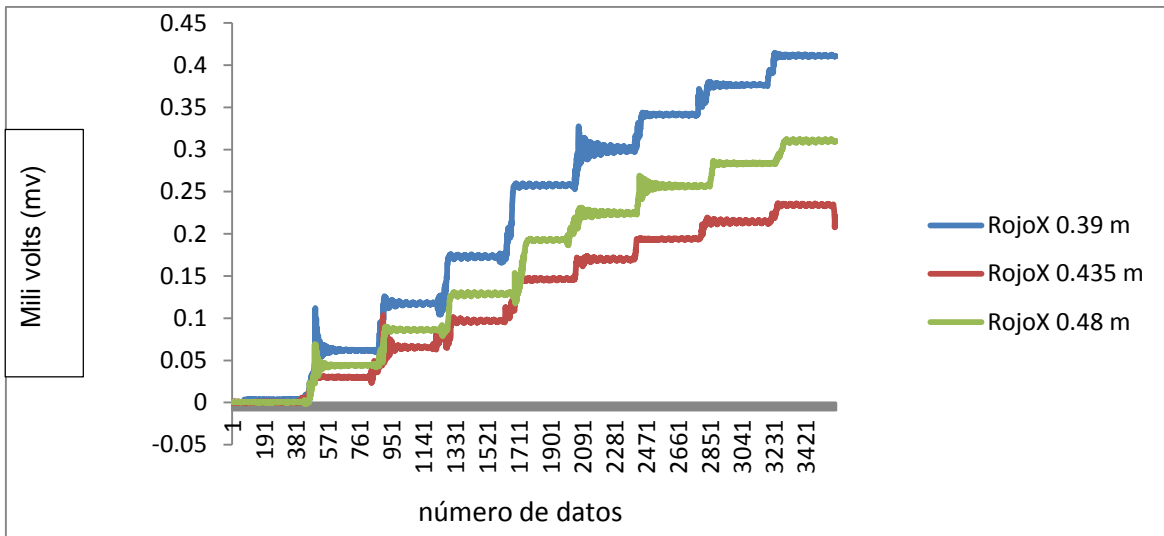


Figura (4.11) Gráfica de datos del octagonal rojo desfasado a los 0.39m, 0.435m, 0.48m con respecto al centro y con un brazo de palanca fijo a 0.74m.

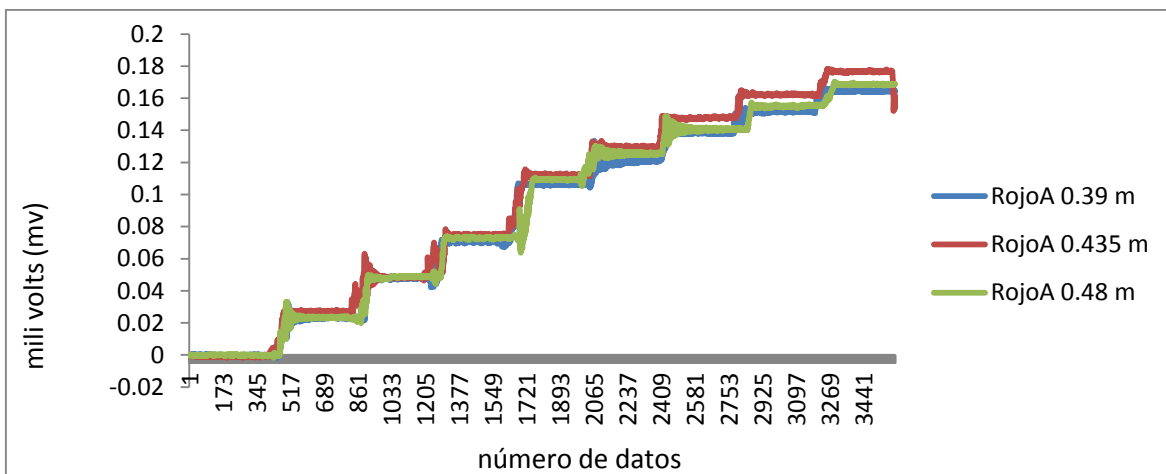


Figura (4.12) Gráfica de datos del octagonal Rojo-Amarillo con respecto del octagonal rojo desfasado a los 0.39m, 0.435m, 0.48m con respecto al centro y con un brazo de palanca fijo a 0.74m.

