

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISION DE INGENIERIA



Desarrollo de un transductor integral para determinar la Magnitud de las fuerzas que actúan en los implementos de labranza.

Por:

Oscar Nahum Ramos Rangel

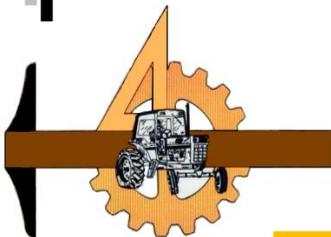
Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Abril del 2010



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

DIVISION DE INGENIERIA

Desarrollo de un transductor integral para determinar la magnitud de las fuerzas que actúan en los implementos de labranza.

Por:

Oscar Nahum Ramos Rangel

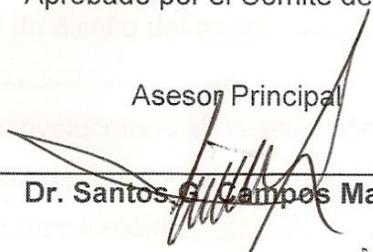
Tesis

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

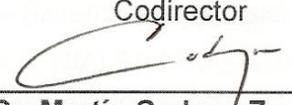
INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el Comité de Tesis

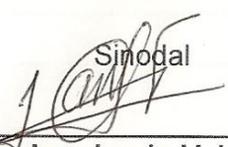
Asesor Principal


Dr. Santos G. Campos Magaña

Codirector

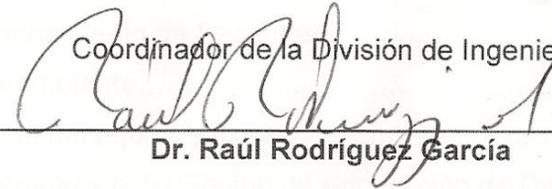

Dr. Martín Cadena Zapata

Sinodal


Ing. Juan Arredondo Valdez

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de la División de Ingeniería


Dr. Raúl Rodríguez García



Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Abril del 2010

INDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	iii
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	
1.1.- Antecedentes.....	3
1.2.- Objetivos e Hipótesis.....	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1.- Tecnología de implementos.....	9
2.1.1.- Factores de diseño para herramientas de labranza.....	9
2.1.2.- Fuerzas actuando sobre una herramienta de labranza.....	10
2.1.3.- Relación de la fuerza vertical y horizontal.....	13
2.2.- Análisis de esfuerzos.....	14
2.3.- Análisis teórico de diseño del anillo.....	19
2.4.- Transductores.....	24
2.4.1.- Factores involucrados en la selección para el diseño de un transductor de fuerzas.....	26
2.4.2.- Galgas Extensiométricas.....	27
2.4.3.- Puente de Wheatstone.....	30
2.5.- Sistema de adquisición de datos.....	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1.- Criterios para las características del transductor.....	34
3.2.- Selección y dimensiones del material para los sensores.....	35
3.3.- Fabricación de los sensores.....	36
3.4.- Acondicionamiento de Sensores.....	36
3.5.- Estructura flotante.....	37
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.....	40
3.6.3.- Calibración directa del equipo.....	40

3.6.4.- Registro de Información.....	41
3.7.- Análisis de Datos.....	42
3.8.- Análisis de Información.....	42
IV. RESULTADOS	
4.1.- Diseño, Construcción y Calibración de Transductores Axiales.....	44
4.2.- Calibración con cargas individuales.....	45
4.2.1.- Calibración de la Fuerza en Horizontal (FX).....	46
4.2.2.- Calibración de la Fuerza en Vertical (FY).....	48
4.2.3.- Calibración de la Fuerza Axial.....	50
4.3.- Calibración de dinamómetro con las Fuerzas combinadas, Horizontal y Vertical.....	52
4.4.- Sensitividad del momento en los transductores.....	56
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
VI. LITERATURA CITADA.....	59
VII. ANEXOS.....	62
A.- Materiales para la construcción de los octagonales.....	63
B.- Programa Diseño de Transductores Octagonales.....	75
C.- Construcción (pegado y cableado de galgas).....	78
D.- Curva de calibración de Dinamómetro.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Determinación de fuerza de tiro de diferentes implementos de labranza.....	11
Tabla 2.2 Medias de las fuerzas y momentos en un subsoleador.....	12
Tabla 2.3 Rango de fuerzas en implementos.....	12
Tabla 2.4 Análisis de Datos para la fuerza requerida en cada implemento.....	13
Tabla 2.5 Localización de los nudos de concentración de esfuerzos derivados por diferentes investigadores.....	24
Tabla 4.1 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido en Tres Posiciones de Carga.....	47
Tabla 4.2 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido en Tres Posiciones de Descarga.....	47
Tabla 4.3 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de Carga y Descarga.....	49
Tabla 4.4 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de Carga y Descarga.....	51
Tabla 4.5 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de Carga y Descarga.....	53
Tabla 4.6 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de Carga y Descarga.....	54
Tabla 4.7 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de Carga y Descarga.....	56
Tabla 4.8 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de Carga y Descarga.....	57

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Fuerza de arrastre de un implemente acoplado al tractor.....	2
Figura 1.2 Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor.....	5
Figura 2.1 El valor de la fuerza vertical V se incrementa con la velocidad.....	14
Figura 2.2 El estado de deformación en tensión o compresión.....	15
Figura 2.3 Estado de deformación-flexión.....	16
Figura 2.4 Estado de deformación en torsión.....	18
Figura 2.5 Fuerzas actuando en un elemento del anillo.....	19
Figura 2.6 Diagrama de adquisición y procesamiento de datos.....	25
Figura 2.7 Muestra de una galga extensiométrica.....	28
Figura 2.8 a) Laminillas apiladas a 90 grados; b) Laminilla plana a 90 grados; c) Laminilla plana sesgada a 90 grados.....	28
Figura 2.9 Puente de Wheatstone.....	31
Figura 3.1 Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor.....	34
Figura 3.2 Sensor Octagonal.....	36
Figura 3.3 Modelo de la galga Extensiométricas.....	37
Figura 3.4 Localización de las galgas y puentes de Wheatstone.....	37
Figura 3.5 Estructura flotante.....	38
Figura 3.6 Captura de datos de una sesión de Daqview.....	40
Figura 4.1 Dimensiones Octagonal. Acero 1018, con un esfuerzo ala tensión de 343 MPa.....	44
Figura 4.2 Galgas montadas y cableado.....	45
Figura 4.3 Calibración de la fuerza horizontal del Sensor Integral, Octagonal y Axial.....	46
Figura 4.4 Datos obtenidos en el DAQ200, con la (FX), con cargas escalonadas de 450 N cada una.....	46
Figura 4.5 Curva de calibración para la (FX) con regresión lineal.....	47

Figura 4.6	Calibración de la fuerza vertical del Sensor Integral, Octagonal y Axial.....	48
Figura 4.7	Datos obtenidos en el DAQ200, con la (FY), con cargas escalonadas de 245 N cada una.....	48
Figura 4.8	Curva de calibración, para la (FY) con regresión lineal.....	49
Figura 4.9	Calibración del dinamómetro axial.....	50
Figura 4.10	Datos obtenidos en el DAQ200, de la fuerza Axial, con cargas escalonadas de 450 N cada una.....	50
Figura 4.11	Curva de calibración, para la Axial con regresión lineal.....	51
Figura 4.12	Calibración de fuerzas combinadas, del Sensor Integral, Octagonal y Axial.....	52
Figura 4.13	Datos obtenidos en el DAQ200, para la (FX), con cargas escalonadas de 450N en la horizontal y 250N en la vertical.....	52
Figura 4.14	Curva de calibración, para la (FX) con regresión lineal.....	53
Figura 4.15	Datos obtenidos en el DAQ200, con la (FY), con cargas escalonadas de 250N en la vertical y 450N en la horizontal.....	54
Figura 4.16	Curva de calibración, para la (FY), con regresión lineal.....	55
Figura 4.17	Datos obtenidos en el DAQ200, con la fuerza Axial combinada, con cargas escalonadas de 250N en la vertical y 450N en la horizontal.....	55
Figura 4.18	Datos obtenidos en el DAQ200, del Momento, con cargas escalonadas de 450N en la horizontal.....	56
Figura 4.19	Datos obtenidos en el DAQ200, con el Momento combinada, con cargas escalonadas de 250N en la vertical y 450N en la horizontal.....	57

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi **DIOS PADRE** por haberme dado la vida, por poner en mi camino a personas maravillosas, por darme la oportunidad de concluir una meta más en mi vida y por todas las bendiciones que recibo día tras día, gracias Dios Mío.

A la **UAAAN** por haberme dado la oportunidad de superarme e incrementar mis conocimientos para formarme profesionalmente. Así como a las demás Instituciones que me encaminaron académicamente.

Al **Dr. Santos G. Campos Magaña**, por su gran apoyo y confianza, por el tiempo dedicado en el desarrollo de este proyecto, por su excelente dirección y asesoría técnica en este trabajo de tesis.

Al **Dr. Martín Cadena Zapata** por darnos la oportunidad y confianza de trabajar en el Departamento de Maquinaria Agrícola.

A los distinguidos maestros del departamento de Maquinaria Agrícola en especial al, **Ing. Juan Arredondo Valdez**, **M. C. Juan Antonio Guerrero Hernández**, **M. C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas**, **M. C. Héctor Uriel Serna Fernández**, **Ing. Tomás Gaytan Muñiz**, **M. C. Jesús Valenzuela García**, **Ing. Rosendo González Garza**, **Ing. Jorge Flores Berrueto**, así como también a todo el personal que en el laboran; y

todos aquellos maestros que aportaron sus conocimientos y experiencias durante el desarrollo de mi carrera.

Al Ing. Gerardo Sánchez Martínez por su apoyo y enseñanza que siempre me brindo, pero sobre todo por su amistad.

A mis *Compañeros de Generación CVIII* de la carrera de Ing. Mecánico Agrícola, en especial a Joel Patricio, Samuel, Morfin, Josafat, Cándido, Nelson, Melbi, José, Michel, Daniel, Victor, Obet, Romain, Deyanira y también amigos de la UAAAN Luis Alberto, Xavier, Carlos, Joaquin... personas que fueron mi apoyo durante este agradable y difícil periodo académico, por ser MIS AMIGOS, y por seguir soportándome y siendo parte de mi vida, LOS VALORO.

A la familia *Martínez Sánchez*, es especial a mi gran amigo Freddy Alberto, por abrirme las puertas de su casa y brindarme confianza, pero sobre todo por su gran amistad que me ha brindado, por sus palabras de ánimo que siempre me impulsaron a seguir adelante, por apoyarme y estar conmigo en las buenas y en las malas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por todo su apoyo brindado para la realización de este trabajo de tesis.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada con todo mi amor, cariño y respeto a las personas que amo en la vida:

MIS PADRES:

Sr. Mario Ramos González
Sra. Guadalupe Rangel Altuzar

*Por darme la estabilidad emocional, económica, sentimental; para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes. GRACIAS por darme la posibilidad de que de mi boca salga esa palabra...FAMILIA. **Madre**, serás siempre mi inspiración para alcanzar mis metas, por enseñarme que todo se aprende y que todo esfuerzo es al final una gran recompensa. Tu esfuerzo, se convirtió en tu triunfo y tu triunfo en el mío, TE AMO.*

MIS HERMANOS

Enrique Alejandro Ramos Rangel
Eunice Saraí Ramos Rangel

Por ser quienes me dan fuerzas para continuar en este largo camino, por entender las veces en que no pude estar con ellos, pero sobretodo por el inmenso amor que siento de su parte. A quienes les deseo lo mejor en la vida, y que Dios me los Bendiga en donde quiera que se encuentren.

MIS ABUELOS

Mi Papito Héctor, por ser el ejemplo para salir adelante y por los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento, por ser una gran persona honesta, pero mas que todo eso, una gran persona que siempre ha podido salir adelante y ser triunfador con la gracia de Dios.

Mi abuelita Conchi, que con la sabiduría de Dios me has enseñado a ser quien soy hoy. Gracias por tu paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por tus consejos, por todo el amor que me has dado desde mi primer día de vida y por tu apoyo incondicional. Gracias por llevarme en tus oraciones, por que estoy seguro que siempre lo haces.

MIS TIOS

Mi Tío Francisco Guillermo Y Familia, por estar siempre conmigo en los momentos más importantes de mi vida, por toda su comprensión y confianza, por sus consejos y experiencias, por el apoyo que me han brindado, y sobre todo por haberme enseñado a luchar contra los obstáculos de la vida, para alcanzar las metas y propósitos y gozar de ello, gracias por confiar en mí y darme siempre ánimos para seguir adelante.

Mi Tío Jorge Antonio Y Familia, por haber estado conmigo desde los primeros días de mi vida, por sus valiosos consejos, por su apoyo incondicional que me han brindado en esta etapa de mi vida, gracias por confiar en mí y darme siempre ánimos para seguir adelante.

Mi Tía Sandra Concepción Y Familia, por todo su apoyo que me ha brindado, por sus comentarios, sugerencias y opiniones, gracias por confiar en mí y darme siempre ánimos para seguir adelante.

Mi Tía Carolina, por su apoyo y sus palabras de ánimos para seguir adelante.

Mi novia Analí, por permitirme formar parte de tu vida, por tu amor, por presionarme para terminar este trabajo, por ser tan paciente en tu espera y por darme la confianza y el apoyo necesario para seguir adelante.

A todos aquellos, que han quedado en los recintos más escondidos de mi memoria, pero que fueron participes en esta etapa de mi vida, GRACIAS.

Y por ultimo, deseo dedicar este momento tan importante e inolvidable de mi vida; **a mi mismo**, por no dejarme vencer, ya que en ocasiones el principal obstáculo es el que se encuentra dentro de uno mismo...

RESUMEN

Se rediseño, construyo 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 dos anillos octagonales extendidos, un sensor axial y un marco de enganche de tres puntos, categoría II. Para cada uno de ellos se montaron galgas extensiométricas sobre los elementos sensores, en arreglos completos de puente de Wheatstone.

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 mili volts, muestran una alta linealidad con un coeficiente de correlación R-sq de más del 98% para la carga en el plano vertical (FY); no así para la ecuación de respuesta en el plano horizontal (FX) con diferentes posiciones de esta con solo una R-sq del 86%.

Para las cargas combinadas el sensor mostro una alta linealidad en sus ecuaciones de respuesta con una R-sq de más del 98% para ambos planos, sin ser afectada por la posición de las cargas. Sin embargo en la medición del momento, producido por la posición de la F(X), el sensor octagonal no mostro ninguna Sensitividad. Para poder obtener Sensitividad producida por el Momento se requiere en forma experimental determinar las deformaciones producidas por las cargas, tanto individuales como combinadas, en la parte superior del anillo extendido.

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

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, no se cuenta con información acerca del desempeño, en términos de eficiencia, demanda de fuerza de tiro de implementos agrícolas de labranza vertical y además de desconocer 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 encuentra trabajando en la elaboración de métodos y manuales de prueba 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 (figura 1.1).

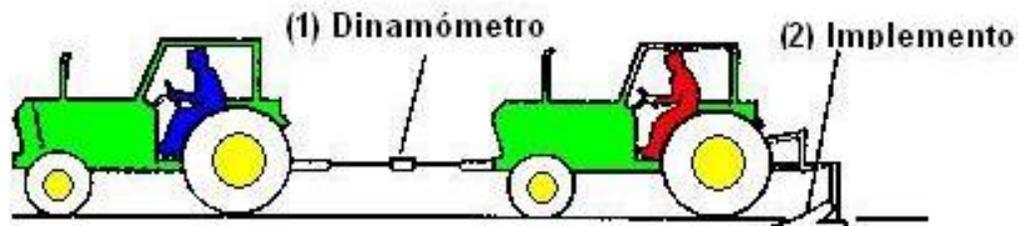


Figura 1.1. Fuerza de arrastre de un implemento acoplado al tractor.

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 de 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 anteriores y sensores servirá para dar servicio a fabricantes de equipo agrícola, así como generar información para desarrollar nuevas tecnología 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 aumente 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 mencionadas con la finalidad de reducir costos y aumentar la confiabilidad de los resultados.

1.1.- Antecedentes

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 35kN. 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 de dos fuerzas mutuamente perpendiculares, y el momento en el plano de estas dos fuerzas.

