

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”



División de Ingeniería.

Departamento de Maquinaria Agrícola

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

Por: Alexander Bonifaz del Carpio

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA



Buenavista Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2012

Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"

División de Ingeniería

Departamento de Maquinaria Agrícola

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

Por:

Alexander Bonifaz del Carpio

Tesis

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

Ingeniero Mecánico Agrícola

Aprobado por el comité de tesis

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Asesor principal

Dr. Martin Cadena Zapata.

Ing. Juan Arredondo Valdez.

Sinodal

Sinodal

M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2012

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le doy gracias a nuestro **creador**, por permitir estar en este mundo, por ayudarme en ocasiones muy difíciles; pero cuando más te necesite estuviste a mi lado.

A la **UAAAN** por abrirme las puertas, de la casa de estudios más fantástica que tenga en mente, por darme lo necesario para superarme día a día y la oportunidad de prepararme académicamente e integrarme.

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

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

Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández**, quien siempre me apoyo durante mi estancia en la carrera, por ser una persona que es un ejemplo a seguir, una persona culta, que sabe dar un buen consejo y que ofrece una amistad sincera.

Al **M.C. Marco Antonio Reynolds Chávez** quien siempre compartió muy buenos momentos y experiencias durante las evaluaciones en campo, quien siempre tenía una buena explicación para cada fenómeno que se presentaba en un cierto momento.

A la plantilla docente del departamento de maquinaria agrícola, **Dr. Martin Cadena Zapata, Dr. Rodolfo Valenzuela García, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, Ing. Juan Arredondo Valdez, M.C. Tomas Gaytan Muñiz, M.C. Blanca E. de la Peña Casas, Ing. Jorge Flores Berrueto, Ing. Rosendo Gonzales Garza**, por darme los conocimientos que he adquirido durante el tiempo que estuve en la casa de estudios y por reforzar los valores que ya tenía.

Al Ing. **Jorge Luis Pacheco López**, por ayudarme en la elaboración de las pruebas tanto en laboratorio como en campo, por ser una persona perseverante en situaciones adversas.

A la generación CXII, **Luis, Ariel, Edgar, Javier, Oscar Álvarez, Bernardo, Víctor Avendaño, Víctor Torres, Víctor Alfonso, Joniber, Juan Antonio, Jesús, Oscar García, Andy Gadiel** a todos por brindarme un poco de su espacio para conocernos e interactuar unos con otros.

En mención especial a mis amigos de la carrera de ingeniero mecánico agrícola, al Ing. **Ariel Méndez Cifuentes**, Ing. **Luis Santiago Hernández** y sin faltar al Ing. **Javier de la Cruz Vicencio** por ser las primeras personas en brindarme su amistad, dentro de la casa de estudios.

Al Ing. **Hugo Abel Díaz Hernández** por darme a conocer la casa de estudios donde el día de hoy termino mi formación profesional.

A mis amigos de infancia Ing. **José Raymundo Gutiérrez Zenteno**, M.F. **Miguel Santiz Pérez**, Lic. **Javier de Jesús Pérez Ruiz** y al Lic. **Julio Cesar Zenteno Estrada**, por brindarme su amistad en momentos de tristeza y alegría, como demostrar que más que un amigo son mis hermanos que nunca tuve.

DEDICATORIA

A mis padres **Sr. Fernando Avelino Bonifaz Barrios** y a la **Sra. Martha del Carpio del Carpio** quien me han apoyado incondicionalmente, que me han llevado de la mano al camino del bien, que como padres han hecho un excelente trabajo, Que Dios les de muchos años mas a mi lado, cada día que pasa les agradezco por darme la vida y formarme en un ambiente familiar tranquilo y sin problemas; Muchas gracias.

A mis abuelos **Sra. Lidia Barrios Rodas (finada), Sr. Bartolo del Carpio Pérez (finado), Sr. Salomo Bonifaz Cáceres (finado) y a la Sra. Guadalupe del Carpio Martínez**, gracias abuelos a un que ya no están a mi lado físicamente, pero sé muy bien que espiritualmente siempre han estado a mi lado, guiando por un buen camino; A mi mama Lupita que todavía dios ha permitido que esté a mi lado, gracias por ser una abuelita consentidora y que has apoyado mucho a mi familia, te quiero y que Dios te permita estar muchos años mas a mi lado.

A mi esposa **Clarissa Castillo Ordoñez** quien me ha apoyado en momentos de tristeza y depresión, gracias le doy a Dios por darme la oportunidad de conocer a una persona tan maravillosa como tú, por darme la dicha de ser padre y conocer esta etapa bonita de mi vida.

A mi hijo **Cristian Alexander Bonifaz Castillo** por ser la fuente de inspiración de todos los días, quien es mi vitamina, mi vida y que desde su llegada ha hecho que este corazón se sienta muy feliz, eres la razón de mi existencia te amo y espero que nunca lo olvides.

A mi hermana **María Guadalupe Bonifaz del Carpio y familia**, quien siempre la he querido y que la aprecio, ya que eres mi única hermana, te quiero mucho y gracias por apoyarme en momentos tan difíciles que se han presentado en la vida, eres la hermana más buena y cariñosa que pueda existir en esta vida.

A mis tías **Carmen del Carpio del Carpio, Sergia del Carpio del Carpio y Aurora Carpio Carpio**, por darme buenos consejos, por apoyarme ya sea económicamente o emocionalmente, les doy gracias por ser personas que se preocupan por sus semejantes y que no piden nada a cambio, las quiero mucho y espero que tengan mucho éxito en su vida, les agradezco de todo corazón, sus enseñanzas, regaños, llamadas de atención, que siempre se tomaron la molestia de hablarme con franqueza y que han querido lo mejor para mí, las quiero y que Dios las bendiga.

A mi tía **Bertha del Carpio del Carpio**, quien me ha apoyado incondicionalmente en todo lo que ha estado a su alcance, por preocupado por mí desde muy pequeño, quien siempre ha buscado la forma de cómo ayudarme a mí y a mi familia, le agradezco de todo corazón las cosas que ha hecho por mí.

A mi tía **Celina del Carpio del Carpio y familia**, por ayudarme cuando más lo necesite, por ser una persona que siempre me mantuvo abierta las puertas de su casa, que siempre vio en mí, una persona con futuro y que nunca me desalentó para que yo siguiera estudiando, muchas gracias.

A mi tía **Elia del Carpio del Carpio y familia**, por ser una hermana excepcional con mi madre, por siempre apoyarla cuando más lo ha necesitado, que si mi madre está bien yo estoy bien, le doy gracias por ser un de las pocas personas que siempre nos han apoyado incondicionalmente y que espera que sea un ejemplo a seguir de sus hijos, muchas gracias.

A mi tío **Antoni del Carpio del Carpio y familia**, por ser una persona que siempre me demostró su apoyo, y que siempre me ha tratado muy bien.

A mi tío **Jorge del Carpio Carpio y familia**, por ser un ejemplo a seguir en todo lo que ha logrado en esta vida y que me ha demostrado que el querer es poder, ya que tiene las mismas raíces, le agradezco de todo corazón y que Dios lo bendiga usted y a su familia.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURA.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS	x
RESUMEN	xi
1.1. Antecedentes	3
Objetivo General:	8
Objetivos específicos:	8
Hipótesis:	8
II. REVISION DE LITERATURA	9
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	12
2.2. Análisis de esfuerzos	13
2.3. Análisis teórico del diseño del anillo	17
2.4 Transductores	22
2.4.1 Factores involucrados en la selección para el diseño de un transductor	24
2.4.2. Galgas extensiométricas	25
2.4.3. Puente de Wheatstone	29
2.5. Sistema de adquisición de datos	30
2.6 Construcción y pruebas de un transductor integral.....	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. Criterios para las características del transductor	33
3.2. Selección y dimensiones del material para los sensores.....	34
3.3. Fabricación de los sensores.....	35
3.4. Acondicionamiento de sensores.....	35