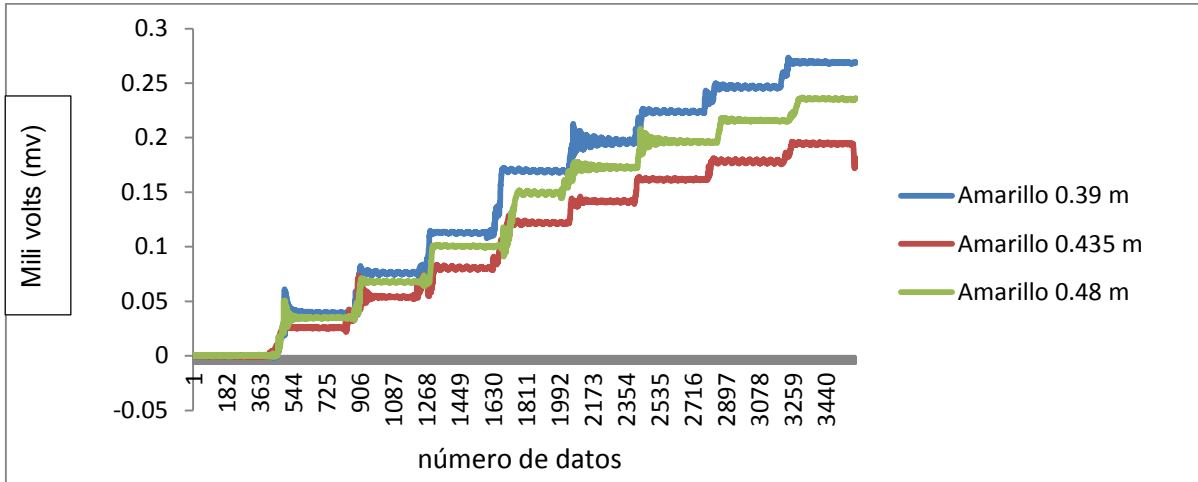


Figura (4.13) Gráfica de datos del octagonal amarillo con respecto del octagonal rojo desfasado a los 0.39m, 0.435m, 0.48m con respecto al centro y con un brazo de palanca fijo a 0.74m.

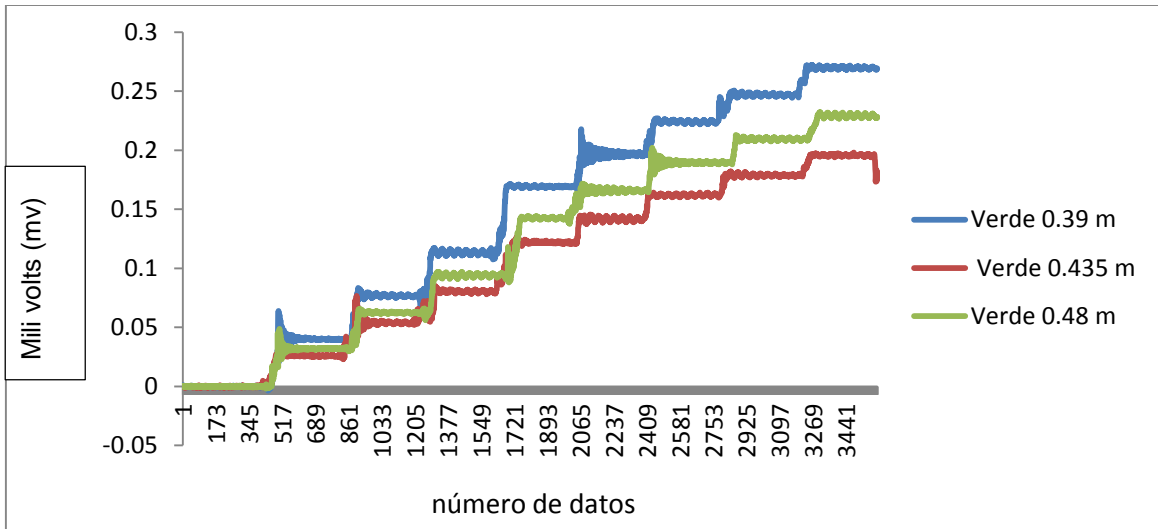


Figura (4.14) Gráfica de datos del octagonal verde con respecto del octagonal rojo desfasado a los 0.39m, 0.435m, 0.48m con respecto al centro y con un brazo de palanca fijo a 0.74m.

4.2.4.-Análisis de varianza y comparación de la posición de los octagonales rojo, rojo-amarillo, amarillo y verde con respecto de la fuerza resultante.