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. Las componentes 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: 1. El octagonal extendido, 2 Placas flotantes y 3. Viga en "u". Los tres transductores fueron diseñados para cubrir los siguientes parámetros de operación: magnitud F_x igual a 5000 N, F_z igual a 2500 N y momento debido a la fuerza resultante igual 7 KNm. Los porcentajes de sensibilidades 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

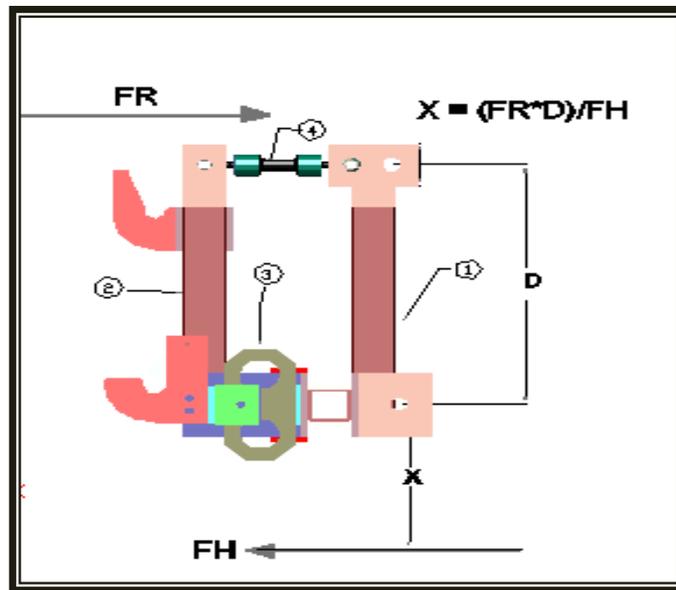


Figura 1.2 Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor, (Hinojosa 2003).

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.

El desarrollo de los implementos montados ha disminuido considerablemente el utilizar un dinamómetro en la barra de tiro para medir el esfuerzo tractivo y el tiro del implemento, particularmente para calcular la capacidad tractiva y la transferencia de peso del tractor en diferentes condiciones de campo (Campos, *et al.*, 2000).

Tomando en cuenta la importancia que tienen las pruebas y evaluación 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, 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 de labranza integrales 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 que dentro del procedimiento de desarrollo de las normas como lo son de arados, rastras, sembradoras comprende 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.

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:

- Construir y calibrar un transductor que pueda medir las fuerzas de reacción del suelo, en implementos integrales.
- Determinar transferencia de peso por el implemento hacia el tractor.

Hipótesis:

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

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Tecnología de implementos.

Kepner *et al.* (1978) describe 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 debido 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):

1. Habilidad para obtener penetración del implemento bajo condiciones adversas, particularmente con implementos tales como rastras de discos y arados de discos.

2. Efecto del implemento sobre la habilidad tractiva del tractor (transferencia de peso).
3. Uniformidad de la profundidad de laboreo, que el implemento pase sobre partes irregulares de la superficie del suelo.
4. Estandarización del enganche que permita ínter cambiabilidad.
5. Rapidez con la cual las herramientas entran a la tierra.

Kepner *et al.* (1978) menciona que el objetivo de un herramienta de labranza es manipular un suelo (cambiar, mover o formar) que requiere cambiar una condición deseada 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 (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 actuado 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 la cual 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 la tabla 2.1.

Tabla 2.1.- Determinación de fuerza de tiro de diferentes implementos de labranza.

Implemento		FH (KN)	Energía o trabajo KW hr/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 incrementaran 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 ardo de cinceles, determinaron las magnitudes de las fuerzas y momentos a 30 y 43 cm. de profundidad mostradas en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Medias de las fuerzas y momentos en un subsoleador.

PARAMETROS	Profundidad 0.30 m.	Profundidad 0.43 m.
Fuerza de tiro KN	14.3	27.675
Fuerza vertical KN	- 3.175	- 9.125
Momento KN m	7.805	16
Fuerza en el enganche superior kN	15.125	23.37

Fuente: Garner, 1988

La norma ASAE D230 reporta la fuerza de tiro funcional para los diferentes implementos de labranza. En la tabla 2.3 muestra los valores extremos para la determinación de la fuerza de tiro en diferentes implementos:

Tabla 2.3. Rango de fuerzas en implementos.

Implemento	Rangos de la Fuerza de Tiro	Variables
Arado de vertederas	$7+0.049s^2$ a $2+0.013s^2$ (N/Cm ²)	S=velocidad (Km./hr)
Arado de discos	$5.2 + 0.039s^2$ a $2.4+0.045s^2$ (N/Cm ²)	S=velocidad (Km./hr)
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 y en la barra de compresión, producidas por la interacción suelo-implemento.

Tabla 2.4. Análisis de Datos para la fuerza requerida en cada implemento.

IMPLEMENTOS	FUERZAS EN LA BARRA DE COMPRESION			FUERZAS 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 Timon)	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 él mismo tiene una componente vertical actuando hacia abajo de la fuerza útil del suelo (succión). La magnitud de V en relación a 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 (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 obtiene 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.

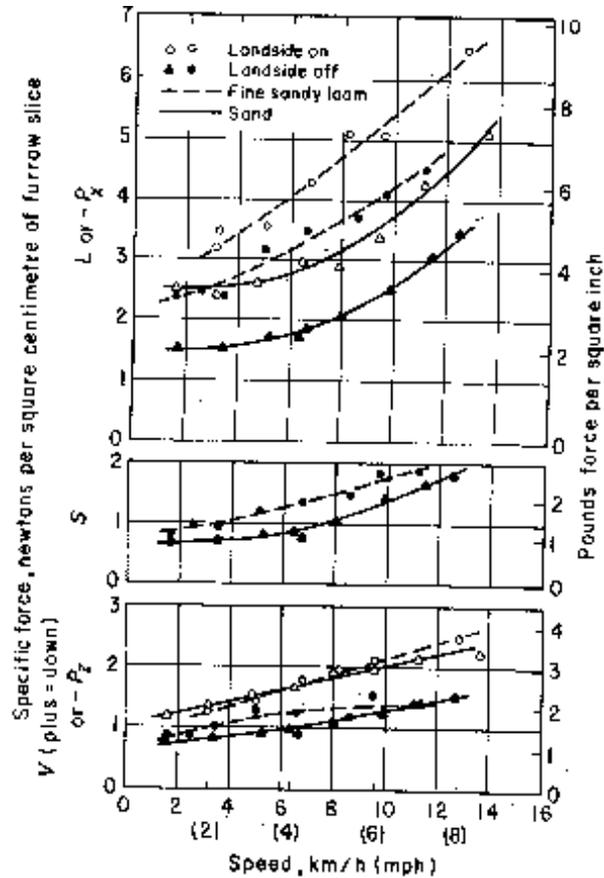


Figura 2.1 El valor de la fuerza vertical V se incrementa con la velocidad (Randolph)

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 varios funcionamientos de maquinaria, tal como arado, que es indispensable en la maquinaria agrícola para nuestro campo (Sakurai, 1996).

La cantidad de acercamientos en este objetivo, el método de deformación de la galga puede proporcionar la exactitud más alta y el método de medición más barato. En este capítulo, una medida general de la fuerza en uno de los tres

estados dimensionales es explicada que permite medir no solo una magnitud y una dirección de la fuerza sino también una posición en la línea de acción.

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

En este caso, tres tipos de medición para la magnitud de la fuerza son considerados 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

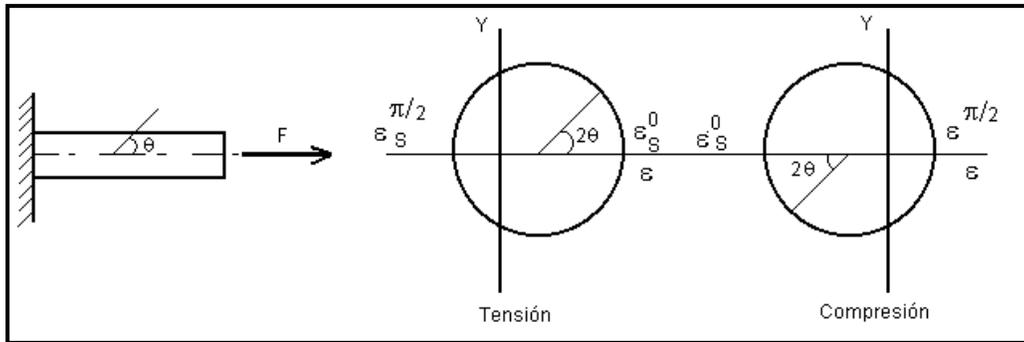


Fig. 2.2 El estado de deformación en tensión o compresión

Las deformaciones máximas principales están dadas por:

$$\epsilon_s^0 = \frac{\sigma_s^0}{E} = \frac{F}{EA} \dots\dots\dots \text{ec.2.1}$$

$$\epsilon_s^{\frac{\pi}{2}} = -\mu \epsilon_s^0 \dots\dots\dots \text{ec.2.2}$$

Donde:

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

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 reloj-contador.

F = Fuerza aplicada.

A = Área de la sección cruzada del eje

E = Modulo de Young

μ = Relación de Poisson

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

b) Flexión

Un estado de flexión ocurre en el eje cuando la línea de acción es perpendicular al eje y es interceptada en el centro como se muestra en la Figura 2.3

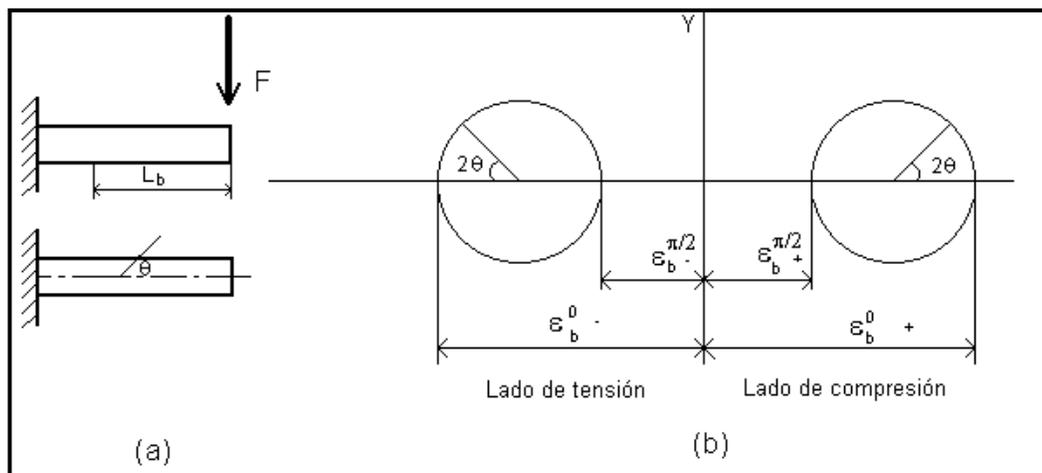


Fig. 2.3 Estado de deformación-flexión

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

$$\varepsilon_b^{0\pm} = \pm \frac{\sigma_0}{E} = \pm \frac{M}{EZ_b} = \pm \frac{FL_b}{EZ_b} \dots\dots\dots \text{ec.2.3}$$

$$\varepsilon_b^{\frac{\pi}{2}\pm} = \mu \varepsilon_b^{0\pm} = \pm \mu \frac{M}{EZ_b} = \pm \mu \frac{FL_b}{EZ_b} \dots\dots\dots \text{ec.2.4}$$

Donde:

$\varepsilon_b^{0\pm}$, $\varepsilon_b^{\frac{\pi}{2}\pm}$ = deformación normal a $\theta = 0$ y $\pi/2$ respectivamente, mientras el subíndice (+) y (-) son colocados para un lado máximo de tensión 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:

$$Z_b = \frac{2I}{d'} \dots\dots\dots \text{ec.2.5}$$

Donde:

I = Segundo momento de área

d' = Radio del eje

c) Torsión

Un estado de torsión ocurre en el eje, cuando la línea de acción no intercepta al eje y el producto escalar de vectores va en dirección de la línea del eje cero, es lo ilustrado en la figura 2.4a

Las deformaciones principales máximas y mínimas están dadas por:

$$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}} = \sigma_t^{\frac{\pi}{4}} = \frac{\tau_t}{G} = \frac{T_t}{GZ_p} = \frac{FL_t}{GZ_p} \dots\dots\dots \text{ec.2.6}$$

$$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}} = -\sigma_t^{\frac{\pi}{4}} = \frac{\tau_t}{G} = -\frac{T}{GZ_p} = -\frac{FL_t}{GZ_p} \dots\dots\dots \text{ec.2.7}$$

Donde:

$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}-}$, $\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}+}$ = 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.

Tt = Torsión que aplica al eje.

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

Zp = Momento polar de inercia de área.

Más allá referenciado a la figura. 2.4b, una deformación para un ángulo θ arbitrario se representa por:

$$\varepsilon_t = \frac{FL_t}{GZ_p} \sin 2\theta \dots\dots\dots \text{ec.2.8}$$

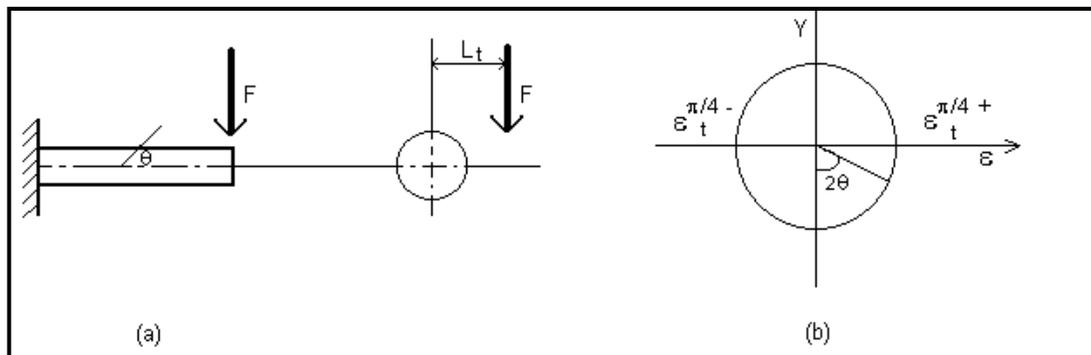


Fig. 2.4 Estado de deformación en torsión

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 muestra 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 2.9

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

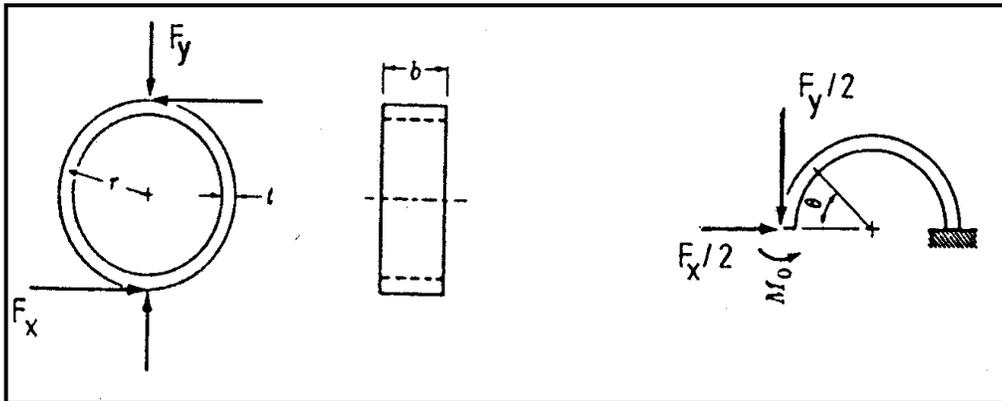


Figura 2.5 fuerzas actuando en un elemento del anillo.

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 $\text{Cos}\theta = 0$, ($\theta = 90^\circ$).

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:

$$\varepsilon_{39,6^\circ} = \frac{2.31 F_y r}{E b t^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.10}$$

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{1.09 F_x r}{E b t^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.11}$$

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

$$\varepsilon_{50^\circ} = \frac{1.4 F_y r}{E b t^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.12}$$

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{0.7 F_x r}{E b t^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.13}$$

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

$$K = 6.626 - 19.63 M_s + 21.142 M_s^2 - 8.699 M_s \dots\dots\dots \text{ec.2.14}$$

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 sensitividad del momento sensitivo (M_s) y la rigidez respectivamente (K).