3.5. Estructura flotante	36
3.6. Calibración del equipo y transductor.....	36
3.6.1. Preparación del equipo de adquisición de datos.....	37
3.6.2. Preparación del terreno para muestreo en campo.....	39
3.6.3. Preparación del software para capturar datos	40
3.6.4. Calibración directa del equipo	40
3.6.5. Registro de Información	41
3.7. Análisis de información.....	42
IV. RESULTADOS	44
4.1. Diseño, construcción y calibración del transductor integral.....	44
4.2. Calibración de los sensores	46
4.2.1. Calibración del sensor octagonal negro.....	46
4.3.1. Calibración del sensor octagonal de energía.....	48
4.4.1. Calibración del sensor octagonal amarillo	50
4.5.1. Calibración del sensor octagonal rojo.....	51
4.6.1. Calibración del dinamómetro de tiro (axial).....	53
4.7. Pruebas con arreglos de puentes completos con el transductor integral	55
4.7.1. Pruebas concentradas a distancia de 0.59 m con los 4 octagonales (verde, amarillo, rojo y energía).....	55
4.7.3. Pruebas concentradas a distancia de 0.59 m con los 3 octagonales amarillo, rojo, energía y un dinamómetro axial	59
4.7.4. Pruebas concentradas a la distancia de 0.79 m con los 3 octagonales amarillo, rojo, energía y un dinamómetro axial	60
4.8. Proporcionalidad que existe en el marco de calibración del sensor integral, entre el octagonal de energía y el promedio del octagonal verde con el octagonal amarillo. A una distancia de 0.59 metros	61
4.9. Proporcionalidad que existe en el marco de calibración del sensor integral, entre el octagonal de energía y el axial a diferentes distancias	62
4.10. Proporcionalidad obtenida en laboratorio con el dinamómetro de energía y axial	63
4.11. Evaluación de transductor integral en campo	66
4.12. Determinación del perfil para el arreglo 2 frontales a 0.20 m y un trasero a 0.30 m. En el anexo (E) se encuentra todos los perfiles hechos para el arreglo antes mencionado	68
4.13 Proporcionalidad obtenida en campo	69

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
VI. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	72
VII. ANEXOS.....	76
Anexo A	76
Anexo B	77
Anexo C	81
Anexo D	98
Anexo E	100
Anexo F.....	101

ÍNDICE DE FIGURA

Figura1.1. Fuerza de arrastre de un implemento acoplado al tractor	2
Figura1.2. Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor, (Hinojosa 2003).....	5
Figura 2.1. El valor de la fuerza vertical V se incrementa con la velocidad (Randolph)	13
Figura 2.2. El estado de deformación en tensión o compresión.	14
Figura 2.3. Estado de deformación - flexión.....	15
Figura 2.4. Estado de deformación en torsión.....	17
Figura 2.5. Fuerzas actuando en un elemento del anillo	18
Figura 2.6. Diagrama de adquisición y procesamiento de datos.	24
Figura 2.7. Muestra una galga extensiométrica.	26
Figura 2.8. a) Muestra laminillas apiladas a 90 grados; b) laminilla plana a 90 grados.	27
Figura 2.9. Puente de Wheatstone (Godwin, 1993).	29
Figura 3.1. Medición de parámetros para pruebas de implementos bajo condiciones de campo.....	32
Figura 3.2. Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor.....	33
Figura 3.3. Sensor octagonal.	34
Figura 3.4. Modelo de la galga extensiométricas.	35
Figura 3.5. Localización de las galgas y puentes de Wheatstone.	35
Figura 3.6. Estructura flotante.....	36
Figura 3.6.1. Marco de calibración del transductor integral. Ozuna (2011).	38
Figura 3.6.3. Captura de datos de una sesión de DaqView.	40
Figura 4.1.1. Dimensiones octagonal. Acero 1018, con un esfuerzo a la tensión de 343 MPa.....	44
Figura 4.1.2. Galgas montadas y cableado en el sensor octagonal extendido con capacidad de 40 kN.	45
Figura 4.2.1. Marco de calibración de los sensores individuales con capacidad de 10 kN.....	46
Figura 4.2.2. Calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN.....	46
Figura 4.3.1. Calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro.....	48
Figura 4.3.2. Línea ajustada de la calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro.	49
Figura 4.3.3. Plataforma de calibración en una forma en serie de los sensores individuales.....	49
Figura 4.4.1. Calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus axial de forma de serie.....	50
Figura 4.4.2. Línea ajustada de la calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus octagonal negro.	51

Figura 4.5.1. Calibración del octagonal rojo con capacidad de 40 kN versus axial, realizadas en la plataforma de calibración.	52
Figura 4.5.2. Línea ajustada de la calibración del octagonal rojo con capacidad de 40 kN versus octagonal de energía.	53
Figura 4.6.1. Calibración del dinamómetro axial con capacidad de 60 kN, realizadas en la plataforma de calibración.	53
Figura 4.6.2. Línea ajustada de la calibración del dinamómetro axial con capacidad de 60 kN.	54
Figura 4.7.1. Prueba con el sensor integral montado en el banco de pruebas.	55
Figura 4.7.2. Datos de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.79 metros.	58
Figura 4.7.3. Sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.59 metros.	59
Figura 4.7.4. Sensores integrales cuando está en puente completos y la fuerza concentrado a la distancia de 0.79 metros.	60
Figura 4.7.1.1. Sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.59 metros.	56
Figura 4.7.2.1. Sensores integrales puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.79 metros.	57
Figura 4.8.1. Gráfica de momento resultante vs octagonal de energía a una distancia de 0.59 m.	61
Figura 4.8.2. Gráfica del momento resultante vs octagonal de energía a una distancia de 0.79 m.	62
Figura 4.9.1. Gráfica de curva de ajuste del dinamómetro axial vs octagonal de energía a una distancia de 0.59 m.	62
Figura 4.9.2. Gráfica de axial vs octagonal de energía a una distancia de 0.79 m.	63
Figura 4.11.1. Evaluación en campo con el arreglo de tres cinceles, 2 frontales 20 cm y 1 trasero 30 cm de profundidad.	66
Figura 4.11.2. Sendor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observan como los dinamómetros censan en un estado dinámico.	66
Figura 4.12.1. Perfil obtenido en campo con el arreglo 2 frontales 0.20 m, 1 trasero 0.30 metros.	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Determinación de fuerza de tiro de diferentes implementos de labranza..	11
Cuadro 2.2. Medias de las fuerzas y momento en un subsoleador.	11
Cuadro 2.3. Rango de fuerzas en implementos.	12
Cuadro 2.4. Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento.	12
Cuadro 2.5. Localización de los nudos de concentración de esfuerzos derivados por diferentes investigadores.	22
Cuadro 2.6. Concentrado de constantes de cuadros de calibración con cargas desfasadas y concentradas.	31
Cuadro 4.1.1. Voltajes de excitación, ganancias y constantes de calibración de los sensores para Fx.	45
Cuadro 4.2.1. Datos de calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN con cuatro diferentes pesos.....	47
Cuadro 4.3.1. Datos de calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro.....	48
Cuadro 4.4.1. Datos de calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus dinamómetro axial.	50
Cuadro 4.5.1. Datos de calibración del octagonal rojo con capacidad de 40 kN versus axial.	52
Cuadro 4.6.1. Datos de calibración del axial con capacidad de 60 kN.	54
Cuadro 4.7.1.1. Proporcionalidad que existe entre el promedio del octagonal verde mas octagonal amarillo respecto al octagonal de energía del sensor Integral cuando está en puentes completos y la fuerza concentrado a la distancia de 0.59 metros.	56
Cuadro 4.10.1. Se muestra los datos obtenidos del marco de calibración del transductor integral y la fuerza concentrada a la distancia de 0.59 m, la media de la proporción, como su coeficiente de variación.	63
Cuadro 4.10.2. Se muestra los datos obtenidos del marco de calibración del transductor integral a una distancia de 0.79 m la proporción que existe entre el Octagonal de energía y el dinamómetro axial, como la media, desviación estándar y el coeficiente de variación de la proporción.	65
Cuadro 4.11.1. Se muestra el espectro (V), la media (V), y la suma de la media con el espectro (V) y la multiplicación de cada uno de los dinamómetros con su respectiva constante (kN) de los dinamómetros en estado dinámico.	67
Cuadro 4.12.1. Perfil obtenido de la primera repetición para el arreglo, 2 frontales a 0.20 m y 1 trasero a 0.30 m.	68
Cuadro 4.12.2. Se muestra las áreas de las repeticiones hechas con el perfil metro, como también la media de todas las áreas.	69
Cuadro 4.13.1. Proporcionalidad que existe entre el promedio del octagonal verde mas el octagonal amarillo versus axial.	70