En los análisis de varianza del cuadro (4.2) y los cuadros (4.3) de comparación de medias donde se indica que las magnitudes de las fuerzas detectadas en el sensor Rojo es sensible tanto a los cambios de posición de la fuerza resultante, magnitud de la misma y a la posición del OAE con respecto a la posición de los OAE´s verde y amarillo.

Cuadro (4.2) **Análisis de varianza de la posición del octagonal rojo con respecto de la fuerza resultante.**

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig	F
Bloques	2	12.167	6.084	1.551	0.234	
Posición de OR (A)	2	517.236	258.618	65.918	0	3.555
Posición de BP (B)	3	622.014	207.338	52.848	0	3.9295
A X B	6	41.629	6.938	1.768	0.152	
Error	22	86.313	3.923			
Total	35	1279.359				

Posición del OR: 1=39,2=43.5, 3=48.

Posición del BP:1=49, 2=54, 3=64, 4=74.

Cuadro (4.3) (A, B) Comparación de medias para la posición del octagonal rojo y de la fuerza resultante.

A	Media	0.05
1	33.55	a
3	25.717	_b
2	25.317	_b
TUK	2.034	

B	Media	0.05
4	33.833	a
3	29.856	_b
2	26.533	__c
1	22.556	___d
Tuk	2.594	

(A) Media del octagonal rojo

AXB	Media
11	26.667
12	30.767
13	35.467
14	41.33
21	20.567
22	23.767
23	27.7
24	29.233
31	20.433
32	25.067
33	26.4
34	30.967

(B) Media del brazo de palanca

El análisis de varianza del cuadro (4.4) nos indica que no hay efecto de la posición del OAE Rojo sobre la magnitud de la fuerza detectada en el OAE Rojo-Amarillo, pero que si hay efecto de la magnitud de la fuerza resultante

Cuadro (4.4) Análisis de varianza de la posición del octagonal rojo-amarillo con respecto de la fuerza resultante.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig	F
Bloques	2	0.215	0.108	0.717	0.499	
Posición de OR (A)	2	0.62	0.31	2.068	0.15	3.555
Posición de BP (B)	3	7.919	2.64	17.606	0	3.9295
A X B	6	0.836	0.139	0.929	0.494	
Error	22	3.298	0.15			
Total	35	12.888				

Posición del OR: 1=39,2=43.5, 3=48.

Posición del BP:1=49, 2=54, 3=64, 4=74.

Cuadro (4.5) (A, B) Comparación de medias para la posición del octagonal rojo-amarillo y de la fuerza resultante.

A	Media	B	Media
1	17.225	3	17.711
2	17.525	2	17.689
3	17.275	1	17.411
		4	16.556

(A) Media del octagonal rojo-amarillo

(B) media del brazo de palanca

AXB	Media
12	17.567
12	17.533
13	17.433
14	16.367
21	17.5
22	17.967
23	17.767
24	16.867
31	17.167
32	17.567
33	17.933
34	16.433

En el cuadro (4.6) se muestra el análisis de varianza de la magnitud de la fuerza detectada en el OAE amarilla con el cambio de posición de OAE Rojo. En él se muestra que existe un efecto no deseado sobre el OAE amarillo debido al cambio de posición del OAE Rojo.

Cuadro (4.6) Análisis de varianza de la posición del octagonal rojo sobre la magnitud de la fuerza detectada en el OAE amarillo.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig	F
Bloques	2	2.967	1.484	2.294	0.124	
Posición de OR (A)	2	71.894	35.947	55.59	0	3.555
Posición de BP (B)	3	108.331	36.11	55.843	0	3.9295
A X B	6	4.711	0.785	1.214	0.336	
Error	22	14.226	0.647			
Total	35	202.129				

Posición del OR: 1=39,2=43.5, 3=48.

Posición del BP:1=49, 2=54, 3=64, 4=74.

Cuadro (4.7) (A, B) Comparación de medias para la posición del octagonal amarillo y de la fuerza resultante.

A	Media	0.05
1	23.808	a
3	21.183	_b
2	20.542	_b
tuk	0.826	

(A) Media del octagonal amarillo

B	Media	0.05
4	24.256	a
3	22.622	_b
2	20.767	__c
1	19.733	__c
tuk	1.053	

(B) media del brazo de palanca

AXB	Media
11	21.233
12	22.3
13	24.767
14	26.933
21	18.767
22	19.533
23	21.4
24	22.467
31	19.2
32	20.467
33	21.7
34	23.367

El análisis de varianza de las magnitudes detectadas por el OAE Verde muestra un mismo comportamiento del OAE Amarillo con respecto al cambio de posición del OAE Rojo.