La representación gráfica de la ecuación como una función de (M_s) y (K).

Una contribución importante al diseño de los Anillo Extendidos fue dado por Godwin (1975), el determino 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:

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{1.5 F_y r}{E b t^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.15}$$

$$\varepsilon_{34^\circ} = \frac{1.66 F_x r}{E b t^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.16}$$

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 $\{\varepsilon/S\}_{x,y}$. Esta relación representa la cantidad de deformación por unidad de desplazamiento relativo del anillo del fondo medio. La relación $\{\varepsilon/S\}$ puede ser expresada como una función de las dimensiones principales del anillo $\{t, r \text{ y } b\}$ y están dadas por la ecuación 2.77

$$\varepsilon / S_x = 0.60 t/r^2 \dots\dots\dots \text{ec.2.17}$$

Para obtener máxima ejecución del anillo en la tensión – proporción del desplazamiento, sugirió Hoag, (1977) *citado por Varela, (2000)* que la relación (t / r^2) debe aumentarse al máximo. Para los requerimientos específicos

esperados de cualquier fuerza máxima o momento, la deformación máxima en el anillo puede ser seleccionando el material del anillo apropiado junto con un máximo conveniente a la deformación aceptable, esto puede verse en la ecuación 2.18

$$\left\{ \frac{t}{r^2} \right\} = \frac{M}{\sigma_{\max} t r^2 b} \dots\dots\dots \text{ec.2.18}$$

La ecuación anterior puede verse que para mejorar la relación de $\{\epsilon / S_x\}$, estos deben ser valores relativamente pequeños de $\{t, r, b\}$.

Godwin *et al.* (1993) Diseñaron un dinamómetro para medir las fuerzas y momentos que actúan sobre implementos de labranza. El diseño fue basado en dos anillos octagonales extendidos montados “espalda con espalda” o “espaldas no discretas” arreglados con sus ejes longitudinales en ángulos correctos, estos anillos se encontraban montados en un plato cada uno con la finalidad de ser colocado ante el tándem del implemento y así poder ser transportados, también se encontraban montados sobre un tubo con el propósito de medir las fuerzas que ocasiona un par o una fuerza lateral a un implemento. Mediante su investigación encontraron la posición óptima para el montaje de 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:

$$\epsilon_{22.5^\circ} = \frac{2.66F_x r}{E b t^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.19}$$

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{1.13F_y r}{E b t^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.20}$$

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

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

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{2.12F_x r}{Ebt^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.21}$$

$$\varepsilon_{39.25^\circ} = \frac{2.24F_y r}{Ebt^2} \dots\dots\dots \text{ec.2.22}$$

En la tabla 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.

Tabla 2.5 Localización de los nudos de concentración de esfuerzos derivados por diferentes investigadores

SITUACIÓN DE NUDO DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS (θ)			SUGERIDO POR DIFERENTES AUTORES	
NUDO			SENSITIVIDAD (ϵ)	
	θ_{Fy}	θ_{Fx}	Fx	Fy
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°	$\frac{2.66 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{1.13 F_y r}{E b t^2}$
Campos (1992)	90°	39 ¼°	$\frac{2.12 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{2.24 F_y r}{E b t^2}$

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 cuál 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 cuál 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 cuál 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.

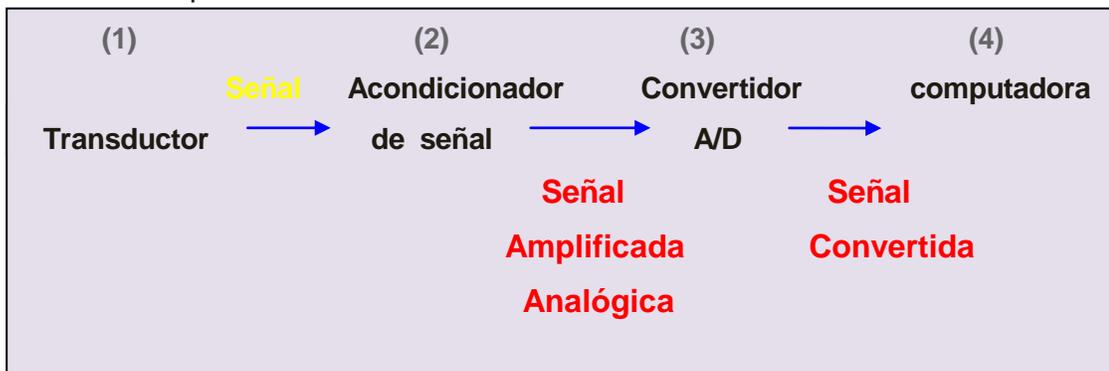


Figura 2.6. Diagrama de adquisición y procesamiento de datos

2.4.1 Factores Involucrados en la Selección para el Diseño de un Transductor de Fuerzas.

La necesidad de conocer con precisión la magnitud y dirección de las fuerzas de reacción del suelo, que actúan sobre un implemento en particular para su diseño óptimo requiere el uso de transductores para medir dichos parámetros los cuales se han diseñado para medir las fuerzas de tiro, fuerza vertical para herramientas de geometría simétrica ya que de acuerdo a la teoría de 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 cuando la precisión de la localización de las galgas extensiométricas ha sido realizada: (Campos, 1993).

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

Cuando un elemento de maquinaria se somete a una fuerza, este sufre una deformación proporcional a la fuerza aplicada. La deformación puede ser causada por una carga axial, por una torsión o por un momento. Esta

deformación puede ser medida para conocer la fuerza que está actuando sobre el elemento ésta es medida 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 necesitan un elemento elástico que traduzca 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

La galga extensiométrica es 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, como constatan, 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 está 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

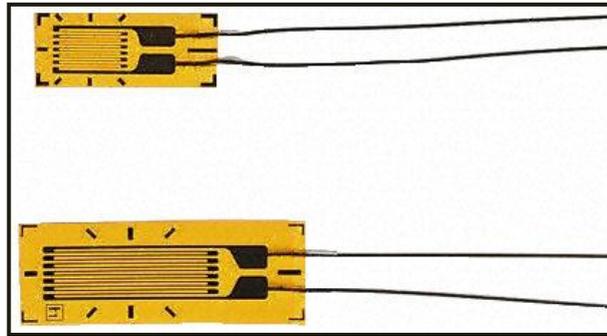


Figura 2.7 muestra un galga extensiométrica.

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:

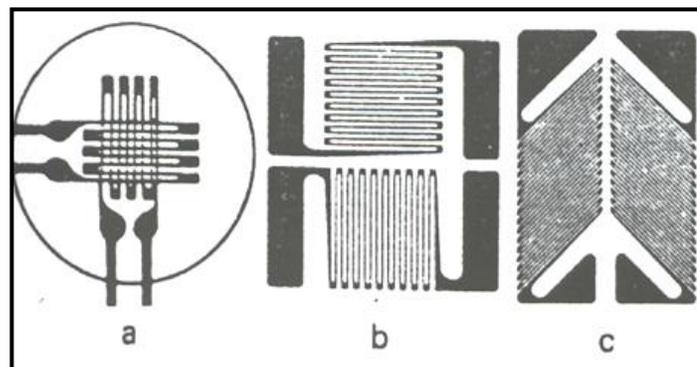


Figura 2.8 a) muestra laminillas apiladas a 90 grados; b) laminilla plana a 90 grados; c) laminilla plana sesgada a 90 grados.

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:

$$\varepsilon = \frac{dL}{L} = \frac{\sigma}{E} \dots\dots\dots \text{ec. 2.23}$$

Donde:

ε = Deformación

L = Longitud original

dL = Cambio en longitud debido la deformación

σ = Esfuerzo.

E = Modulo de elasticidad

Según la ecuación (2.23), 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:

$$\frac{dR}{R} = K\varepsilon \dots\dots\dots \text{ec. 2.24}$$

Donde: R = Resistencia sin deformación; dL = Incremento de la resistencia sin deformación; K = Numero fijo proporcional; ε = Deformación.

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

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots \text{ec. 2.25}$$

Donde:

ρ = Resistividad

L = Longitud.

A = Área de la sección

En este 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 ésta deformación es pequeña depende al radio de Poisson (μ), y esta constante varia de material a material. Este usualmente es sobre 0.3, así que la deformación medida perpendicular a la carga será aproximadamente 0.3 veces a la deformación paralela a la carga.

2.4.3.- Puente de Wheatstone

El dispositivo eléctrico que es normalmente usado para medir $\epsilon K = \frac{dR}{R}$ y para convertir esta medición de cambio de resistencia en deformación, se utiliza el potenciómetro y el puente de Wheatstone como 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 considerado.

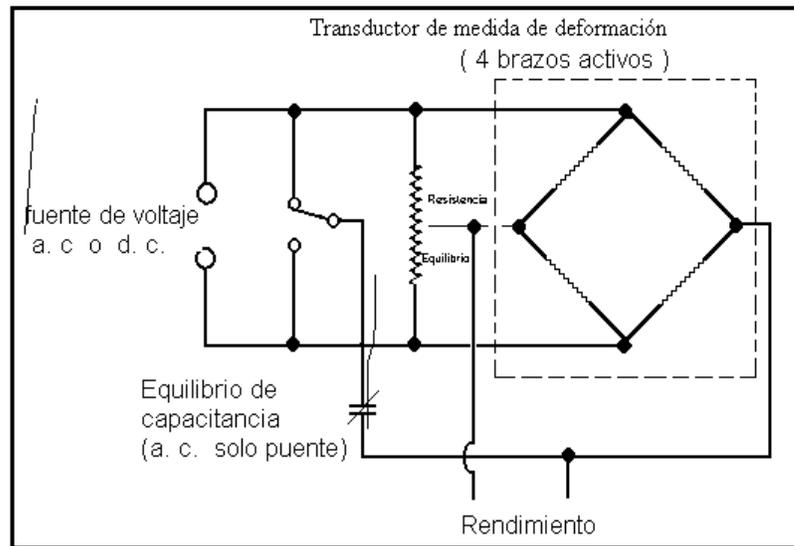


Figura 2.9 Puente de Wheatstone (Godwin, 1993)

De esto se puede desprender la ecuación 2.24.

$$V = \frac{(U)(F_G)(n)(\epsilon)}{4} * Gain \dots\dots\dots ec.2.25$$

Donde:

- V = voltaje de salida esperado
- U = Voltaje de excitación
- n = Numero de galgas activas
- ϵ = Deformación
- F_G = Factor de galga
- Gain = ganancia

2.5.- Sistema de Adquisición de Datos

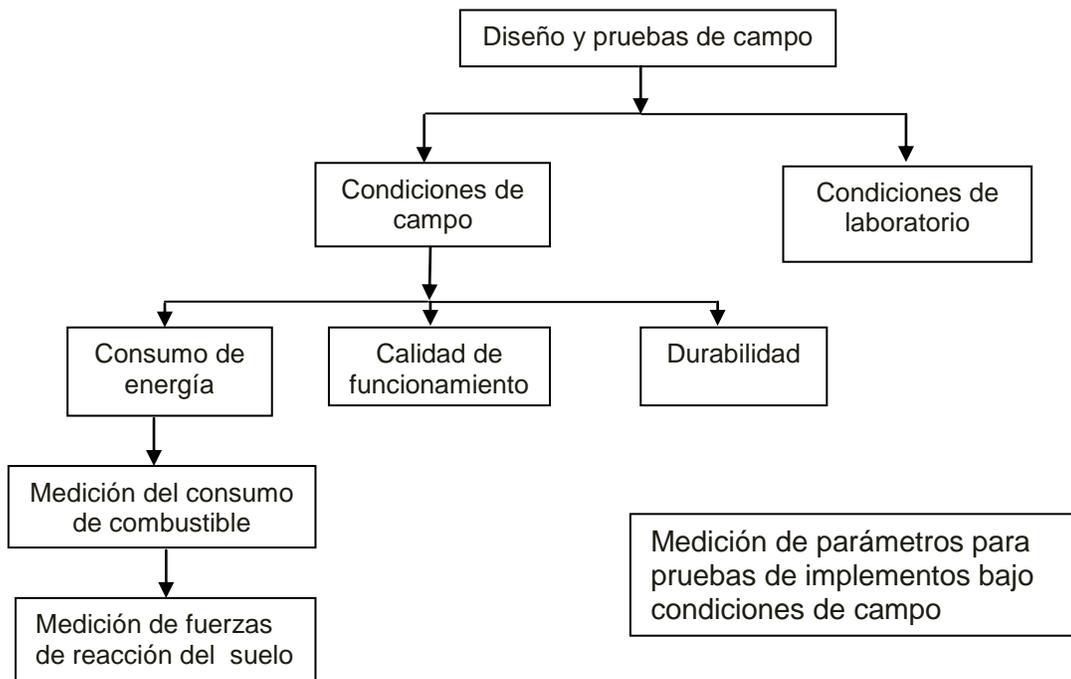
Rogers y Johnston (1953) indican la necesidad del procesamiento de datos de las fuerzas que actúan sobre los implementos. Ellos usaron un cilindro de

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 en 16 parte/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 gravar las fuerzas en intervalos de distancias de 5 cm. 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 esta sucediendo en interacción suelo herramienta. Moo (2000) desarrollo un sistema de adquisición de datos de laboratorio y campo que permite evaluar el desempeño de los implementos de labranza, además muestra el diseño de medidores de velocidad y desplazamiento. Campos (1993) menciona que dentro de la adquisición de datos de laboratorio comprende de un tanque de suelos el cual el sistema y los transductores se adaptan a este. Y para el análisis de información proveniente de los procesos de muestreo (conversión analógica a digital) utilizo la metodología del algoritmo de la transformada Rápida de Fourier para la obtención de la potencia espectral.

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 el siguiente esquema de (Hinojosa 2003):



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, en el cual mediante el análisis de datos se toma como base la lectura promedio mas alta de valores sumándole el pico mas alto,

determinado en valores de voltaje y expresado en magnitudes de fuerza . Para esto fue necesario diseñar dos dinamómetros axiales.

Los elementos que integran la propuesta son:

- a) Dos Transductores octagonales con capacidad de 40 KN de fuerza.
- b) Un transductor para cargas axiales con capacidad de 70 KN.
- c) Un sistema de enganche.
- d) Una estructura flotante.

El diseño de la propuesta original (Hinojosa, 2003) a ser rediseñado se muestra en la figura 3.1

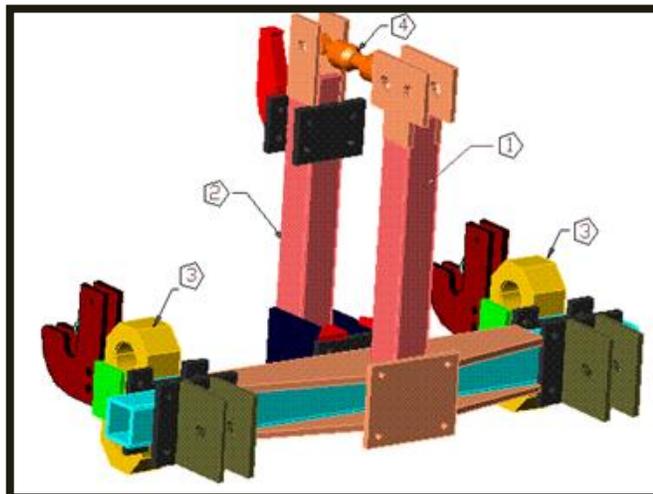


Figura 3.1 Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor

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 2.1 y 2.2 donde 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, 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-medio 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.sumiteccr.com>).

Para obtener las dimensiones de los sensores octagonales se utilizara:

- 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 con un programa llamado “diseño de transductores”, que incluye dimensiones del anillo: radio, ancho y espesor del anillo; esfuerzo de cedencia del material (N/m^2), modulo de elasticidad; factores de seguridad y factor de galga, sensibilidad y voltaje de salida esperado; en el cual involucra todos los factores de diseño y se realiza 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 3.2. Para el dinamómetro de transferencia de peso también se utilizara acero 1018. Y su factor de diseño respecto a los radios se obtiene mediante el factor de seguridad que se requiera.