RESUMEN

Se rediseñó, construyó y evaluó un sensor integral con capacidad de 80 kN para las fuerzas horizontal y vertical así como 70 kN de transferencia de peso. Los elementos que lo integran son tres anillos octagonales extendidos y un marco de enganche de tres puntos, categoría II. 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 (mV), muestran una alta linealidad con un coeficiente de correlación R-sq del 99% para ambas cargas, tanto en el plano vertical (F_y) como el plano horizontal (F_x). En la evaluación del sensor integral en laboratorio con cuatro octagonales a un desfase de 0.59 y 0.79 m, se obtuvo una proporción entre el octagonal de energía y el promedio del octagonal amarillo más octagonal verde correspondiente al 1.097 - 1.306 con una desviación estándar de 0.012 - 0.022 y un coeficiente de variación de 1.050 - 1.703 por ciento. En el mismo marco se combinó un octagonal con un axial con un desfase de 0.59 y 0.79 m, obteniendo una proporción de 1.014 - 1.032, una desviación estándar de 0.031 - 0.038 y un coeficiente de variación de 3.054 - 3.670 por ciento. Las proporciones en el arreglo axial – energía, igual a la unidad, indica que el sensor axial detecta la misma magnitud de fuerza que se aplica al sensor de energía. La proporción entre el sensor de energía y octagonal amarillo, que fluctúa entre 1.097 - 1.306, indicando que este arreglo detecta un efecto de momento que debe ser considerado en reporte de la fuerza de tiro bajo condiciones de campo. Respecto a esto se hizo una correlación entre la simulación en laboratorio y lo obtenido en campo con un equipo para labranza vertical obteniendo valores superiores al 95%.

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, de la demanda de fuerza de tiro de implementos agrícolas de labranza vertical y, además, se desconoce también cual es la más apropiada para los diferentes sistemas y tipos de suelo y como se puede incrementar la producción agrícola y la reducción de costos y de energía, optimizando sistemas de labranza de conservación y/o convencionales (Campos, 2000).

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

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

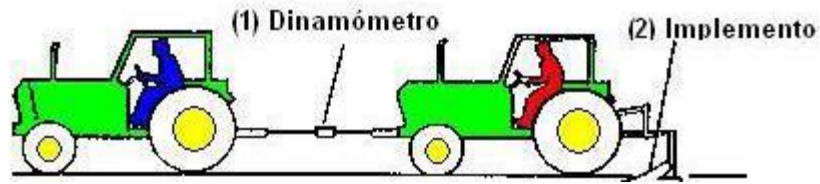


Figura1.1. Fuerza de arrastre de un implemento acoplado al tractor.

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

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

1.1. Antecedentes

Godwin y Spoor citado por Campos (2000) indican que uno de los aspectos más importantes en la evaluación de nuevos diseños de herramientas de labranza es el proceso de medición de las magnitudes de las fuerzas que actúan en dichos implementos, la característica de la falla, así como el volumen de disturbación y sección transversal del suelo como producto de la geometría de la herramienta, controlando variables del suelo como son humedad y densidad.

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

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

Thomson y Shinnars (1989) desarrollaron un sistema para medir fuerzas de reacción de suelo en dos direcciones, colocado en una estructura rígida simulando un sistema de enganche rápido a los tres puntos del tractor. El sistema emplea celdas de carga como unidades de medición de las fuerzas de reacción. El arreglo de las celdas de carga indicaron errores de sensibilidad cruzada del orden de +5 por ciento para fuerzas que fluctúan entre 1.5 N y 35 kN. El transductor octagonal de anillo extendido

para uso en estudios de labranza (Cook and Ravnovich 1954) se diseñó primeramente para monitorear las dos componentes de fuerzas y el momento en el plano de estas fuerzas de reacción del suelo. El sistema de fuerzas en estudios de labranza donde la falla del suelo es simétrica consiste en dos fuerzas mutuamente perpendiculares, y el momento en el plano de estas dos fuerzas.

Backer y Col. (1981) utilizó seis celdas de carga montados en diferentes puntos dentro de un marco, una forma de medir las fuerzas horizontales, verticales y laterales. Otro caso lo presenta Thomas Fontain en 1991, evaluó un sistema de transductor de platos flotantes de seis componentes. Estas componentes permiten la medición de la fuerza de reacción en las tres direcciones. Los sensores empleadas en la medición de las fuerzas de reacción fueron celdas de carga. Encontrando en sus resultados sensibilidades cruzadas del orden +5 por ciento. El método de análisis de las vigas en cantiliver empleadas como transductores es explicado ampliamente por Sakurai (1996). En él señala como las fuerzas son determinadas a través de un análisis de suma de momentos en un punto en la viga, mediante el cual son determinadas cada una de las fuerzas y la dirección de la fuerza resultante (F_x , F_y , R y ϕ).

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

Hinojosa, (2003) propone el diseño de un transductor integral para tractores categoría II que permita medir en un solo instrumento cuatro variables: fuerza de tiro, fuerza de penetración, momento y transferencia de peso. Esto mediante la integración de dos transductores octagonales extendidos (con capacidad de 40 kN cada uno), un transductor axial con capacidad de 80 kN. Dicha propuesta se muestra en la Figura 1.2.

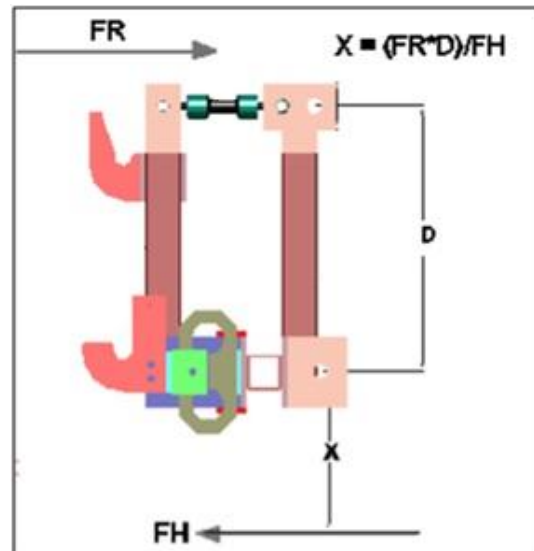


Figura 1.2. Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor, (Hinojosa 2003).

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

Al - Jalil *et al.* (2001), diseñaron y fabricaron un enganche de tres puntos capaz de medir tres fuerzas que actúan en el tractor – implemento en tres dimensiones, que ayudaría a diseñar herramientas de labranza y evaluar el funcionamiento del tractor. Tomando en cuenta la importancia que tienen las pruebas y evaluaciones de la maquinaria agrícola, para su correcta selección, de tal forma que se garanticen los mejores índices técnico – económicos durante su explotación bajo condiciones específicas de cada país, y considerando el interés para México, el objetivo fundamental de evaluación técnica de equipos es proveerle al agricultor de escasos recursos económicos equipo confiable que rinda un beneficio neto positivo y atractivo (AFRC, 1990).

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

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

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

El propósito principal de obtener datos del comportamiento de un equipo es compararlo con el requerimiento para el cual fue diseñado (Crossley y Kilgour 1983). En práctica, la gran mayoría de procedimientos para equipos agrícolas incluyen una parte realizada bajo condiciones ideales y controlables (pruebas), y una parte realizada en condiciones reales de la agricultura (evaluaciones).

El proceso de desarrollo y evaluación de herramientas de labranza bajo condiciones de campo requiere de tiempos superiores a los 3 años, debido a que el proceso de incremento en densidad aparente del suelo es lento, además de que es imposible aislar los efectos de humedad y textura sobre el comportamiento de las herramientas de labranza (Campos, 2000).