Cuadro (4.8) Análisis de varianza de la posición del octagonal verde con respecto de la fuerza resultante.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig	F
Bloques	2	2.287	1.143	2.136	0.142	
Posición de OR (A)	2	94.047	47.023	87.869	0	3.555
Posición de BP (B)	3	101.989	33.996	63.526	0	3.9295
A X B	6	8.524	1.421	2.655	0.043	
Error	22	11.773	0.535			
Total	35	218.62				

Posición del OR: 1=39,2=43.5, 3=48.

Posición del BP: 1=49, 2=54, 3=64, 4=74.

Cuadro (4.9) (A, B) Comparación de medias para la posición del octagonal verde y de la fuerza resultante.

A	Media
1	23.917
2	20.4
3	20.583

(A) Media del octagonal verde

B	Media
1	19.367
2	20.844
3	22.489
4	23.833

(B) media del brazo de palanca

AXB	Media	0.05
14	26.933	a
13	25	ab
34	22.833	_bc
12	22.567	__c
24	21.733	__cd
23	21.6	__cd
11	21.167	__cd
33	20.867	__cd
32	20.233	___de
22	19.733	___de
21	18.533	____e
31	18.4	____e
tuk	2.173	

V.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1.- El sensor integral en los OAE´S detectan el cambio de posición de la fuerza resultante. Efecto no deseado para la medición de las fuerzas que actúan en los implementos de labranza.

2.- Existe un efecto de la posición del octagonal rojo para la misma magnitud de la fuerza resultante sobre la magnitud de las fuerzas detectadas por los octagonales verde y amarillo.

3.- No existe un efecto del cambio de posición del octagonal rojo ni de la posición de la fuerza resultante sobre la magnitud de la fuerza detectada en el octagonal rojo-amarillo.

Recomendaciones.

Se requiere hacer un análisis del cuerpo libre para determinar el conjunto de ecuaciones que permita calcular la magnitud de la fuerza resultante sin verse afectada por la posición de la misma.

VI.-BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

- American Society of Agricultural Engineers (standard).1983-1984. Attachment of implements to agricultural wheel tractors equipped with quick-attaching coupler. ASAE S278.6 Agricultural Engineeres Yearbook, ASAE, St. Joseph, MI. P.151-153.
- Afzalinea S.; Roberge M; 2009. An Extended Octagonal Ring. Transducer for the Compression Chamber of a Large Square Baler, J. Agr. Sci. Tech. Vol. 11: 377-389.
- Al-Jalil, H.F., Khdair, A. and Mukahal, W. (2001). Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer. Soil and TillageResearch 62: 153-156.
- E Arcos S.,; H Laurel O.; 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.
- A Bonifaz C.,; 2010 Sensor de monitoreo de fuerza e implementos de labranza. Memorias XIX congreso nacional de ingeniería agrícola. UAAAN. Buenavista Saltillo, Coahuila.
- S. G. Campos M., 1993. Development of minimum maize planter for Mexican agriculture, unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.
- S Campos, M.,; B Wills.,; M Cadena Z.,; 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.
- S Campos, M.,; A Aragón, R.,; 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.
- D Cooper, William.; D Helfrick, Albert. 1991 Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición.

- D. Cruz H., 2014 Evaluación de un prototipo articulado de cinceles para labranza vertical. Tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- H Garner, T.; B Dodd, R.; Wolf Dan; M Peiper, U.. 1988. Force analysis and application of a Three – point hitch dynamometer. Transaction of the ASAE. 31(4) :1047-1053.
- M Gere, J.; Timoshenko, S. P. 1997. Mecánica de materiales Edit. International Thomson, México.
- J Godwin, R.; J Reynolds, A.; O'Dogherty; Al-Ghazal, A. A. 1993. A triaxial dinamometer for force and moment measurements on tillage implements. J. Agric. Engng. Res. 55:189-205.
- 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).
- M Hinojosa G.,; 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):251-253,261.
- Hoag, D.L.,R.R. Yoerger 1975. Analysis and desing of load rings.Transactions of the ASAE 18(6):995-999.
- D Hunt,.,1983. Maquinaria agrícola. Edición Limusa.
- A Kepner, R., Barger, E:L: 1978 Principles of Farm Machinery. Third Edition, The AVI Publishig Company, Inc Connecticut.
- L Marín, O.. 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.