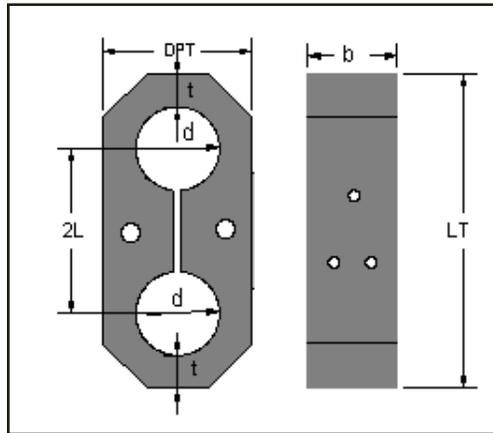


Figura 3.2 Sensor Octagonal

3.3.- Fabricación de los sensores

La fabricación de los sensores octagonales se llevara acabo en la empresa Bison por que ahí es donde también nos fabricaran los acoplamientos para la estructura flotante y el dinamómetro de transferencia de peso se fabricara en el laboratorio de mecánica de nuestra universidad.

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 2.11, 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 3.3.

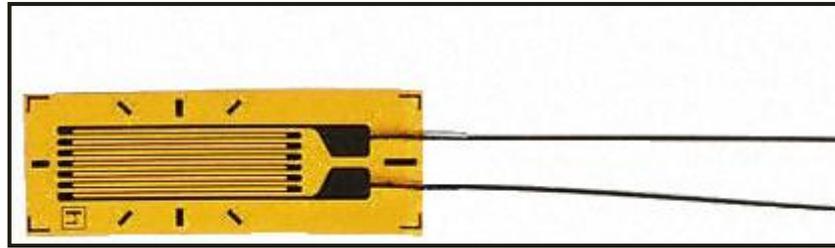


Figura 3.3 Modelo de la galga Extensiométrica

La localización de las galgas y los arreglos de los puentes de Wheatstone se muestran en la figura 3.4.

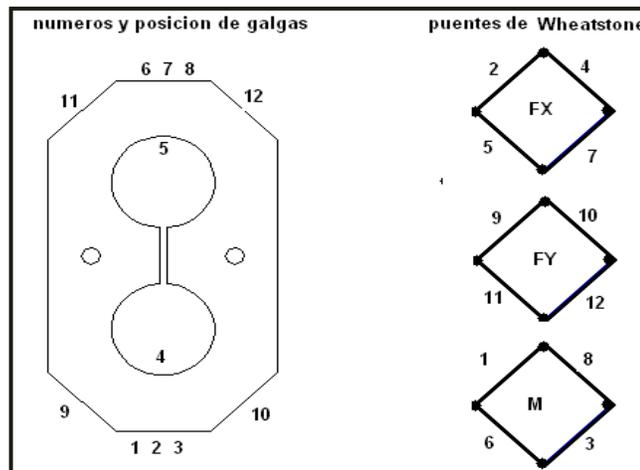


Figura 3.4 Localización de las galgas y puentes de Wheatstone

3.5.- Estructura flotante.

Se utilizara 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 3.5. Y ver detalles en anexo A.



Figura 3.5 Estructura flotante

3.6.- Calibración del equipo y transductor

Para esto se utilizara la computadora que anteriormente habíamos mencionado pero ahora con un software llamado “DaqView” que este software trabajo junto con:

1. Un amplificador – acondicionador (DBK–43A) con módulos de 8 canales, con ganancia de $10x$ a $1250x$ (ϵ), fabricado por Iotech, Inc. (<http://www.iotech.com>) usado para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje para así poder enviarla a un convertidor analógico – digital. Este además provee el voltaje de excitación al transductor en un rango de 1-10V y 100 mA.
2. Un convertidor analógico – digital (DakBook 200).- El cual es un modulo que se conecta al puerto paralelo de la computadora y que convierte los valores de voltaje en valores digitales para que puedan ser procesados por la computadora. Este sistema se compone de dos partes, la primera parte es la que procesa la información y la segunda parte es un banco de baterías que alimenta a la parte de procesamiento. Este modulo es integrado por seis módulos de voltaje diferencial. 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 del ordenador, y permite ver la respuesta de los canales en pantalla durante el proceso. Los datos obtenidos durante el proceso son posteriormente analizados con los paquetes de Excel y MINITAB.

3.6.1.- Preparación del Equipo de Adquisición de Datos.

- a) Primeramente se conectara 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 modulo 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 esta 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.

3.6.2.- Preparación del Software para Capturar Datos

La figura 3.6 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, nombre del archivo para guardar los datos.

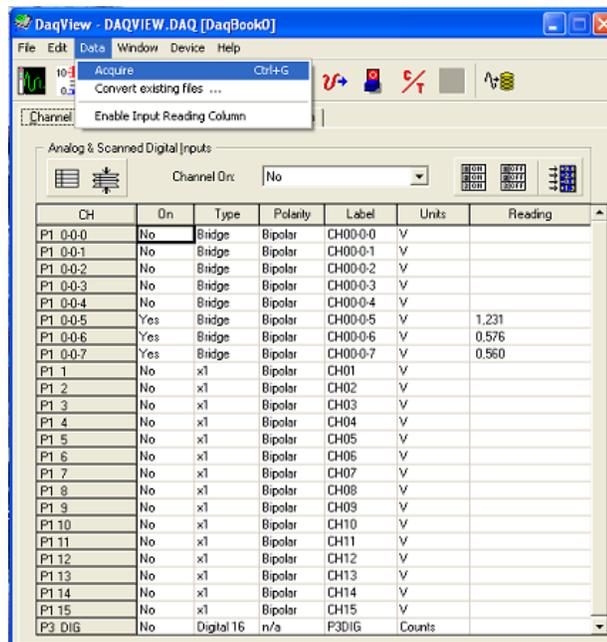


Figura 3.6 Captura de datos de una sesión de Daqview

3.6.3.- Calibración directa del equipo

Esta va calibrada 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, ofset, gain scalling.

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

3.6.4.- Registro de Información

- a) En la barra de herramientas se presiona el icono DATA y una vez abierto se presiona el botón ACQUIRE y de ahí nos muestra otra ventana donde para empezar a almacenar los datos se presiona MANUAL TRIGGER.
- b) Esperar 30 segundos para iniciar el trabajo de la herramienta, esto se hace para que se registre la parte inicial de la evaluación, es decir, cuando la herramienta no presenta todavía resistencia por parte del peso, y así poder tener un punto de referencia en el momento de realizar el análisis de los datos. Una vez pasados los 30 segundos se coloca el primer peso, se deja reposar un minuto y se coloca el segundo, y así sucesivamente hasta a ver el colocado el tercero y se comienza con la descarga de igual manera.
- c) De acuerdo a la calibración de cada dinamómetro octagonal, se estará almacenando la cantidad de 30 datos/segundo, con un total de 12600 datos que son los datos requeridos en tiempo para la colocación de los 3 contrapesos de 45.5 kg cada uno; que esto sería en la mitad para el periodo de carga y la otra mitad para el periodo de descarga.
- d) Al término de cada sesión 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 esta funcionando nuestros dinamómetros, se hacen tres repeticiones para cada evaluación.

3.7.- Análisis de Datos

Para el análisis de datos primeramente se abren los archivos en Excel y se grafican los canales, para así poder determinar rangos de cada peso y sacarle su promedio en mv, después a cada promedio se le resta el promedio cero, para así obtener su valor real, se promedian las tres repeticiones de cada prueba para así poder obtener su curva de calibración.

3.8.- 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. Este archivo puede ser leído por el programa “análisis.mat”, en el ambiente de Matlab, que nos permita procesar toda la información contenida en él 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, este algoritmo calcula el espectro de frecuencia de los datos obtenidos, y a partir de aquí se puede localizar la mayor magnitud ocurrida y su correspondiente frecuencia (Mojica, 2000).

IV. RESULTADOS

4.1. Diseño, Construcción y Calibración de Transductores Axiales

Después de estudiar y analizar las diferentes fuerzas de algunos implementos conocidos de acuerdo a las tablas 2.1 y 2.2 donde 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, todo el proceso de cálculo de los dinamómetros es mostrado en el anexo (B).

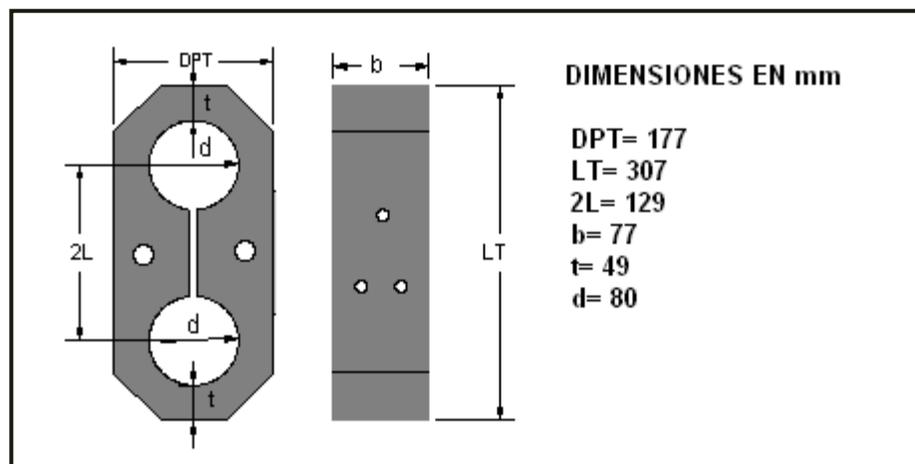


Figura 4.1 Dimensiones Octagonal. Acero 1018, con un esfuerzo a tensión de 343 MPa.

Los dinamómetros fueron construidos por la empresa TECNOMEC, fabricante de los equipos Agropecuarios, Bison. En el anexo (C) se encuentra el procedimiento para el pegado de galgas y cableado de los dinamómetros octagonales.

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, este último se comprobó que fuera superior a $50\text{ M}\Omega$.



Figura 4.2 Galgas montadas y cableado.

La curva y ecuaciones de calibración de los dinamómetros se muestran a continuación para cada fuerza individual y para las fuerzas combinadas. En Anexo (D) es mostrado el procedimiento de calibración de cada transductor.

4.2 Calibración con cargas individuales.

Para verificar el funcionamiento del transductor integral por cada dirección de cada fuerza (Horizontal, Vertical y transferencia de peso) se procedió a realizar

las cargas individuales (de 450 N cada una de las fuerzas) en forma escalonada.

4.2.1 Calibración de la Fuerza en Horizontal (FX).

En la figura 4.3 se muestra la Calibración de la fuerza horizontal del dinamómetro Integral.



Figura 4.3 Calibración de la fuerza horizontal del Sensor Integral, Octagonal y Axial.

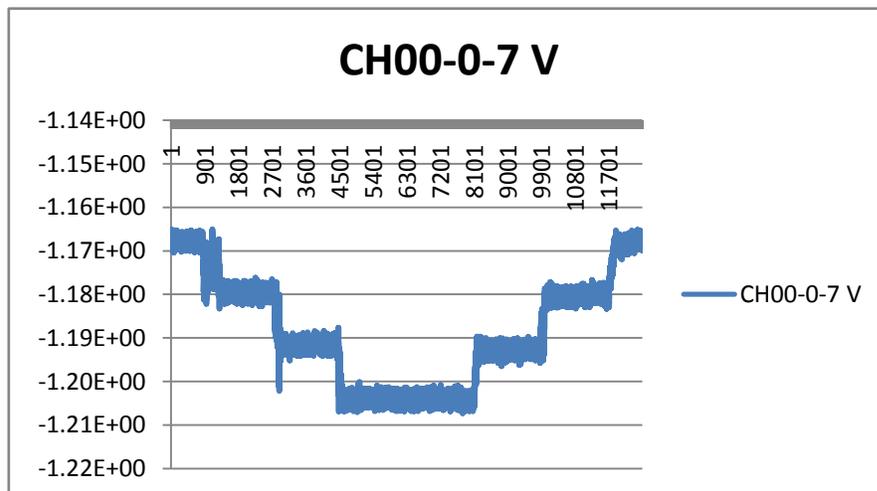


Figura 4.4 Datos obtenidos en el DAQ200, con la (FX), con cargas escalonadas de 450 N cada una, a una frecuencia de muestreo de 50 Hz.

Tabla 4.1 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido en **Tres Posiciones de Carga**.

Repetición	Peso (N)	Pos. 0.73m	Pos. 0.345m	Pos. 0.18m
11	446.3	11.4	8.22	6.50
12	446.3	11.7	8.46	6.42
13	446.3	11.7	8.65	6.46
21	892.7	23.2	16.79	15.34
22	892.7	23.9	17.37	12.98
23	892.7	23.9	17.16	12.72
31	1339.0	35.1	24.71	21.97
32	1339.0	35.6	24.55	19.01
33	1339.0	36.2	25.25	19.14

Tabla 4.2 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido en **Tres Posiciones de Descarga**.

Repetición	Peso (N)	Pos. 0.73m	POS. 0.345m	POS. 0.18m
11	446.3	12.0	8.60	6.95
12	446.3	11.3	8.45	7.83
13	446.3	11.9	7.79	6.66
21	892.7	24.5	17.31	14.19
22	892.7	23.4	18.85	12.78
23	892.7	24.4	16.10	13.64
31	1339.0	37.1	24.80	21.40
32	1339.0	35.2	24.62	19.62
33	1339.0	35.5	25.31	20.37

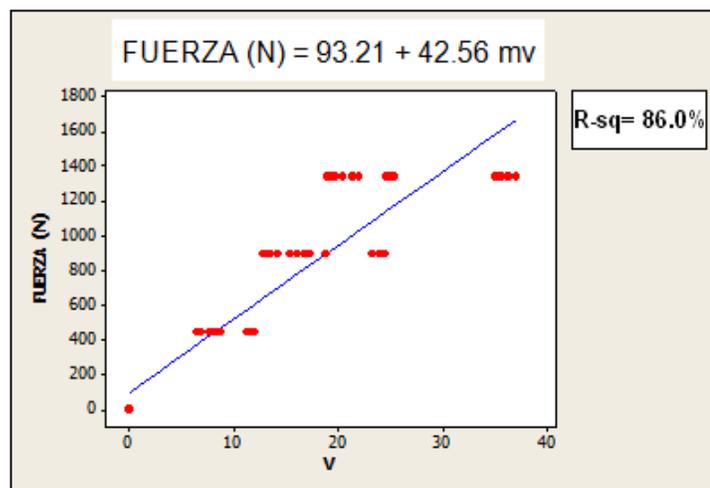


Figura 4.5 Curva de calibración para la (FX) con regresión lineal.

Como se puede apreciar, en la figura (4.5), el coeficiente de correlación($R-sq$) de la ecuación de respuesta es del 86%, lo cual indica un porcentaje significativo de dispersión, no deseable, por efecto de la posición de la fuerza.

4.2.2 Calibración de la Fuerza en Vertical (FY).

En la figura 4.6 se muestra la Calibración de la fuerza vertical del dinamómetro octagonal.



Figura 4.6 Calibración de la fuerza vertical del Sensor Integral, Octagonal y Axial.

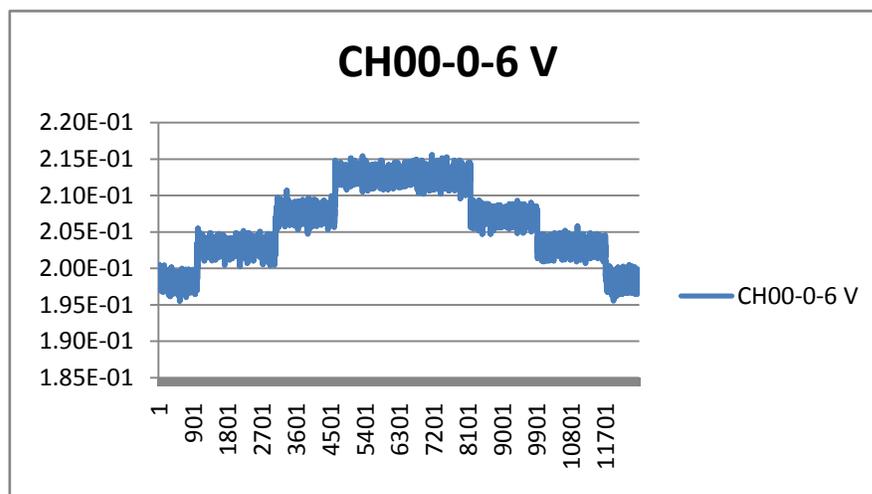


Figura 4.7 Datos obtenidos en el DAQ200, con la (FY), con cargas escalonadas de 245 N cada una, a una frecuencia de muestreo de 50 Hz.