Esta propuesta tiene como propósito el rediseñar un transductor basado en la propuesta de Hinojosa (2003), que pueda ser utilizado para la evaluación de implementos integrales de labranza tales como: multiarado, arado, rastra, vibrocultivador, sembradora, cultivadora y cualquier otro implemento integral a tractores de categoría II (40 – 100 hp), por lo que podrá emplearse en la determinación de la fuerza de tiro dentro del procedimiento de desarrollo de las normas como lo son de arados, rastras y 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.

Para evaluar una operación de labranza en términos de utilización de la energía, la entrada real de energía de labranza por unidad de volumen se calcula a partir la longitud de la evaluación, el ancho de corte y la profundidad de aradura. La entrada de energía equivalente, determinada mediante la medición de fuerza de tracción, se divide por la entrada real de energía de labranza para obtener una relación adimensional que podría denominarse el factor de utilización de la energía (Kepner et al., 1979).

1.2. Objetivos e Hipótesis

Objetivo General:

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

Objetivos específicos:

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

Hipótesis:

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

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Tecnología de implementos

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

2.1.1 Factores de diseño para herramientas de labranza

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

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 el fácil acoplamiento.

5. Rapidez con la cual las herramientas entran a la tierra. Kepner *et al.* (1978) menciona que el objetivo de una herramienta de labranza es manipular un suelo (cambiar, mover o formar) que requiere cambiar una condición de éste. Tres factores resumidos de diseño son necesarios, (a) condición inicial del suelo, (b) forma de la herramienta y la manera del movimiento de la herramienta y (c) controlar o definir la manipulación del suelo. Los resultados de estos tres factores independientes de entrada son evidenciados por dos factores de salida, a saber, la condición final del suelo y las fuerzas requeridas para manipular el suelo.

2.1.2 Fuerzas actuando sobre una herramienta de labranza

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

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

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

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

Cuadro 2.1. Determinación de fuerza de tiro de diferentes implementos integrales.

Implemento		FH (kN)	Energía o trabajo kW h/Ha
Arado	3 discos	12.649	22.1 – 46.1
	4 discos	16.865	
Rastra	20 discos	5.928	4.0 – 7.4
Multiarado	2 cuerpos	73	3.1 – 5.2
Sembradora	2 Hileras	3.6	2.4 - 12

Fuente: Hunt, 1983.

Para un implemento particular y condición del suelo las fuerzas del suelo se incrementarán con la profundidad de trabajo. La resultante del peso del implemento y las fuerzas del suelo, por lo tanto, tendrán magnitud variable, dirección y posición dependiendo de la profundidad de trabajo. Dentro de las investigaciones realizadas por Garner *et al.* (1988) con pruebas realizadas con un dinamómetro integrado al tractor tirando de un arado de cinceles, determinaron las magnitudes de las fuerzas y momentos a 0.30 y 0.43 m. de profundidad mostradas en el cuadro 2.2.

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

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

Fuente: Garner, 1988.

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

Cuadro 2.3. Rango de fuerzas en implementos.

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

Fuente: Norma ASAE D230.

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

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

Implementos	Fuerza en la barra de compresión			Fuerza en el tiro		
	Profundidad (m)	Fuerza media (kN)	Fuerza pico (kN)	Fuerza media (kN)	Fuerza pico (kN)	Radio entre Fc/FT
Arado	0.30	23.21	33.71	15.48	30.66	1.50
Multiarado (1 timón)	0.34	30.83	34.07	22.06	32.05	1.40
Multiarado (2 timones)	0.21	38.52	43.64	23.77	3.05	1.62
Rastra		17.05	16.24	5.39	21.92	3.16
Cultivadora		4.84	9.16	4.76	20.72	1.02
Vibrocultivador		16.46	6.73	9.84	37.78	1.67

Fuente: Omaña (2003).

En donde: Fc= Fuerza en la barra de compresión y FT = Fuerza en el Tiro.

2.1.3 Relación de la Fuerza Vertical y Horizontal

En un arado de vertederas generalmente tiene una componente vertical actuando hacia abajo de la fuerza útil del suelo (succión). La magnitud de la fuerza específica (V) en relación a velocidad de avance del tractor (L) varía extensamente, empezando por la influencia del tipo de suelo, condición del suelo, profundidad de corte, partes de la forma de corte o afilados y otros factores.

El valor de la fuerza vertical V se incrementa con la velocidad como se muestra en la (Figura 2.1), pero con una tendencia en algunos suelos para una reducción ligera de la relación V/L . La relación V/L de las pruebas realizadas en un tanque de suelos esquematizadas se 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.

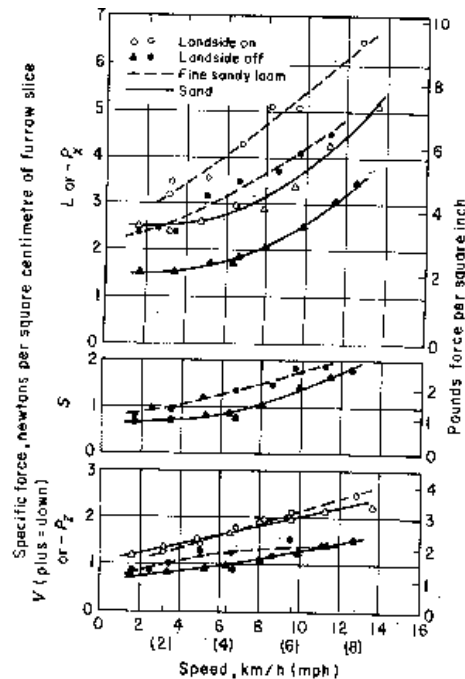


Figura 2.1. El valor de la fuerza vertical V se incrementa con la velocidad (Randolph).

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).

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 fuerza, sino también una posición en la línea de acción.

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

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

a) Tensión o compresión

El simple estado de tensión y compresión ocurre en el eje cuando la línea de acción coincide con el eje para la medición, se muestra en Figura 2.2.

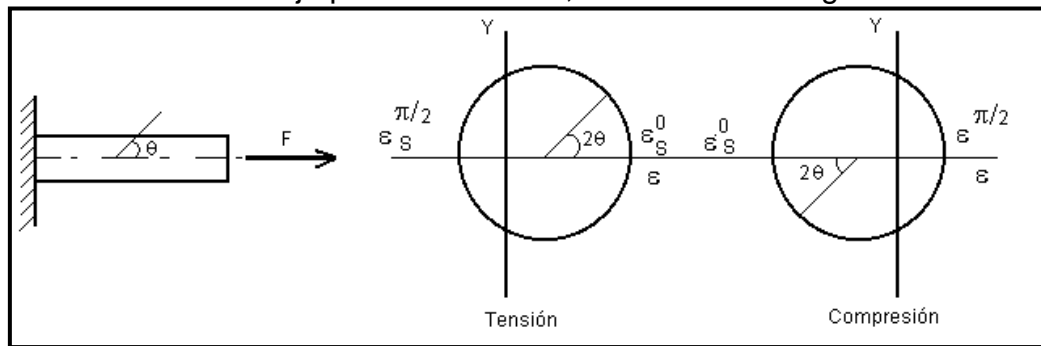


Figura 2.2. El estado de deformación en tensión o compresión.

Las deformaciones máximas principales están dadas por:

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

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

Donde:

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

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

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

F = Fuerza aplicada.

A = Área de la sección transversal del eje.

E = Modulo de Young.

μ = Relación de Poisson.