- D Mojica, L. E.. 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.
- A Neuholff, L.. 1959. Measuring Force in Two or More Members With One Instrument. *Agricultural Engineering* 40(August): 456-457.
- G Ochoa, J., 2002. Manual de prueba y evaluación de arados CENEMA Chapingo, México.
- C A Ozuna, G.. .; 2011. Evaluación de un transductor integral de fuerza bajo condiciones de campo, tesis, licenciatura, universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.
- P Pérez, M.. 2013. Labranza vertical empleando la teoría de profundidad crítica. Tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- O. N Ramos, R...; 2010. Desarrollo de un transductor integral para determinar la Magnitud de las fuerzas que actúan en los implementos de labranza., tesis, licenciatura, universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.
- S Varela, V..; 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y dibujos de patentes. Instituto tecnológico de Veracruz.
- J Vaughan . ;1975. Application of B & K Equipment to Strain Measurements.

VII.-ANEXOS.

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

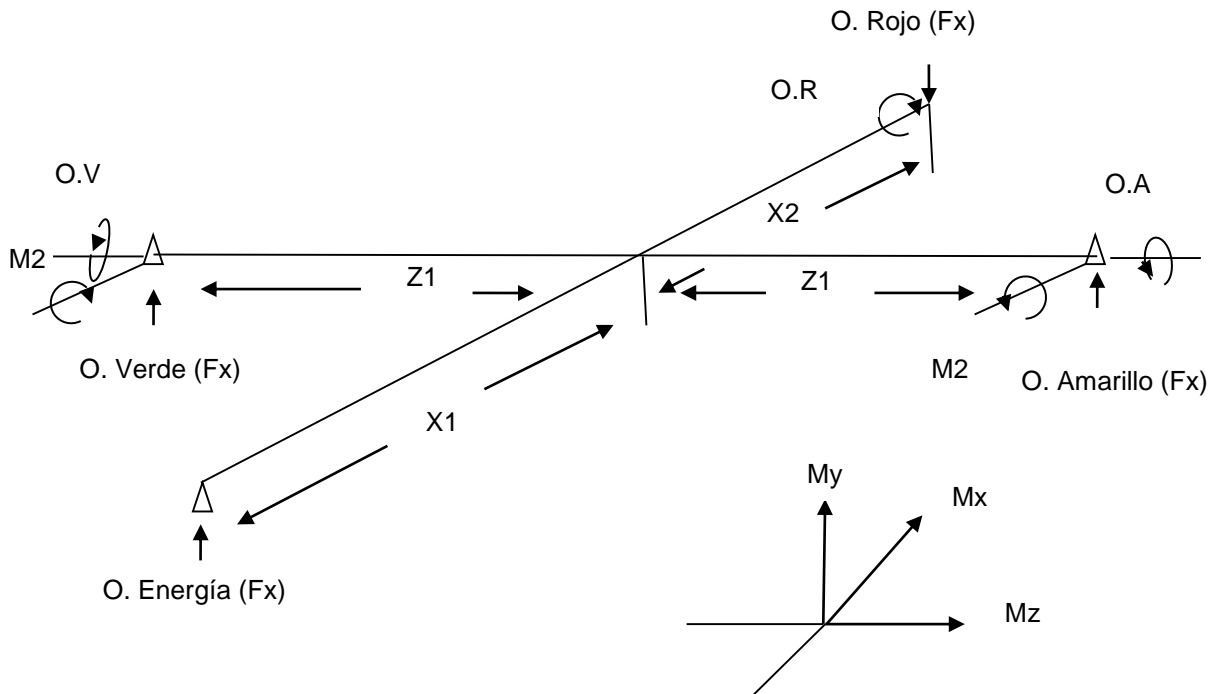


figura (7.0) **Diagrama de cuerpo libre.**

Dónde: El momento resulta es igual a la raíz cuadrada de M1 elevado al cuadrado más M2 elevado al cuadrado

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

7.1.-Gráficas de datos con un brazo de palanca fijo a 0.49m y el octagonal rojo a diferentes distancias de 0.39m, 0.435m y 0.48m. También el brazo de palanca a distancias de 0.74m, 0.64m y 0.54m con el octagonal rojo fijo a la distancia de 0.435m.