Tabla 4.3 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de **Carga y Descarga**.

Repetición	Peso (N)	Carga (mv)	Descarga (mv)
11	245.2	4.81	4.05
12	245.2	4.76	4.57
13	245.2	4.52	4.77
21	490.5	9.38	8.56
22	490.5	9.34	8.8
23	490.5	9.44	9.28
31	784.8	14.4	13.64
32	784.8	14.61	14.39
33	784.8	14.65	14.86

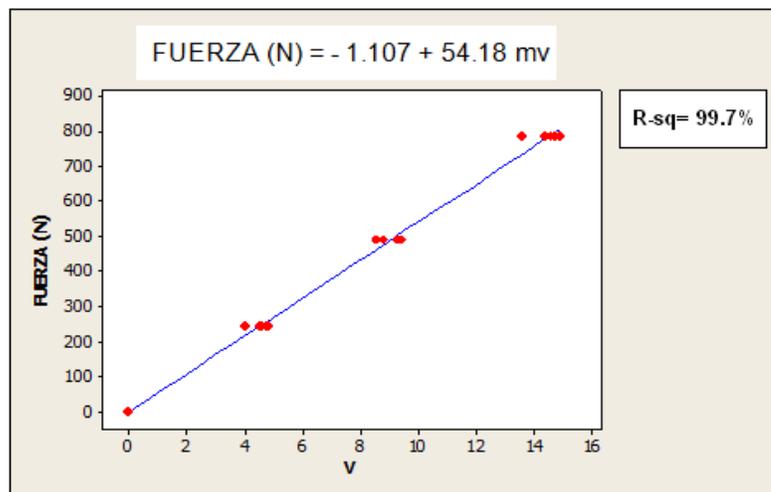


Figura 4.8 Curva de calibración, para la (FY) con regresión lineal.

En la figura 4.8 muestra que a diferencia de la fuerza horizontal, la ecuación de respuesta para la fuerza vertical (FY), tiene un alto R-sq, superior al 99% de correlación, lo cual indica una alta confiabilidad de la ecuación de respuesta para esta dirección de la fuerza.

4.2.3 Calibración de la Fuerza Axial.

En la figura 4.9 se muestra la Calibración del dinamómetro Axial para le medición de transferencia de peso.



Figura 4.9 Calibración del dinamómetro axial.

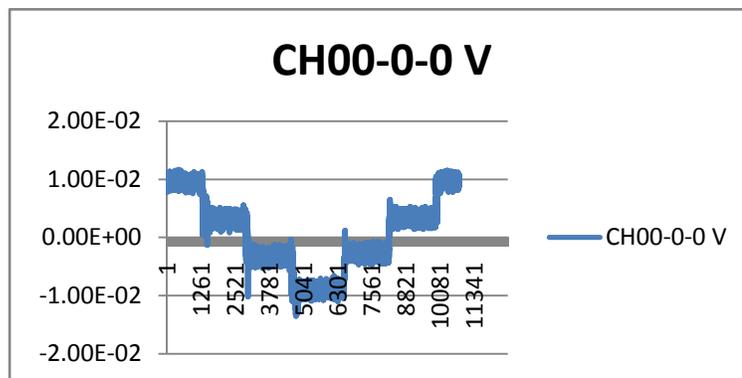


Figura 4.10 Datos obtenidos en el DAQ200, de la fuerza **Axial**, con cargas escalonadas de 450 N cada una, a una frecuencia de muestreo de 50 Hz.

Tabla 4.4 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de **Carga y Descarga**.

Repetición	Peso (N)	Carga (mv)	Descarga (mv)
11	446.3	43.9	56.6
12	446.3	43.8	56.6
13	446.3	43.6	56.6
21	892.7	88.1	100.4
22	892.7	87.3	100.5
23	892.7	87.4	100.3
31	1339.0	132.1	144.2
32	1339.0	131.4	144.1
33	1339.0	131.2	144.1

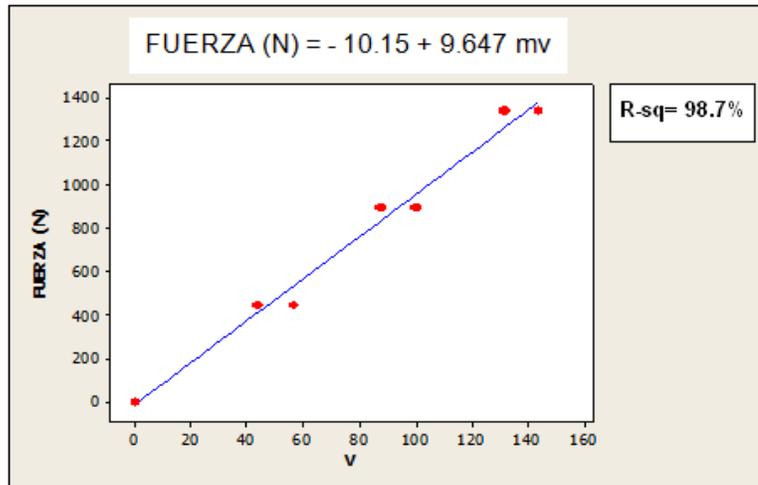


Figura 4.11 Curva de calibración, para la **Axial** con regresión lineal.

En la figura 4.11 se muestra claramente la alta correlación de la ecuación, con respecto a los pesos y al voltaje obtenido en la calibración, con un R-sq de más del 98%. Lo cual indica una alta confiabilidad de los datos a medir en condiciones de campo.

4.3 Calibración de dinamómetro con las fuerzas combinadas, Horizontal y Vertical.

En la figura 4.12 se muestra la Calibración del dinamómetro Integral con fuerzas combinadas.



Figura 4.12 Calibración de fuerzas combinadas, del Sensor Integral, Octagonal y Axial.

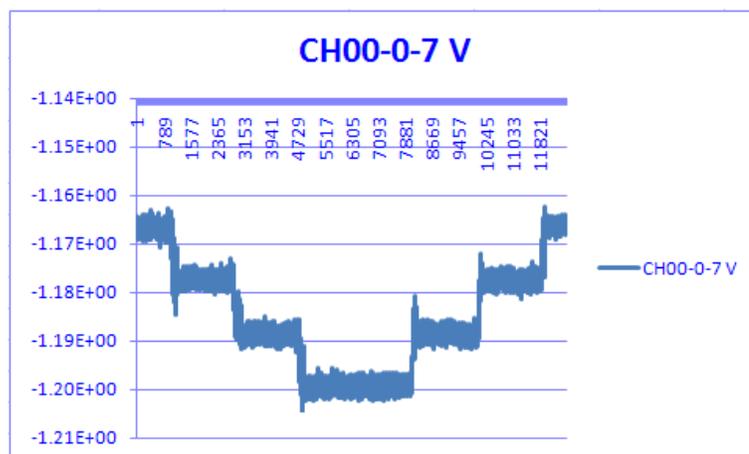


Figura 4.13 Datos obtenidos en el DAQ200, para la (**FX**), con cargas escalonadas de 450N en la horizontal y 250N en la vertical.

Tabla 4.5 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de **Carga y Descarga**.

Repetición	Peso (N)	Carga (mv)	Descarga (mv)
11	446.3	10.6	9.11
12	446.3	10.7	9.54
13	446.3	11.1	11.6
21	892.7	22.1	21.81
22	892.7	21.8	20.64
23	892.7	22.6	23.3
31	1339.0	32.1	32.31
32	1339.0	32.6	31.44
33	1339.0	32.8	34.30

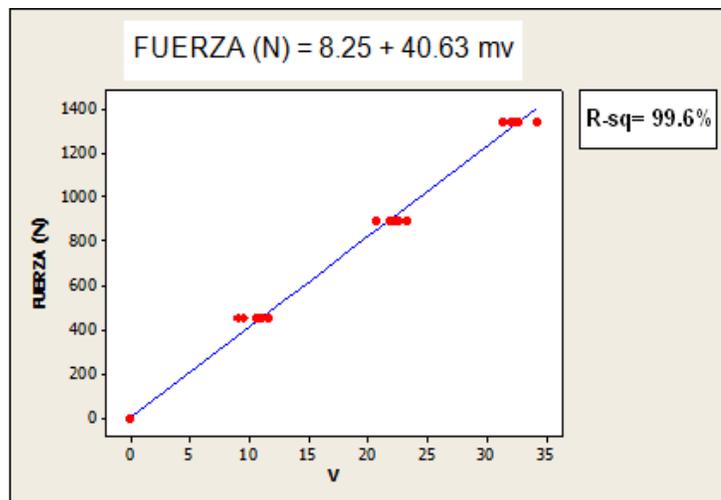


Figura 4.14 Curva de calibración, para la **(FX)** con regresión lineal.

En la figura 4.14 vemos que a diferencia de la carga individual de la **(FX)**, con las cargas combinadas, se tuvo una alta linealidad de la respuesta con respecto a las cargas con una R-sq de más del 99%, con una constante de 40.6 N/mv a diferencia de los 48.2 N/mv con la carga individual. Lo cual indica que no hay efecto de posición de la carga, con respecto a la magnitud de la misma.

Como se mostro en la figura 4.12 las fuerzas combinadas de la Calibración de la fuerza vertical del dinamómetro octagonal.

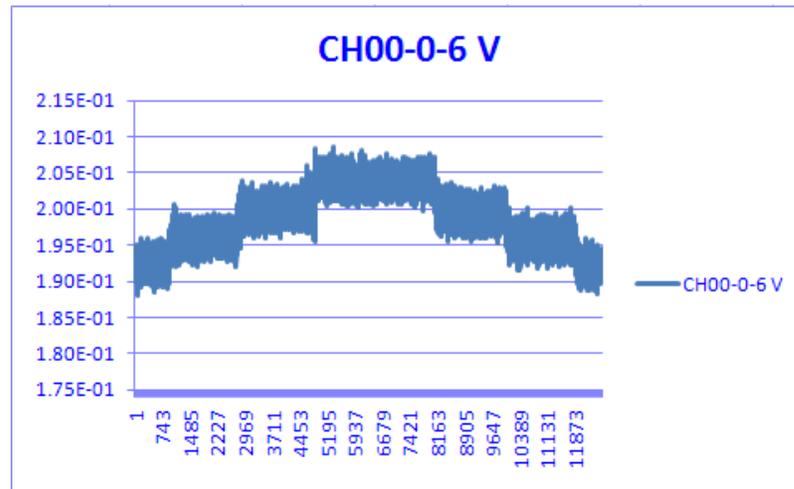


Figura 4.15 Datos obtenidos en el DAQ200, con la **(FY)** combinada, con cargas escalonadas de 250N en la vertical y 450N en la horizontal.

Tabla 4.6 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de **Carga y Descarga**.

Repetición	Peso (N)	Carga (mv)	Descarga (mv)
11	245.2	4.04	3.19
12	245.2	3.72	3.19
13	245.2	3.66	4.3
21	490.5	7.3	7.4
22	490.5	7.54	6.87
23	490.5	7.38	7.91
31	784.8	11.43	11.27
32	784.8	11.6	11.37
33	784.8	11.61	11.58

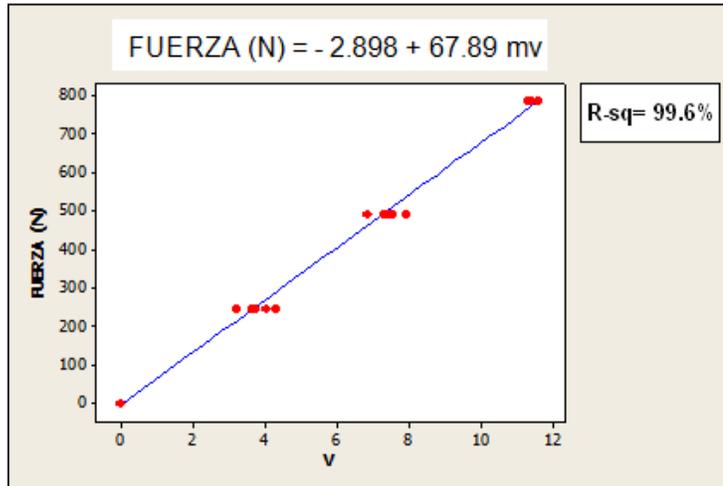


Figura 4.16 Curva de calibración, para la (**FY**), con regresión lineal.

En la figura 4.16 vemos la ecuación de respuesta para la (**FY**), con cargas combinadas, confirma la linealidad para esta fuerza obtenida en el Inciso 4.2.2, con un coeficiente de correlación de más del 99%.

Como se mostro en la figura 4.12 las fuerzas combinadas de la Calibración de la fuerza Axial del dinamómetro de transferencia de peso.

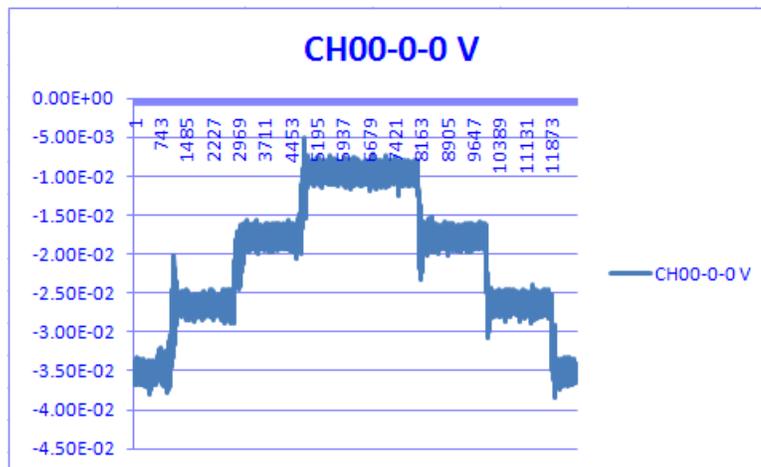


Figura 4.17 Datos obtenidos en el DAQ200, con la fuerza **Axial** combinada, con cargas escalonadas de 250N en la vertical y 450N en la horizontal.

Tabla 4.7 Datos obtenidos en (mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de **Carga y Descarga**.

Repetición	Peso (N)	Carga (mv)	Descarga (mv)
11	691.6	88.8	71.3
12	691.6	85.6	75.3
13	691.6	88.3	85.5
21	1383.2	177.8	169.3
22	1383.2	173.3	160.9
23	1383.2	176.8	183.8
31	2123.8	252.7	250.0
32	2123.8	256.2	244.0
33	2123.8	250.0	263.0

4.4 Sensitividad del momento, en los Transductores.

En la figura 4.18 y figura 4.19, como en la tabla 4.8, se muestran las respuestas, en los arreglos de las galgas en puente de Wheastone, para medir el Momento tanto para las cargas individuales como para las cargas combinadas. En ellas se aprecia que no muestran deformación, en ninguna posición de carga.

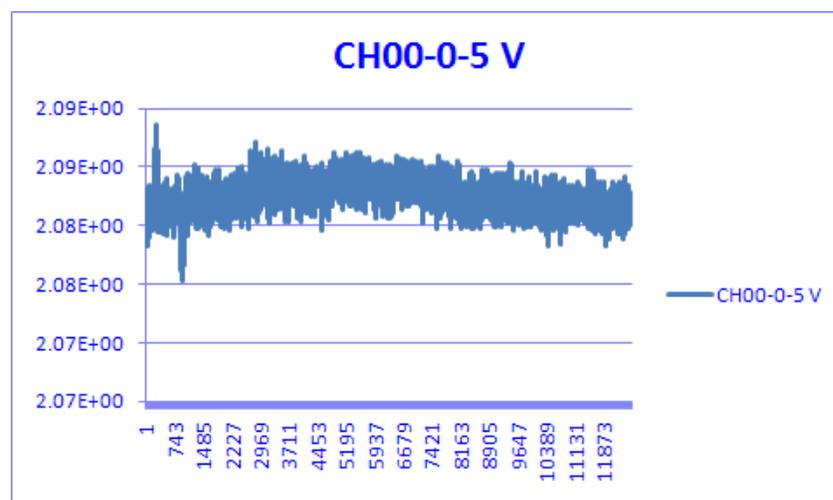


Figura 4.18 Datos obtenidos en el DAQ200, del **Momento**, con cargas escalonadas de 450N en la horizontal.