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

b) Flexión

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

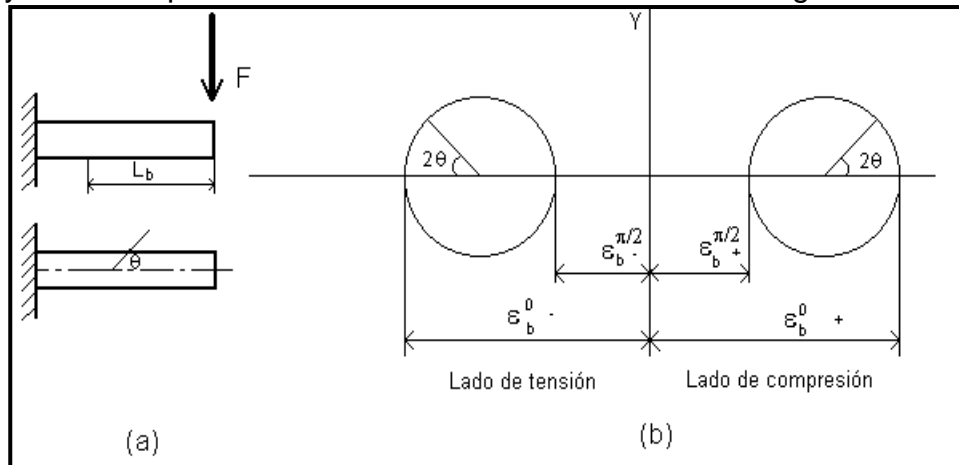


Figura 2.3. Estado de deformación (flexión).

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

$$\epsilon_b^{0\pm} = \pm \frac{\sigma_0}{E} = \pm \frac{M}{EZ_b} = \pm \frac{F L_b}{EZ_b} \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.3)}$$

$$\epsilon_b^{\frac{\pi}{2}\pm} = \mu \epsilon_b^{0\pm} = \pm \mu \frac{M}{EZ_b} = \pm \mu \frac{F L_b}{EZ_b} \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.4)}$$

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 tensional y otro lado máximo a compresión respectivamente.

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

$$Z_b = \frac{2I}{d'} \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.5)}$$

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:

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

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

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:

$$\varepsilon_t = \frac{F L_t}{G Z_p} \sin 2\theta \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.8)}$$

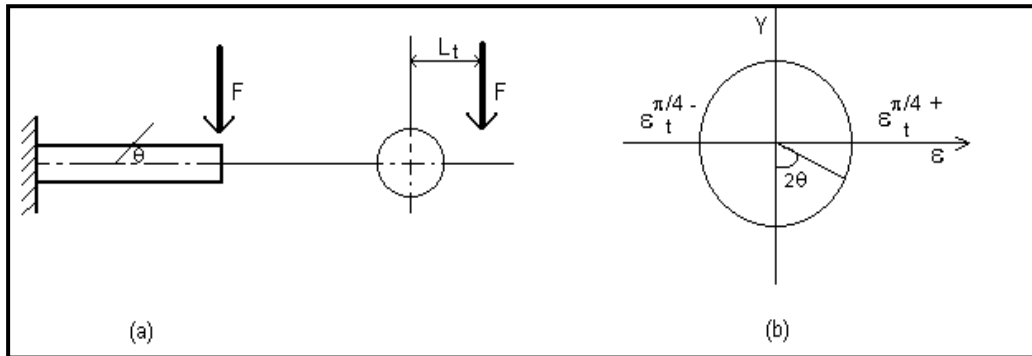


Figura 2.4. Estado de deformación en torsión.

2.3. Análisis teórico del diseño del anillo

Un análisis teórico de la aplicación del anillo extendido del transductor octagonal fue desarrollado por Cook (*et. al.* 1963) citado por Varela, (2000) esto

es basado en el análisis de la energía elástica de un anillo usado como una celda de carga. En la Figura 2.5 se muestra las fuerzas actuando en un elemento del anillo; donde el momento flexionante (M_θ) a cualquier punto en el anillo es calculado y es dado por la ecuación 2.9.

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

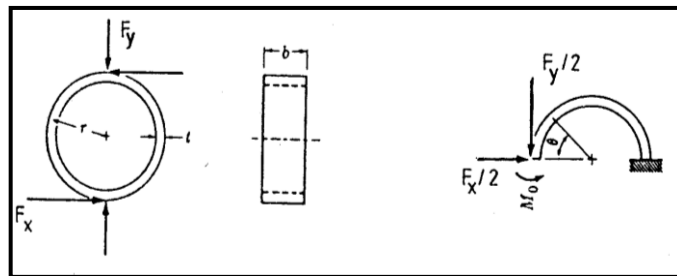


Figura 2.5. Fuerzas actuando en un elemento del anillo.

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:

$$\epsilon_{39.6^\circ} = \frac{2.31 F_y r}{E b t^2} \dots\dots\dots\text{Ecu. (2.10)}$$

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{1.09 F_x r}{E b t^2} \dots\dots\dots\text{Ecu. (2.11)}$$

Para propósitos prácticos, principalmente para evitar la rotación del anillo debido a la fuerza vertical (F_y), una versión extendida del anillo fue sugerida por Cook *et al.* (1963) citado por Varela (2000) 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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 2.17.

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

Para obtener máxima ejecución del anillo en la tensión del desplazamiento, sugirió Hoag, (1977) *citado por Varela, (2000)* que la relación (t/r^2) debe aumentarse al máximo. Para los requerimientos específicos esperados de cualquier fuerza máxima o momento, la deformación máxima en el anillo puede ser seleccionando el material del anillo apropiado junto con un máximo conveniente a la deformación aceptable, esto puede verse en la ecuación 2.18.

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

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

Godwin *et al.* (1993), diseñaron un dinamómetro para medir las fuerzas y momentos que actúan sobre implementos de labranza. El diseño fue basado en dos anillos octagonales extendidos montados “espalda con espalda” o “espaldas no discretas” arreglados con sus ejes longitudinales en ángulos correctos, estos anillos se encontraban montados en un plato cada uno con la

finalidad de ser colocado ante el tándem del implemento y así poder ser transportados, también se encontraban montados sobre un tubo con el propósito de medir las fuerzas que ocasiona un par o una fuerza lateral a un implemento. Mediante su investigación encontraron la posición óptima para el montaje de 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:

$$\varepsilon_{22.5^\circ} = \frac{2.66Fxr}{Ebt^2} \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.19)}$$

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{1.13Fyr}{Ebt^2} \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.20)}$$

Campos *et al.* (1992) desarrollaron una metodología sencilla para el diseño de Anillos Octagonales teniendo en mente su aplicación en la evaluación de implementos de labranza bajo condiciones de campo. Campos demostró que existe un efecto de la longitud del plato sobre la localización de los nudos de deformación, (en función del largo total del anillo extendido) sobre la sensibilidad del transductor y su efecto sobre la localización de los nudos de deformación.

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

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{2.12Fxr}{Ebt^2} \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.21)}$$

$$\varepsilon_{39,25^\circ} = \frac{2.24Fyr}{Ebt^2} \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.22)}$$

En el cuadro 2.5 se muestra una de las diferentes situaciones de nudo en deformación del anillo extendido en los transductores, como resultado de fuerzas horizontales y verticales aplicadas, y como sus respectivas sensibilidades derivadas por investigadores diferentes.

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

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

2.4 Transductores

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

1. **Etapa detectora - transductora**, la cual detecta la variable física y efectúa una transformación, ya sea mecánica o eléctrica para convertir la

señal a una forma más manejable. Generalizando el concepto, un transductor es un dispositivo que transforma un efecto físico en otro, y en la gran mayoría de los casos, la variable física se transforma en una señal eléctrica, ya que ésta es la forma de señal más fácilmente medible.

2. **Etapa intermedia**, la cual modifica la señal que proviene del transductor, ya sea por amplificación, filtrado u otros medios para tener una salida deseable.

3. **Etapa final o terminal**, en la cual se indica, graba o controla la variable que va a ser medida.

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

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

En la Figura 2.6 se muestra un diagrama de bloques de un sistema típico de medición empleado en la recolección de datos.

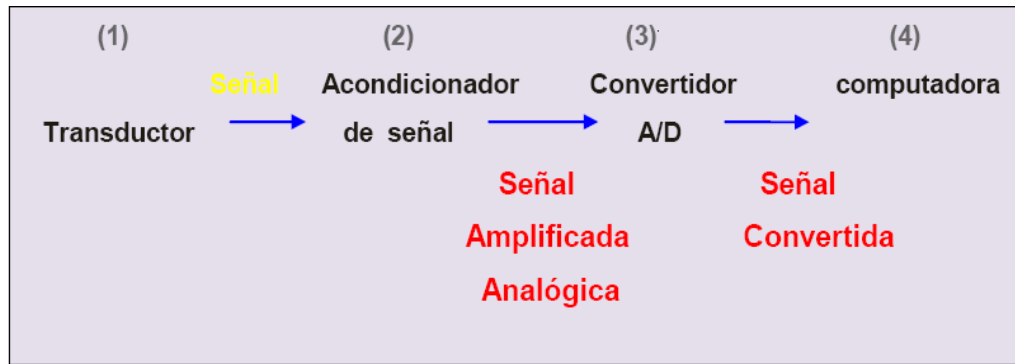


Figura 2.6. Diagrama de adquisición y procesamiento de datos.