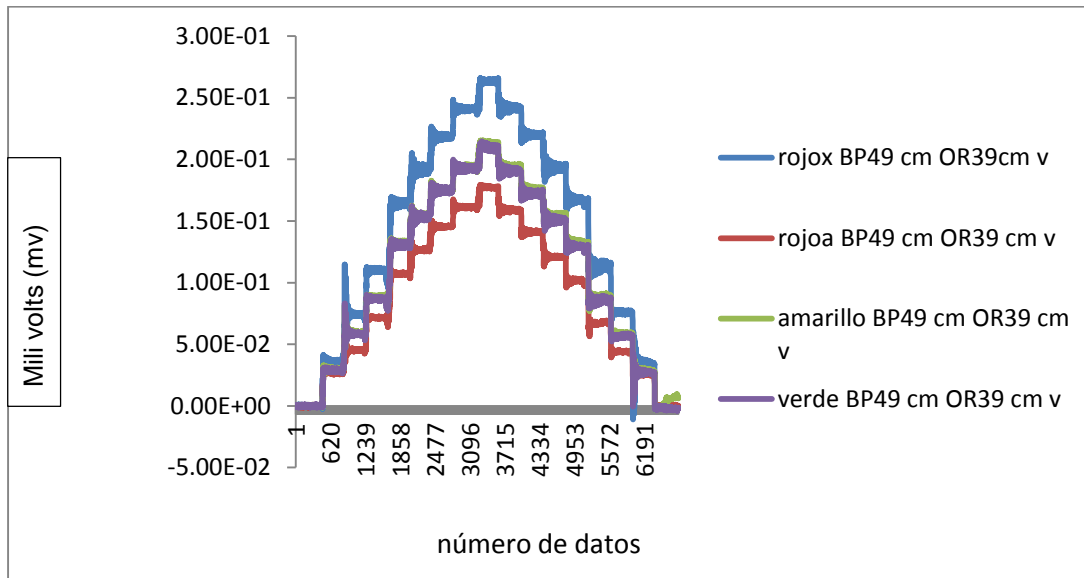


Figura (7.1) gráfica de datos con el brazo de palanca a 49 cm de distancia con respecto al centro y el octagonal rojo a 39 cm de distancia.

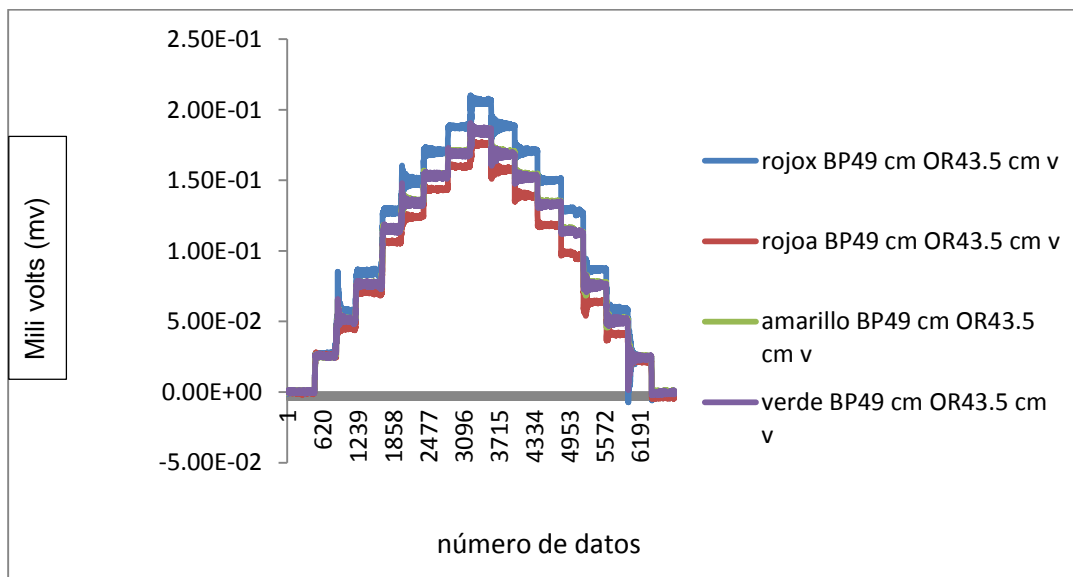


Figura (7.2) gráfica de datos con el brazo de palanca a 49 cm de distancia con respecto al centro y el octagonal rojo a 43.5 cm de distancia.