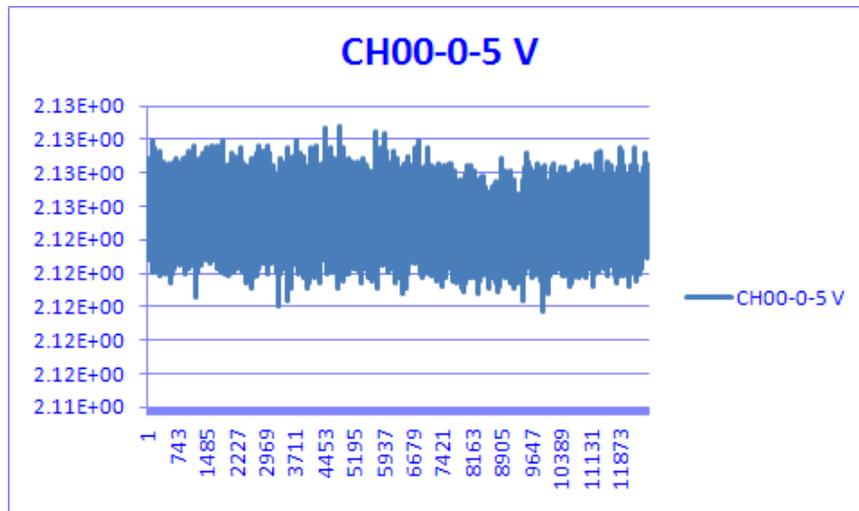


Figura 4.19 Datos obtenidos en el DAQ200, con el **Momento** combinada, con cargas escalonadas de 250N en la vertical y 450N en la horizontal.

Tabla 4.8 Datos obtenidos (en mv) la calibración, de los dinamómetros de ring extendido de **Carga y Descarga**.

Repetición	Peso (N)	Carga (mv)	Descarga (mv)
11	446.3	21.3	21.3
12	446.3	21.3	21.3
13	446.3	21.3	21.3
21	892.7	21.3	21.3
22	892.7	21.3	21.3
23	892.7	21.3	21.3
31	1339.0	21.3	21.3
32	1339.0	21.3	21.3
33	1339.0	21.3	21.3

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluyo satisfactoriamente tanto la construcción de los sensores, como la integración de los mismos en el enganche de tres puntos así como su calibración.

En las cargas combinadas se obtuvo una linealidad de más del 98%, para todos los sensores.

El arreglo actual no permite determinar el momento, producido por la fuerza horizontal.

Se requiere en forma experimental determinar las deformaciones producidas por las cargas, tanto individuales como combinadas, en la parte superior de ring extendido.

Experimentar la combinación de la deformación en el transductor axial, con la deformación de los rines extendidos, en un arreglo de puente de Wheastone, como alternativa para la medición del momento. De ser necesario, diseñar el sensor axial, en forma de ring con las mismas especificaciones que los octagonales extendidos.

VI. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

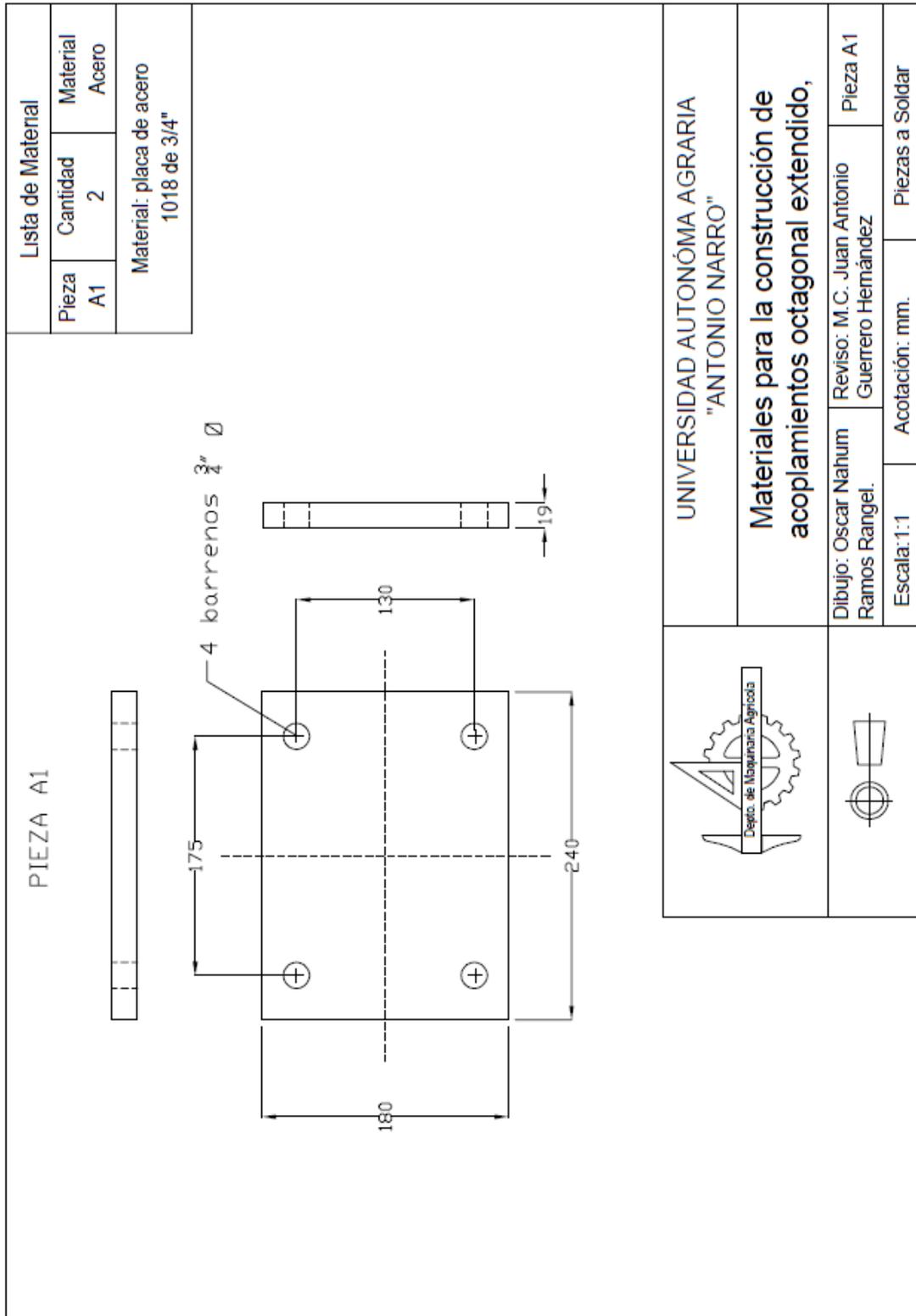
1. American Society of Agricultural Engineers (standard).1983-1984. Attachment of implements to agricultural wheel tractors equipped with quick-attaching coupler. ASAE S278.6 Agricultural Engineeres Yearbook, ASAE, St. Joseph, MI. P.151-153.
2. A. F. R. C. 1990. Agricultural Tractors. Silsoe Bedfordshire Inglaterra.
3. Arcos, Emilio Sánchez; Laurel, Hipólito Ortiz 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.
4. Campos M., S.G.1993. Development of minimum maize planter for Mexican agriculture, unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.
5. Campos, M., S.; Wills, B.; Cadena Z., M; 1992. Consideraciones para el diseño de transductores octagonales y su aplicación en la evaluación de implementos de labranza. Memorias del II congreso nacional de ingeniería agrícola (AMIA). Irapuato, Gto., México
6. Campos, M. S.; Aragón, R. A.; Cadena, Z. M. 2000. Diseño y comportamiento de tres Transductores de fuerzas para la evaluación de herramienta de labranza. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola. CLIA. X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola AMIA 2000.

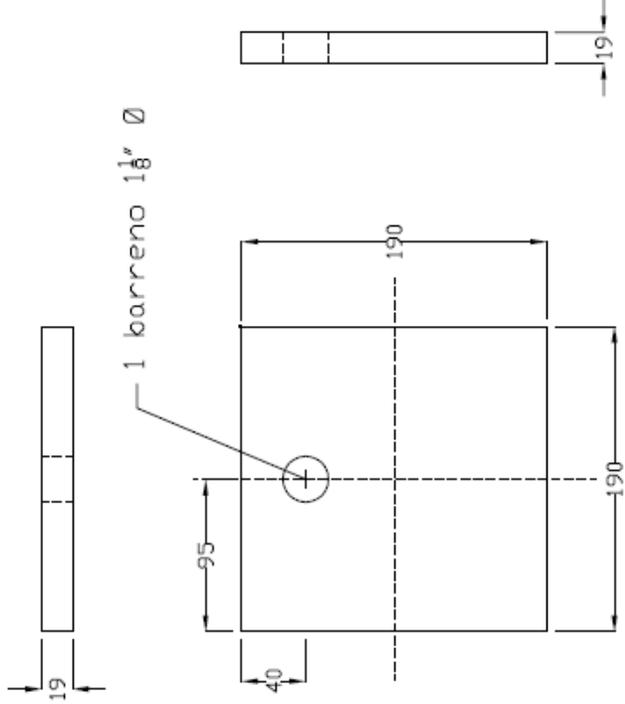
7. Cooper, William D.; Helfrick, Albert D. 1991 Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición.
8. Garner, T.H.; Dodd, R. B.; Wolf Dan; Peiper, U. M. 1988. Force analysis and application of a Three – point hitch dynamometer. Transaction of the ASAE. 31(4) :1047-1053.
9. Gere, James M.; Timoshenko, S. P. 1997. Mecánica de materiales Edit. International Thomson, México.
10. Godwin, R.J.; Reynolds, A. J.; 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.
11. 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).
12. Hinojosa Garcia, Manuel. 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.
13. Hoag, D.L.,R.R. Yoerger 1974. Desingnig load rings for measurement. Transactions of de ASAE 17(2):251-253,261.
14. Hoag, D.L.,R.R. Yoerger 1975. Analysis and desing of load rings. Transactions of the ASAE 18(6):995-999.
15. Hunt, D.,1983. Maquinaria agrícola. Edición Limusa.

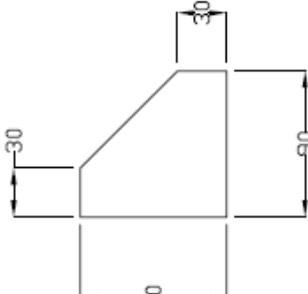
16. Kepner, R. A., Barger, E.: 1978 Principles of Farm Machinery. Third Edition, The AVI Publishing Company, Inc Connecticut.
17. Marín Omaña Leticia. 2003. Desarrollo de un Transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales a tractores categoría II “Basado en el diseño de vigas sometidas a esfuerzos flexionantes y Torsionantes”, tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.
18. Mojica, L. E. D. 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurco para labranza de conservación, empleando equipo multiusos de tracción animal, tesis, Licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver.; México
19. Neuhoff, L. A. 1959. Measuring Force in Two or More Members With One Instrument. *Agricultural Engineering* 40(August): 456-457.
20. Ochoa, J. G., 2002. Manual de prueba y evaluación de arados CENEMA Chapingo, México.
21. Varela, Sergio Villeda 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y dibujos de patentes. Instituto tecnológico de Veracruz.
22. Vaughan John. 1975. Application of B & K Equipment to Strain Measurements.