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

La necesidad de conocer con precisión la magnitud y dirección de las fuerzas de reacción del suelo, que actúan sobre un implemento en particular 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 (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 con un solo transductor.
- h) . Detecta los cambios de dirección de las fuerzas.

Cuando un elemento de maquinaria se somete a una fuerza, este sufre una deformación proporcional a la fuerza aplicada. La deformación puede ser causada por una carga axial, por una torsión o por un momento. Esta deformación puede ser medida para conocer la fuerza que está actuando sobre el elemento, 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 transmita la fuerza en deformación. El material para construir los transductores de fuerza debe tener las siguientes características: rigidez elevada, carga de ruptura elevada, límite elástico y módulo de elasticidad bajo. Y para la elección de las galgas de deformación se consideran los siguientes factores: longitud de carga, factor y salida de galga, temperatura característica, deslizamiento característico, endurecimiento y bajo costo (Moo, 1999).

2.4.2. Galgas extensiométricas

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 o grabado en laminillas metálicas delgadas. La resistencia del alambre o de la lámina delgada cambia de longitud

a medida que el material al cual esta soldada sufre tensiones o compresiones. En este cambio la resistencia es proporcional a la tensión aplicada y se mide con un puente de Wheatstone adaptado especialmente (Cooper, 1991).

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

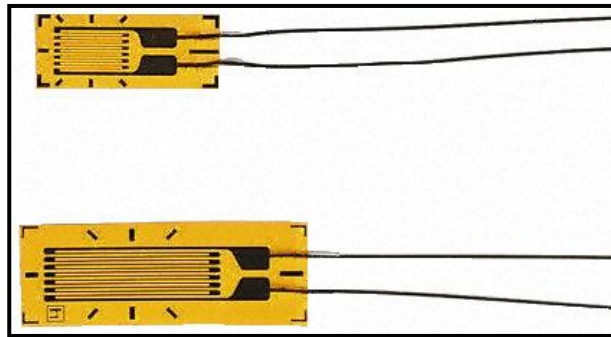


Figura 2.7. Muestra un galga extensiométrica.

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

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

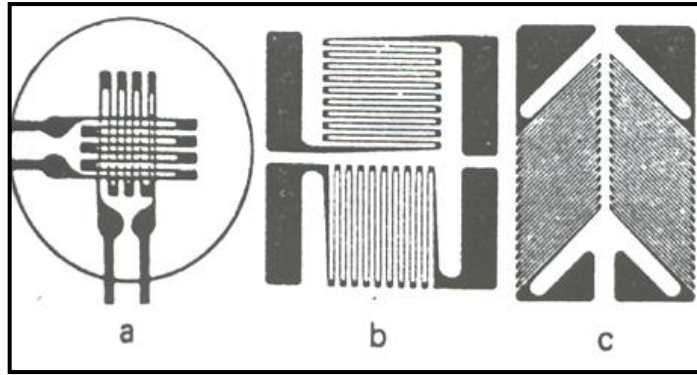


Figura 2.8. a) Muestra laminillas apiladas a 90 grados; b) laminilla plana a 90 grados.

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:

$$\varepsilon = \frac{dL}{L} = \frac{\sigma}{E} \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.23)}$$

Donde:

ε = Deformación

L = Longitud original

dL = Cambio en longitud debido a 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:

$$\frac{dR}{R} = K\varepsilon \dots\dots\dots\text{Ecu. (2.24)}$$

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

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

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots\text{Ecu. (2.25)}$$

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 dependiendo de la relación de Poisson (μ), y esta constante varia de material a material. Este usualmente es sobre 0.3, así que la deformación medida perpendicular a la carga será aproximadamente 0.3 veces 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 considerada.

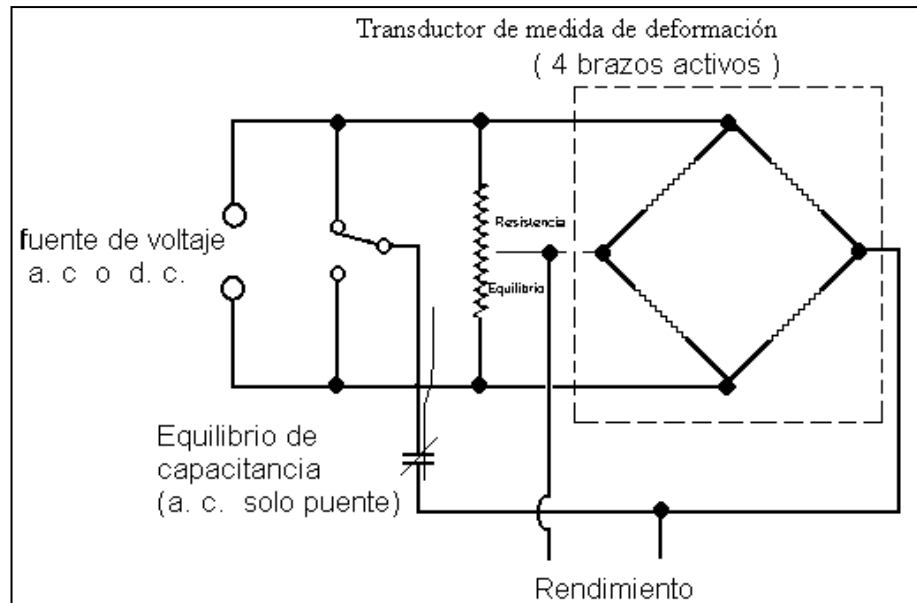


Figura 2.9. Puente de Wheatstone (Godwin, 1993).

De esto se puede desprender la ecuación 2.26.

$$V = \frac{(U)(FG)(n)(\epsilon)}{4} * Gain \dots\dots\dots \text{Ecu. (2.26)}$$

Donde:

V = Voltaje de salida esperado

U = Voltaje de excitación

n = Número de galgas activas

ε = Deformación

F_G = Factor de galga

Gain = ganancia

2.5. Sistema de adquisición de datos

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

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) utilizó la metodología del algoritmo de la transformada rápida de Fourier para la obtención de la potencia espectral.

2.6 Construcción y pruebas de un transductor integral

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

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

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

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Los fines de evaluación y diseño de un implemento agrícola integrado al tractor comienzan a partir del análisis de fuerzas de reacción del suelo sobre los implementos. El proceso de este análisis puede apreciarse en la Figura 3.1 (Hinojosa 2003).