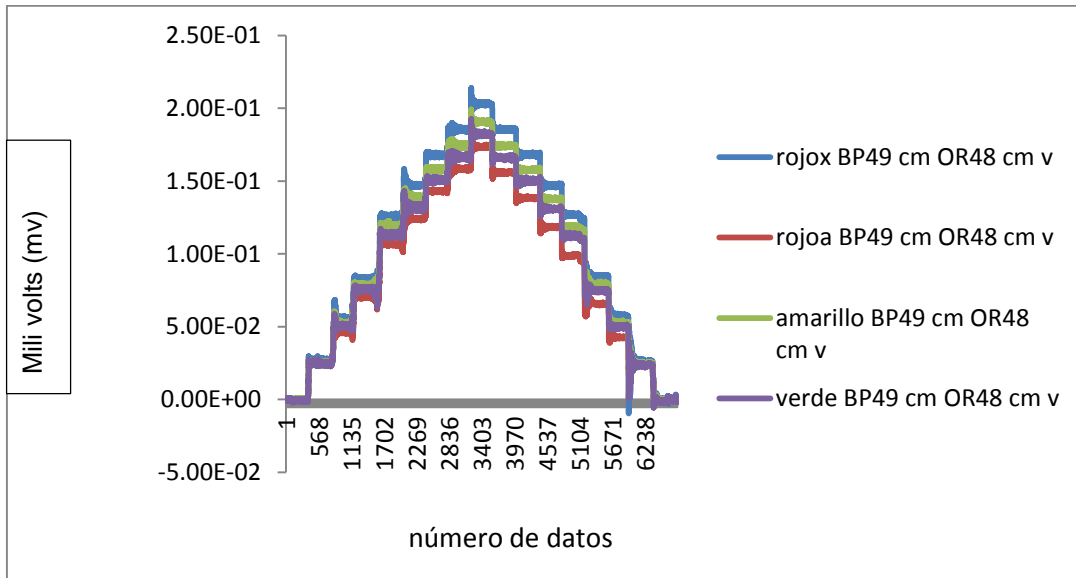


Figura (7.3) gráfica de datos con el brazo de palanca a 49 cm de distancia con respecto al centro y el octogonal rojo a 48 cm de distancia.

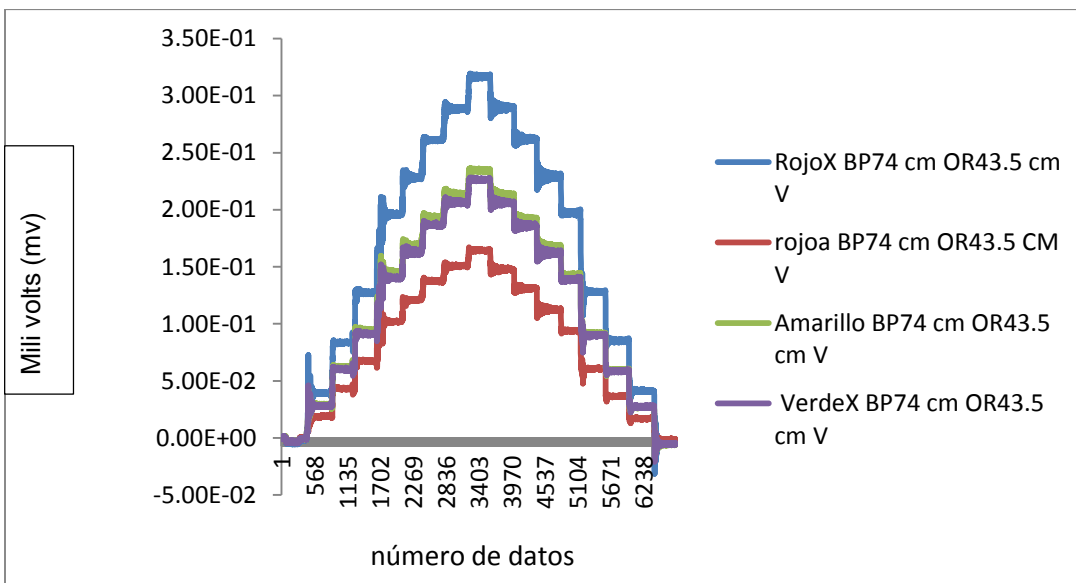


Figura (7.4) gráfica de datos con el brazo de palanca a 74 cm de distancia con respecto al centro y el octogonal rojo a 43.5 cm de distancia.