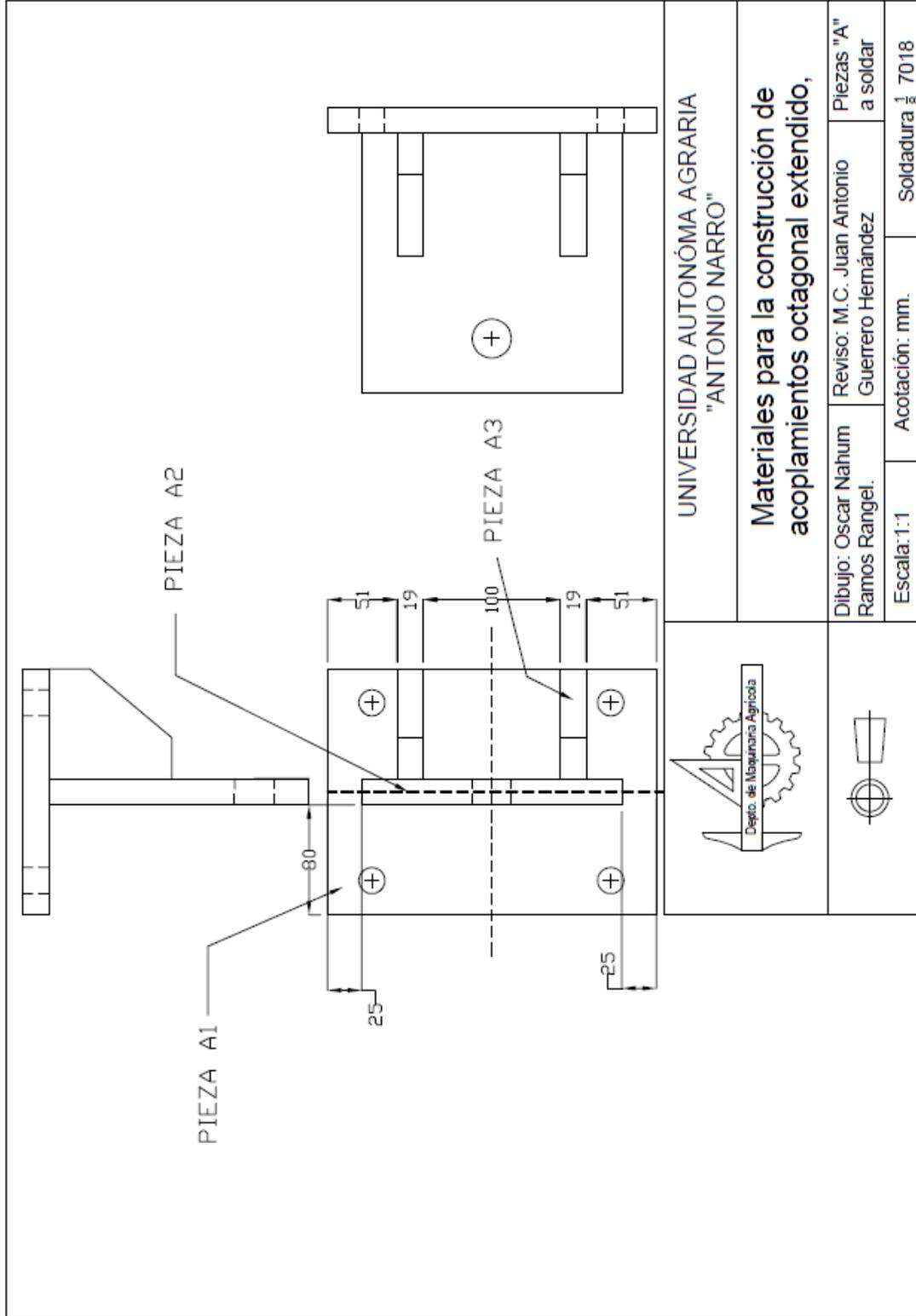
VII ANEXOS

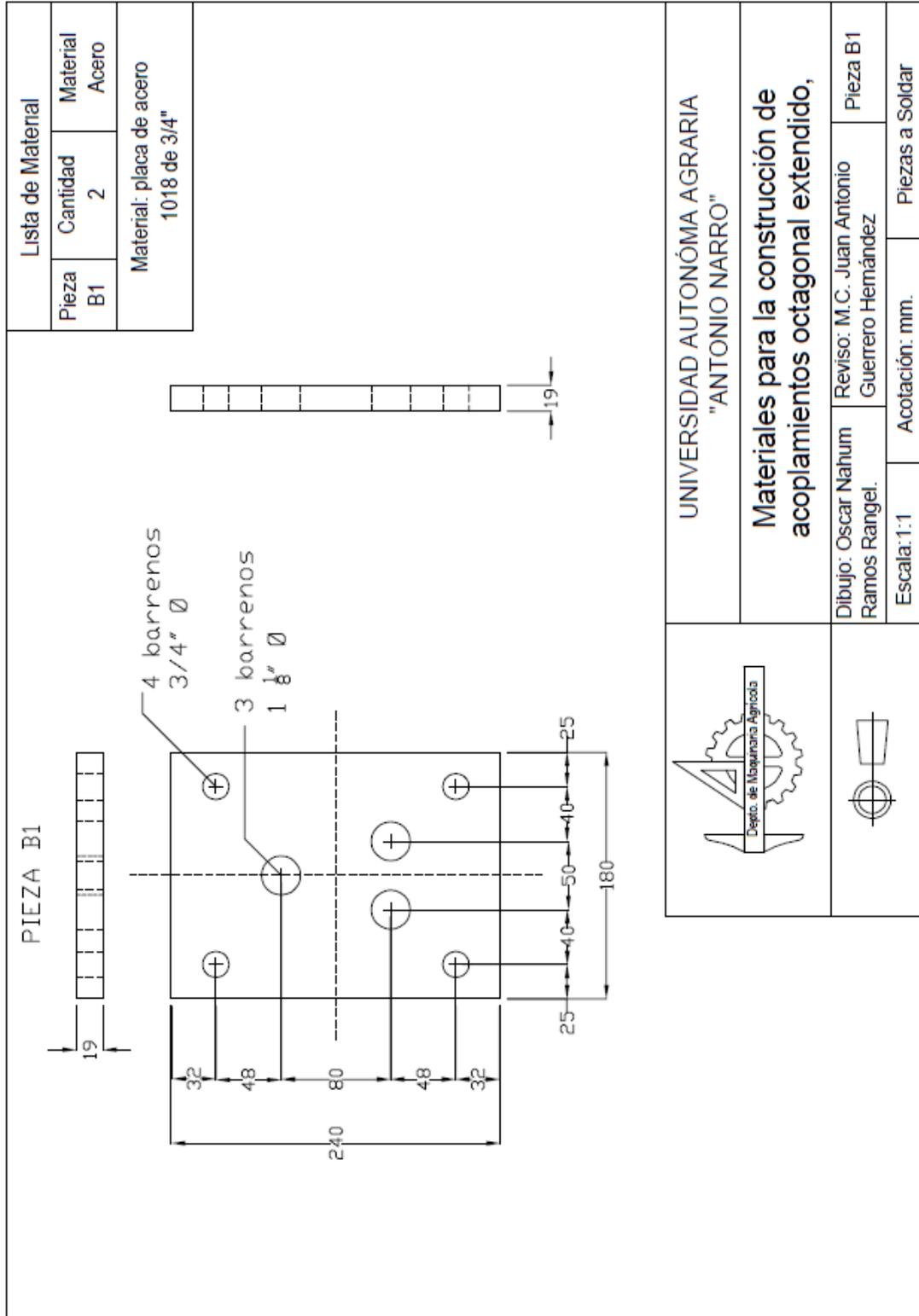
ANEXO A



PIEZA A2 	Lista de Material		
	Pieza A2	Cantidad 2	Material Acero
	Material: placa de acero 1018 de 3/4"		
	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"		
	Materiales para la construcción de acoplamientos octagonal extendido,		
Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel.	Reviso: M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández	Pieza A2	
Escala: 1:1	Acotación: mm.	Piezas a Soldar	

<p style="text-align: center;">PIEZA A3</p> 		Lista de Material		
		Pieza A3	Cantidad 4	Material Acero
		Material: placa de acero 1018 de 3/4"		
		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"		
		Materiales para la construcción de acoplamientos octagonal extendido,		
		Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel.	Reviso: M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández	Pieza A3
Escala: 1:1		Acotación: mm.		Piezas a Soldar



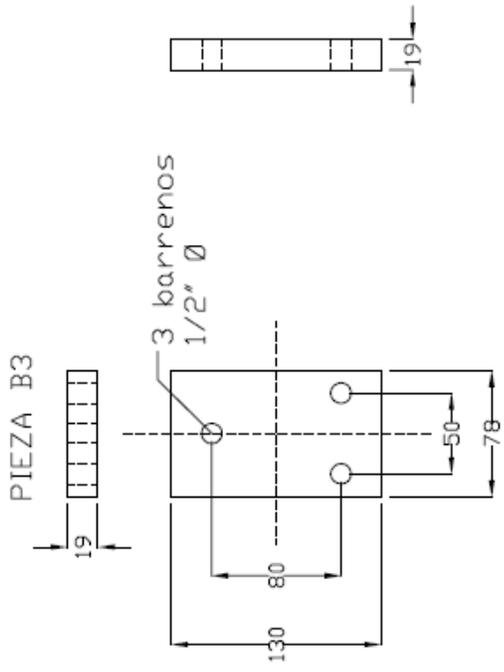


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

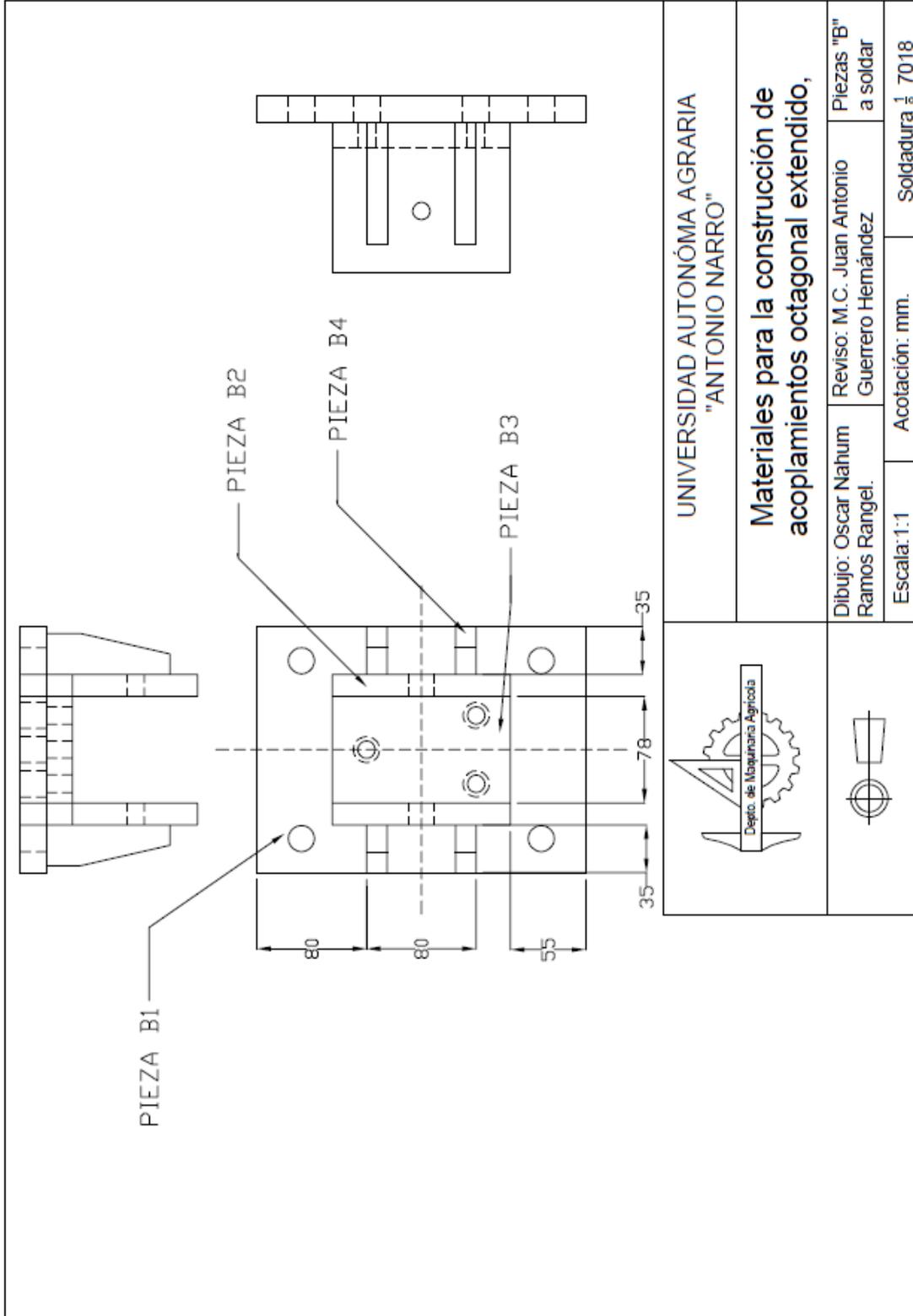
**Materiales para la construcción de
acoplamientos octagonal extendido,**

Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel.	Reviso: M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández	Pieza B1
Escala: 1:1		Acotación: mm.
		Piezas a Soldar

Lista de Material	
Pieza B2	Cantidad 4
Material Acero	
Material: placa de acero 1018 de 3/4"	
<p>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"</p> <p>Materials para la construcción de acoplamiento octagonal extendido,</p>	
Dibujo: Oscar Nathum Ramos Rangel.	Reviso: M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández
Piezas a Soldar	
Escala: 1:1 Acotación: mm.	

	Lista de Material		
	Pieza B3	Cantidad 2	Material Acero
Material: placa de acero 1018 de 3/4"			
	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"		
	Materiales para la construcción de acoplamientos octagonal extendido,		
	Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel.	Reviso: M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández	Pieza B3
	Escala: 1:1	Acotación: mm.	Piezas a Soldar

<p>PIEZA B4</p>		<p>Lista de Material</p> <table border="1"> <tr> <td>Pieza B4</td> <td>Cantidad 8</td> <td>Material Acero</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Material: placa de acero 1018 de 3/4"</td> </tr> </table>		Pieza B4	Cantidad 8	Material Acero	Material: placa de acero 1018 de 3/4"		
Pieza B4	Cantidad 8	Material Acero							
Material: placa de acero 1018 de 3/4"									
		<p>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"</p> <p>Materiales para la construcción de acoplamientos octagonal extendido,</p>							
		<p>Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel. Revisó: M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández. Escala: 1:1. Acotación: mm. Piezas a Soldar</p>							

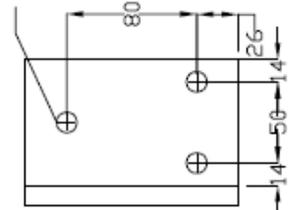
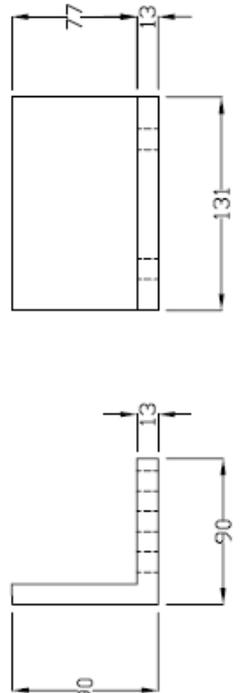


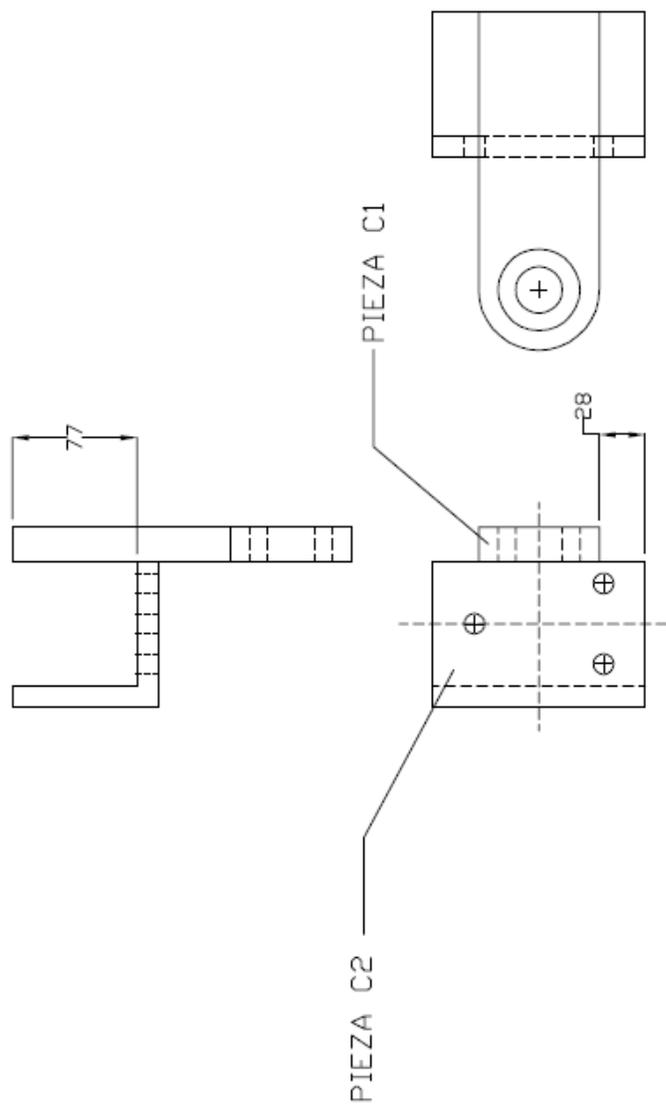
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

**Materiales para la construcción de
acoplamientos octagonal extendido,**

<p>Depto. de Maquinaria Agrícola</p>	<p>Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel.</p>	<p>Reviso: M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández</p>	<p>Piezas "B" a soldar</p>
	<p>Escala: 1:1</p>	<p>Acotación: mm.</p>	<p>Soldadura 1 7018</p>

<p style="text-align: center;">PIEZA C1</p>		Lista de Material	
		Pieza C1	Cantidad 2
Material: Acero 1018 con brida de 1 1/8"			
		<p>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"</p>	
		<p>Materiales para la construcción de acoplamientos octagonal extendido,</p>	
Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel.	Reviso: Dr. Santos Gabriel Campos Magaña	Pieza C1	
Escala: 1:1	Acotación: mm.	Piezas a Soldar	

PIEZA C2  3 Barrenos de $\frac{1}{2}$ "	Lista de Material	
	Pieza C2	Cantidad 2
	Material Acero	
Material: Angulo de acero 1018 de 3" x 1/2		
		
 Depto. de Maquinaria Agrícola	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"	
Materiales para la construcción de acoplamientos octagonal extendido,		
	Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel.	Reviso: Dr. Santos Gabriel Campos Magaña
Escala: 1:1	Acotación: mm.	
		Piezas a Soldar



 Depto. de Maquinaria Agrícola		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"	
		Materiales para la construcción de acoplamientos octagonal extendido,	
Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel.	Reviso: Dr. Santos Gabriel Campos Magaña	Piezas "C" a soldar	
Escala: 1:1	Acotación: mm.	Soldadura $\frac{1}{8}$ 7018	

ANEXO B

Características del material a usar:

$$E = 205 \text{ GPa.} \quad \sigma_y = 440 \text{ Mpa} \quad F_s = 3 \quad FG = 2.11 \quad M = 32 \text{ KN} \quad b = 0.077\text{m}$$
$$T = 0.0498\text{m}$$

$$\sigma_o = 440 \times 10^6 / 3 = 146.6 \text{ Mpa}$$

Primeramente es necesario determinar el valor del momento sensitivo (s) derivado de las ecuaciones de deformación:

$$\varepsilon = \frac{M}{ES}$$

$$S = \frac{\varepsilon E b t^2}{M} \quad \text{sustituyendo valores tenemos:}$$

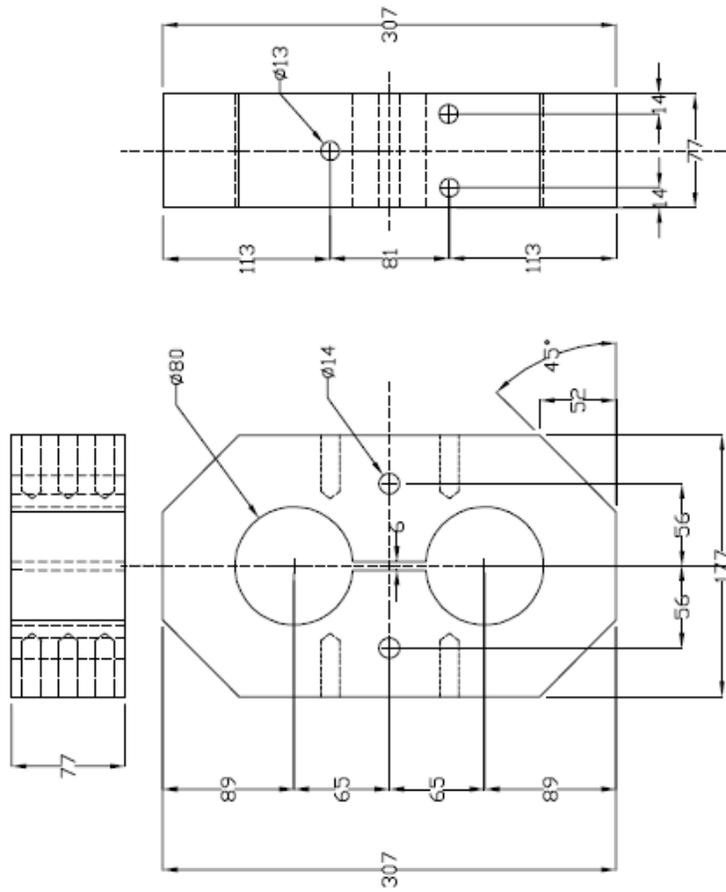
$$S = \frac{(146.6 \times 10^6)(0.077)(.0498^2)}{32000}$$

El momento sensitivo es: 0.8748

Entonces se tiene:

$$\varepsilon = \frac{S}{(E)(b)(t^2)} \quad \text{Sustituyendo valores tenemos:} \quad \varepsilon = \frac{.8748}{(205 \times 10^9)(0.077)(0.0498^2)}$$

$$\varepsilon = 2.234629371 \times 10^{-8}$$



		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"	
		Sensor Octagonal Extendido	
Dibujo: Oscar Nahum Ramos Rangel.	Reviso: M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández	Sensor	
Escala: 1:1	Acotación: mm.	Acero 1018	

Desarrollo de cálculos de diseño para Dinamómetro axial.