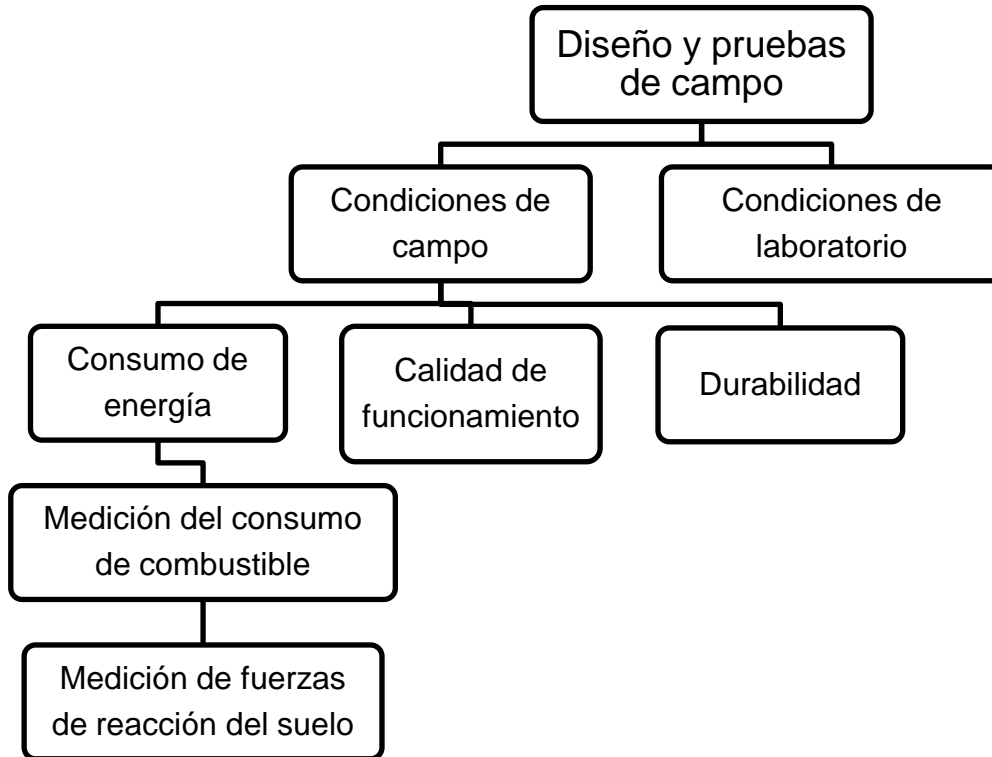


Figura 3.1. Medición de parámetros para pruebas de implementos bajo condiciones de campo.

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

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

Los elementos que integran la propuesta son:

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

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

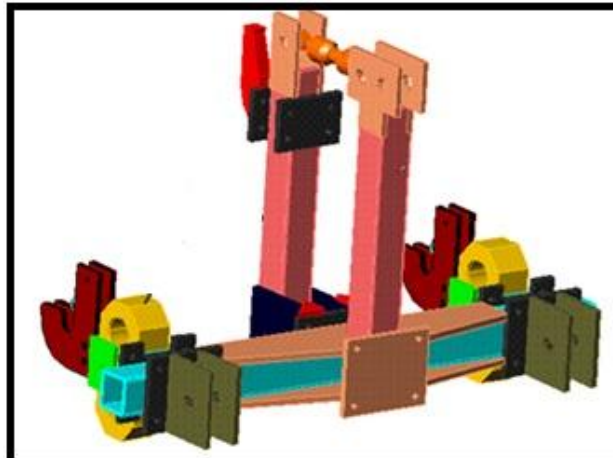


Figura 3.2. Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor.

3.1. Criterios para las características del transductor

Primeramente se estudiarán y se analizarán las diferentes fuerzas de algunos implementos conocidos de acuerdo a las tablas 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 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 que tiene por nombre “diseño de transductores”, que incluye dimensiones del anillo: radio, ancho y espesor del anillo; esfuerzo de cedencia del material (N/m^2), módulo de elasticidad; factores de seguridad y factor de galga, sensibilidad y voltaje de salida esperado; 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 3.3. 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.

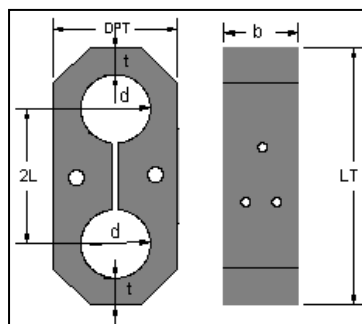


Figura 3.3. Sensor Octagonal.

3.3. Fabricación de los sensores

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

3.4. Acondicionamiento de sensores

Se colocaran las galgas extensiométricas de acuerdo al puente de Wheatstone que le corresponda y se cablearan cada una de ellas; el tipo de galgas extensiométricas empleadas para llevar a cabo la determinación de la F_x y para el momento para tomar la referencia para el diseño del octagonal extendido fueron del tipo KFG-5-350-C1-11 con un factor de galga de 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 3.4.

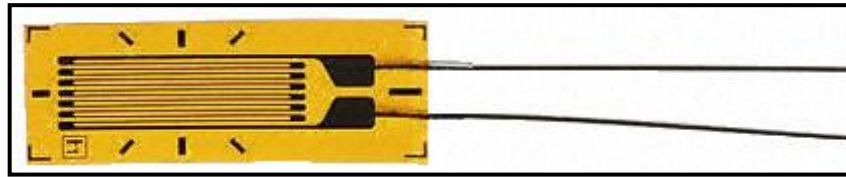


Figura 3.4. Modelo de la galga extensiométrica KFG-5-350-C1-11.

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

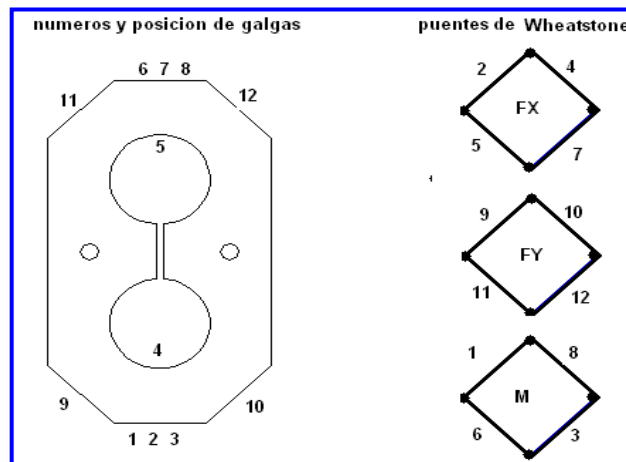


Figura 3.5. Localización de las galgas y puentes de Wheatstone.

3.5. Estructura flotante

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



Figura 3.6. 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 trabaja en conjunto con:

1. Un amplificador – acondicionador (DBK – 43A) con módulos de 8 canales, con ganancia de $10 \times$ a $1250 \times$ (ϵ), fabricado por Lotech, Inc. (<http://www.iotech.com>) usado para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje para así poder enviarla a un convertidor analógico - digital. Este además provee el voltaje de excitación al transductor en un rango de 1 - 10 V y 100 mA.
2. Un convertidor analógico – digital (DakBook 200). El cual es un módulo que se conecta al puerto paralelo de la computadora y que convierte los valores de voltaje en valores digitales para que puedan ser procesados por la computadora. Este sistema se compone de dos partes, la primera parte es la que procesa la información y la segunda parte es un banco de

baterías que alimenta a la parte de procesamiento. Este módulo es integrado por seis voltajes diferenciales. Con una ganancia de 0.01 – 10 V y con una velocidad de muestreo de 25 – 625 E3 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, Minitab y MatLab.

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 módulo con el puerto paralelo de la computadora. Se coloca el cable de alimentación que va de las baterías del DaqBook/200 a la unidad de proceso de datos. Se enciende el DaqBook/200 y el DBK - 43a.

- e) Con todo el equipo ya encendido y bien conectado, se ejecuta el programa DaqView. En este momento el sistema de adquisición de datos ya está activado, y es recomendable esperar de 5 a 10 minutos para iniciar la captura de datos, ya que las galgas extensiométricas deben alcanzar su temperatura de operación o de lo contrario se puede obtener datos erróneos.

3.6.1. Preparación del equipo de adquisición de datos

Las pruebas de laboratorio se harán en un marco de calibración (Figura 3.6.1) elaborado por Ozuna (2011) y la metodología del mismo aplicando una carga escalonada de 4 niveles: de 2, 4, 6 y 8 kN y con un desfaseamiento de 0.59 m y 0.79 m. Se combinarán un sensor axial, con un octagonal y verificando con esto las magnitudes que sensan cada uno de ellos, el transductor integral trabajará de forma estática, pero a su vez sensando en conjunto con los cuatro dinamómetros (octagonal amarillo, octagonal verde, octagonal rojo, octagonal de energía), como también utilizar un arreglo de 3 octagonales y un axial (octagonal rojo, octagonal amarillo, octagonal de energía y dinamómetro axial).