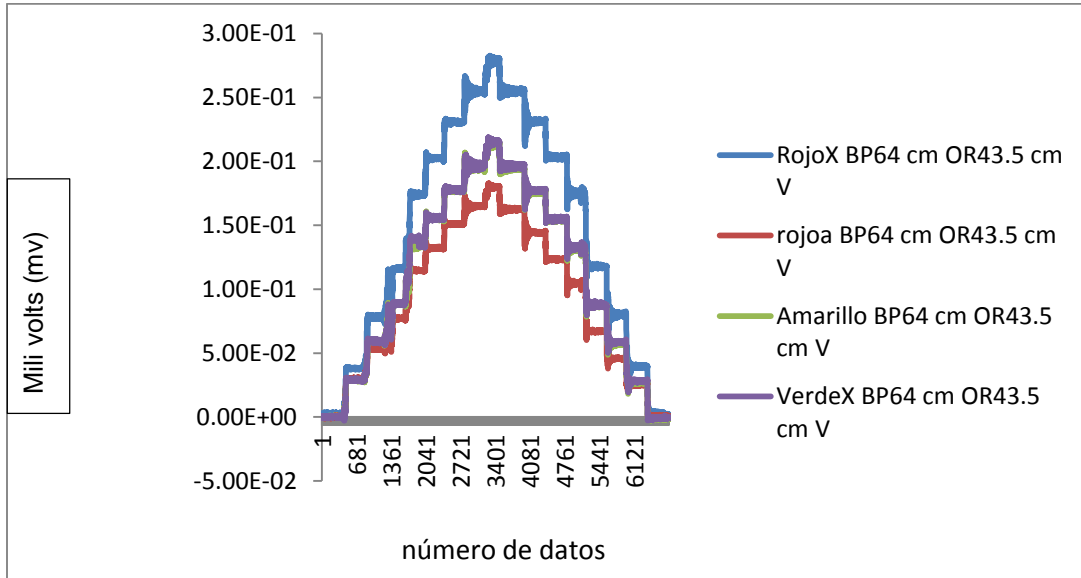


Figura (7.5) gráfica de datos con el brazo de palanca a 64 cm de distancia con respecto al centro y el octogonal rojo a 43.5 cm de distancia.

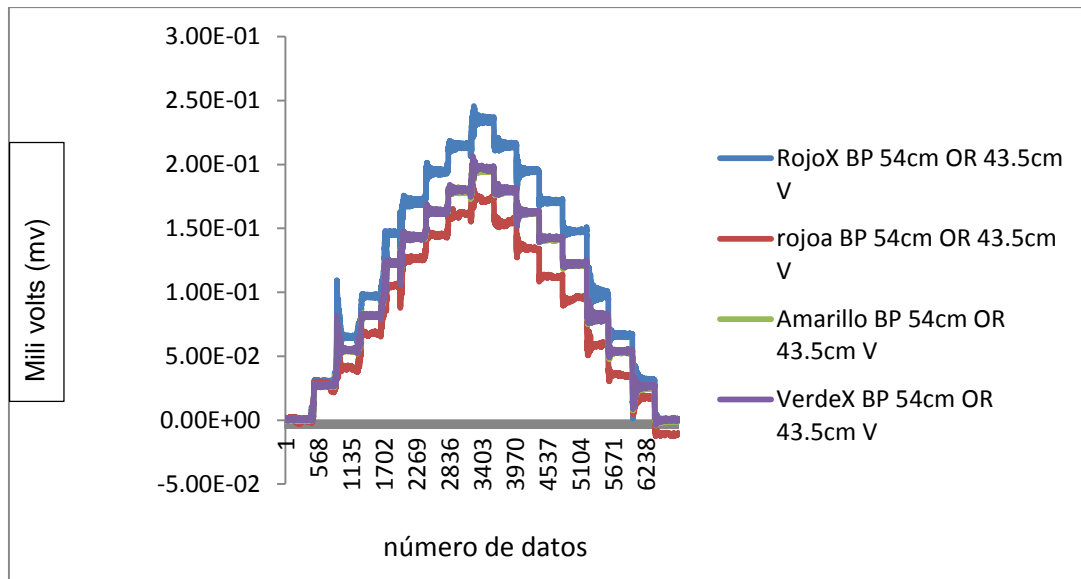


Figura (7.6) gráfica de datos con el brazo de palanca a 54 cm de distancia con respecto al centro y el octogonal rojo a 43.5 cm de distancia.