El esfuerzo de cedencia del material es 370 MPa. Con un modulo de elasticidad de 205 GPa. La fuerza máxima para el diseño es de 80000 N, teniendo un área transversal original de 1839.84 mm², entonces se tiene una deformación de:

$$\varepsilon_1 = \frac{80000}{(1839.84 \times 10^{-6})(205 \times 10^9)} = 2.12 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_1 = \frac{80000}{1839.84 \times 10^{-6}} = 43.482 \times 10^6$$

$$FS = \frac{370 \times 10^6}{43.482 \times 10^6} = 8.50997$$

ANEXO C

Construcción (pegado de galgas y cableado de los dinamómetros)

1. Primeramente se mando a cortar y a barrenar las piezas de acero con las dimensiones ya mencionadas para los dinamómetros octagonales en la empresa BISON de Aguascalientes.
2. Una vez entregados los octagonales se procedió a lijar con alcohol las partes donde colocaríamos las galgas extensiométricas, con lijas de grado 240 y para darle un mejor acabado con la lija de grado 360, después de esto se limpia con alcohol y después con acetona para quitarle todas las impurezas que puedan tener, quedando como se muestra en la figura C1.



Figura C1 Octagonal lijado, listo para la colocación de las galgas

3. Se procedió a calcular el centro de los octagonales, y todos los lados donde se colocarían las galgas, se tomo en cuenta los puentes Wheatstone para poder después colocar el cableado y facilitar su

conexión, como se muestran en la figura C2, para las galgas 4 y 5 se tomo en cuenta el ángulo citado en la tabla 2.5, que es donde se encontraba el mayor esfuerzo.

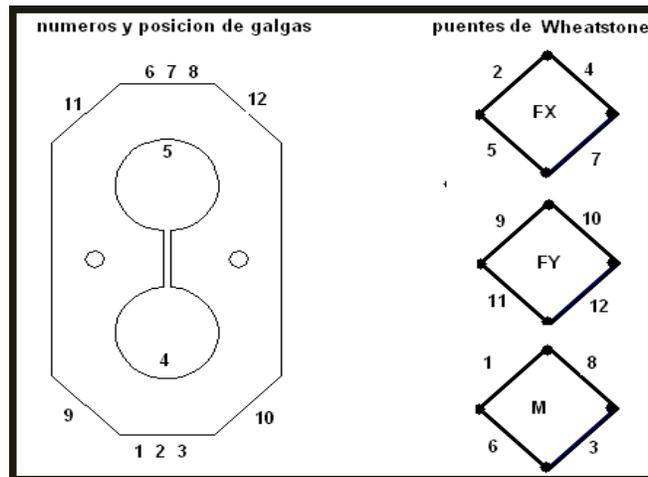


Figura C2 Numeración y posición de galgas según puente de Wheatstone

- Una vez limpio de impurezas el octagonal se procede a la colocación de las galgas extensiométricas colocadas al centro de la parte superior del octagonal, según su numeración, como se muestra en la figura C3



Figura C3. Galgas Extensiométricas colocadas en el sensor octagonal

- Las galgas son pegadas con un pegamento especial que contiene pasta y endurecedor para una mejor adherencia al metal. Después de que son pegadas se le proporciona calor por 12 horas para apresurar su pegado como se muestra en la figura C4



Figura C4 Proporcionando calor a los octagonales

- Se procede a colocar a checar cada galga su resistencia y verificando que no estén aterrizadas a tierra para después colocar el cableado con un color para cada galga del puente de Wheatstone según la tabla 4.1

- Tabla C1 color de cableado del octagonal

Núm. de puente de Wheatstone	Rojo (voltaje)	Negro (tierra)	Amarillo (señal 1)	Verde (señal 2)
Uno	5	4	7	2
Dos	12	10	11	9
Tres	6	8	3	1

De esta manera nos queda el cableado del octagonal como se muestra en la figura C5



Figura C5 Cableado de sensor octagonal

1. Una vez cableado se procede a proteger cada galga con un pedazo de hule y pegado con silicón para después ser aislado con cinta para proteger aun mas las galgas y colocarlos en la estructura flotante como se muestra en la figura C6.



Figura C6 Estructura flotante con octagonales

1. Se procedió a construir el dinamómetro axial con capacidad de 70 KN, con las dimensiones y maquinado que ya teníamos, de igual manera se siguieron todos los pasos de la colocación de galgas del octagonal hasta obtener el dinamómetro como se muestra en la figura C7



Figura C7 Lijado y terminado del dinamómetro axial

ANEXO D

Curva de calibración

La obtención de una curva de calibración se hace mediante los datos de las pruebas estáticas y la aplicación de la fórmula de Mínimos cuadrados o también llamada Regresión lineal las cuales se muestran a continuación:

$$y = mx + b$$

Donde:

m = Pendiente de la recta

b = Punto de intersección del eje Y con la recta.

y = Salida de valores

X = entrada de valores.

Y las fórmulas para m y b son las siguientes:

$$m = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum y}{n} - m \frac{\sum x}{n}$$

Una vez obtenidos los valores, resultado de la calibración se aplican estas fórmulas.

O de igual manera para tener datos mas precisos se utiliza un software llamado MINITAB 14 que en este caso fue el que utilizamos.

Calibración de transductores.

La calibración de todo el equipo se realizó en la rampa del departamento de Maquinaria Agrícola conectando el transductor a los tres puntos del tractor y se le colocó un arado de cinceles para simular su calibración (como se ilustra en la figura D1), conectándose este por medio de un cable de acero a una polea fija sobre una barra por encima de la rampa para poder simular la F_x , y para la fuerza vertical simplemente se conectó un cable de acero a un punto determinado del arado (como se ilustra en la figura D2), por el último se calibró el dinamómetro axial conectándose este a un punto de nuestra estructura para así proceder a su calibración (como se ilustra en la figura D3).



Figura D1



Figura D2



Figura D3

El procedimiento para calibrar estos dinamómetros fue de la siguiente manera: después de conectar todos los instrumentos de medición como se detalla en el capítulo 3.3, se procede a calibrar cada uno de los octagonales, la fuerza vertical y la horizontal, y dejar el axial al ultimo porque hay que desconectarlo del tercer punto.

Para comenzar se abre un archivo para almacenar los datos, se determinan el numero de datos que se desea registrar en carga y descarga, ya que tenemos todo listo se corre el programa y se espera 30 segundos de reposo sin peso para así poder tener un valor de referencia; una vez pasado este tiempo se coloca el primer peso, se deja pasar un minuto y se coloca el segundo peso ver figura D4, y así sucesivamente hasta colocar los pesos deseados y después se procede con la descarga de estos de igual manera, y de esta forma se puede observar bien los datos como se ilustra en la figura D5; se realizan tres repeticiones de cada uno.



Figura D4 Colocación de pesos

Una vez que se obtuvieron estos datos, en la memoria de la computadora, se pasa al análisis de estos para determinar la curva de calibración, y el análisis es el siguiente:

- a) Se abren los archivos de las tres repeticiones del dinamómetro a evaluar en el programa EXCEL y se grafican, como se muestra en la figura D5.

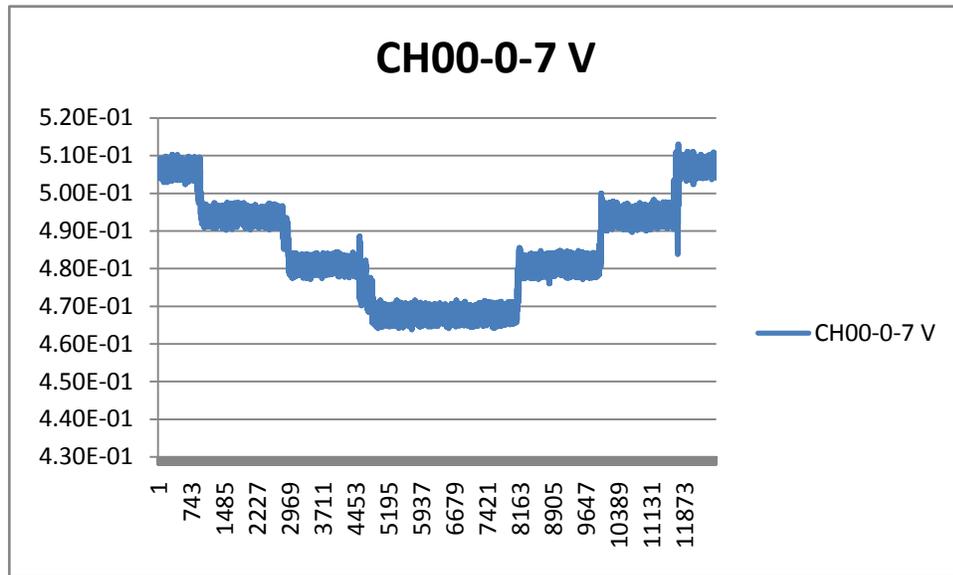


Figura D5 Datos obtenidos en el DAQ200

- b) Se toma un rango específico para cada grafica según el peso colocado para así promediar los valores obtenidos, ver tabla D1.

Tabla D1. Rangos según la colocación de los pesos.

Núm. De peso	peso kg	peso N	RANGO	PROMEDIO
0	0	0	1-800	5.06E-01
1	45.5	446.355	1300-2600	4.94E-01
2	45.5	446.355	3100-4400	4.81E-01
3	45.5	446.355	5000-7500	4.68E-01
2	45.5	446.355	8500-9800	4.81E-01
1	45.5	446.355	10300-11600	4.94E-01
0	0	0	11800-12600	5.07E-01

- c) A cada promedio se le quita el valor obtenido cuando no tiene ni una sola carga, para así obtener un valor real contra dicho peso colocado en carga y descarga, ver tabla D2.

Tabla D2. Promedios sin valor cero

Núm. De peso	peso kg	peso N	Rango	Promedio	Sin el peso 0
0	0	0	1-800	5.06E-01	
1	45.5	446.355	1300-2600	4.94E-01	-1.25E-02
2	45.5	446.355	3100-4400	4.81E-01	-1.30E-02
3	45.5	446.355	5000-7500	4.68E-01	-1.31E-02
3	45.5	446.355	5000-7500	4.68E-01	-1.32E-02
2	45.5	446.355	8500-9800	4.81E-01	-1.30E-02
1	45.5	446.355	10300-11600	4.94E-01	-1.32E-02
0	0	0	11800-12600	5.07E-01	

- d) Se promedian las tres repeticiones de cada prueba y se separan los valores de carga y descarga, ver tabla D3

Tabla D3. Promedios de las tres repeticiones, de cada prueba

CARGA						
Núm. De peso	peso kg	peso N	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	PROMEDIO
0	0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1	45.5	446.355	-1.25E-02	-1.28E-02	-1.31E-02	-1.28E-02
2	91	892.71	-1.30E-02	-1.31E-02	-1.22E-02	-1.28E-02
3	136.5	1339.065	-1.31E-02	-1.18E-02	-1.34E-02	-1.28E-02
DESCARGA						
Núm. De peso	peso kg	peso N	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	PROMEDIO
3	136.5	1339.065	-1.32E-02	-1.17E-02	-1.28E-02	-1.26E-02
2	91	892.71	-1.30E-02	-1.32E-02	-1.34E-02	-1.32E-02
1	45.5	446.355	-1.32E-02	-1.32E-02	-1.10E-02	-1.25E-02
0	0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

- e) Se suman los promedios de de carga y descarga de las tres repeticiones según el peso que le hayamos proporcionado, para sacar el voltaje final, de cada prueba.
- f) Se suma cada peso y su valor promedio tanto de carga como de descarga para así obtener una grafica de estos valores y poder ver su histéresis ver tabla D4 y grafica D1.

Tabla D4. Sumatoria de pesos y mv para graficar y ver su histéresis.

PESO N	CARGA	DESCARGA	PROMEDIO
0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
446.355	1.28E-02	1.25E-02	1.26E-02
892.71	2.56E-02	2.57E-02	2.56E-02
1339.065	3.83E-02	3.82E-02	3.83E-02

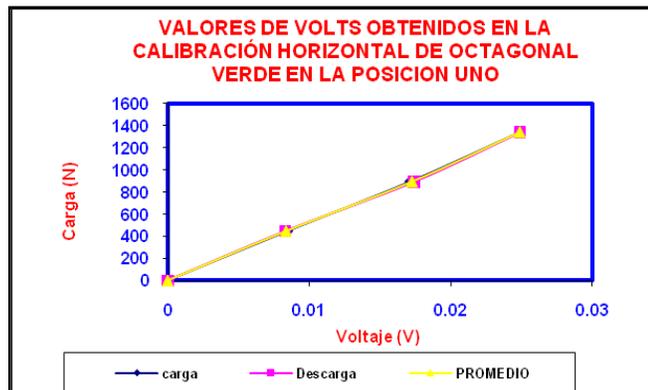


Tabla D1. Histéresis de carga y descarga.

- g) Para ver la curva de calibración se utiliza el programa de MINITAB 14 en donde en este se anotan todos los datos A continuación se muestra que es lo que nos arroja la utilización de este programa.

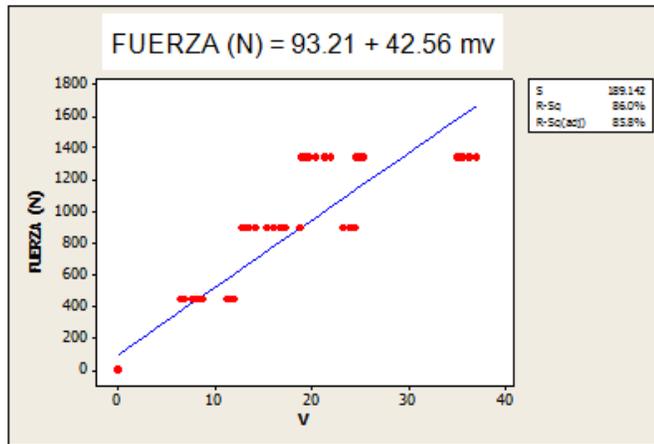


Figura D6. Calibración de la fuerza del sensor octagonal integral.

h) Y así se analizan los datos para cada fuerza de los octagonales.

Para la calibración de la fuerza axial se siguen los mismos pasos.