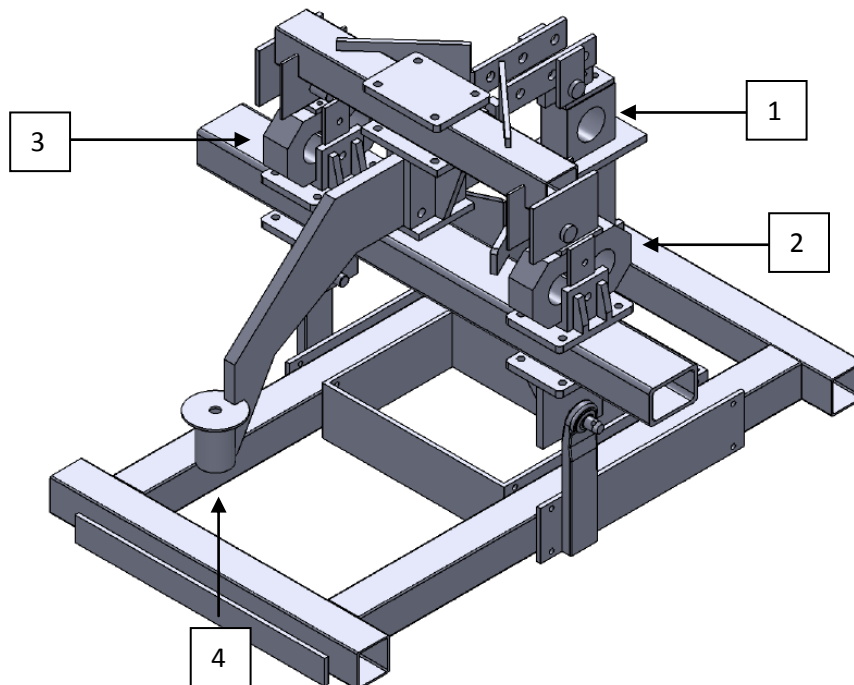


Figura 3.6.1. Marco de calibración del transductor integral. Ozuna (2011).

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

3.6.2. Preparación del terreno para muestreo en campo

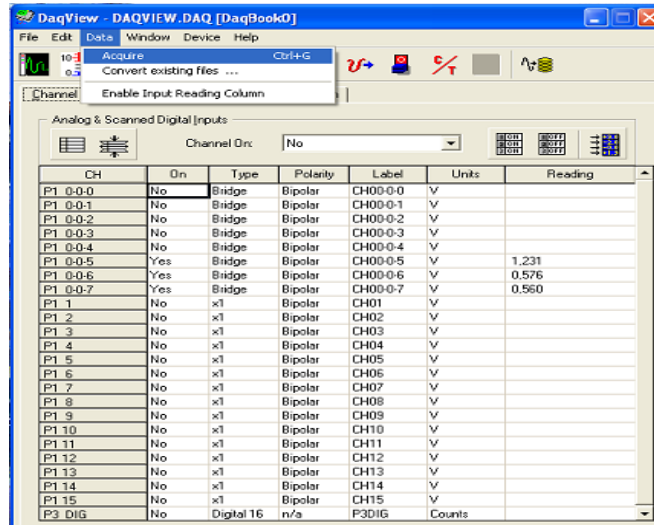
Se realizara una evolución bajo condiciones de campo en el terreno localizado en el rancho navidad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Estado de Nuevo León. Se harán 15 combinaciones de corridas como se muestra en el cuadro (3.6.2.1). Para cada una de las corridas se realizan 8 repeticiones de 100 metros a una velocidad de muestreo de 30 datos por segundo, con un total de 7000 datos. Para cada uno de los sensores que integran el sensor integral (dos octagonales para las Fx, un octagonal para la Fy, un octagonal para la transferencia de peso). Se determina el tipo de arreglo que tendrá el cincel cuadro 3.6.2; La profundidad controlada entre 0.20 o 0.30 metros y cuantos cuerpos constituirá el arreglo de los cinceles.

Cuadro 3.6.2. Arreglos que se haran en campo.

Número de arreglo	Arreglo	Cuerpos
1	1 cincel trasero (30 cm) con axial	1
2	1 cincel trasero ala grande (30 cm) sin axial	1
3	1 cincel trasero ala mediana (30 cm) sin axial	1
4	1 cincel trasero ala chica (30 cm) con axial	1
5	2 trasero alas grandes (30 cm) sin axial	2
6	2 trasero alas medianas (30 cm) sin axial	2
7	2 trasero alas chicas (30 cm) sin axial	2
8	2 frontales (30 cm) con axial	2
9	2 frontales (20 cm) con axial	2
10	2 frontales (20 cm) 1 trasero ala grande (30 cm) sin axial	3
11	2 frontales (20 cm) 1 trasero ala mediana (20 cm) sin axial	3
12	2 frontales (20 cm) 1 trasero ala chica (30 cm) sin axial	3
13	2 frontales (20 cm) 1 trasero (30 cm) con axial	3
14	4 cinceles frontales (20 cm) sin axial	4
15	4 frontales (20 cm) 2 traseros (30 cm) sin axial	6

3.6.3. 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 sensados, frecuencia de muestreo, cantidad de datos a registrar, nombre del archivo para guardar los datos.



The screenshot shows the DaqView software interface with a table of channel configurations. The table has columns for CH, On, Type, Polarity, Label, Units, and Reading. The data is as follows:

CH	On	Type	Polarity	Label	Units	Reading
P1 0-0-0	No	Bridge	Bipolar	CH00-0-0	V	
P1 0-0-1	No	Bridge	Bipolar	CH00-0-1	V	
P1 0-0-2	No	Bridge	Bipolar	CH00-0-2	V	
P1 0-0-3	No	Bridge	Bipolar	CH00-0-3	V	
P1 0-0-4	No	Bridge	Bipolar	CH00-0-4	V	
P1 0-0-5	Yes	Bridge	Bipolar	CH00-0-5	V	1.231
P1 0-0-6	Yes	Bridge	Bipolar	CH00-0-6	V	0.576
P1 0-0-7	Yes	Bridge	Bipolar	CH00-0-7	V	0.560
P1 1	No	x1	Bipolar	CH01	V	
P1 2	No	x1	Bipolar	CH02	V	
P1 3	No	x1	Bipolar	CH03	V	
P1 4	No	x1	Bipolar	CH04	V	
P1 5	No	x1	Bipolar	CH05	V	
P1 6	No	x1	Bipolar	CH06	V	
P1 7	No	x1	Bipolar	CH07	V	
P1 8	No	x1	Bipolar	CH08	V	
P1 9	No	x1	Bipolar	CH09	V	
P1 10	No	x1	Bipolar	CH10	V	
P1 11	No	x1	Bipolar	CH11	V	
P1 12	No	x1	Bipolar	CH12	V	
P1 13	No	x1	Bipolar	CH13	V	
P1 14	No	x1	Bipolar	CH14	V	
P1 15	No	x1	Bipolar	CH15	V	
P3 DIG	No	Digital 16	n/a	F3DIG	Counts	

Figura 3.6.2. Captura de datos de una sesión de DaqView.

3.6.4. Calibración directa del equipo

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

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 offset hasta el valor deseado.

3.6.5. Registro de Información

- a) En la barra de herramientas se presiona el icono DATA y una vez abierto se presiona el botón ACQUIRE donde nos muestra otra ventana, donde para empezar a almacenar los datos se presiona MANUAL TRIGGER.
- b) Antes que nada tendremos que tener los tractores alineados en serie, para que tenga la siguiente secuencia, en primer lugar tendremos el tractor Massey Ferguson, posteriormente tendremos colocado el dinamómetro axial entre el tractor Massey Ferguson y el tractor Jhon Deere, en seguida estará acoplado el transductor integral a los tres puntos de enganche del tractor Jhon Deere y por ultimo tendremos acoplado el implemento (Arado de cinceles) con los tres puntos de enganche del transductor integral.
- c) Se pone en movimiento los dos tractores, el primer tractor tendrá que estar en segunda baja y el segundo tractor debe estar en neutral; se espera que pase un promedio de 300 datos ya adquiridos para bajar el hidráulico del tractor Jhon Deere en conjunto con el transductor integral y el implemento (Arado de cinceles), en estado dinámico el transductor se deja que tenga un almacenamiento de información de 5000 datos, al llegar esta cantidad de datos adquiridos se procede a levantar el hidráulico del tractor, se deja que termine de almacenar los 7000 datos y se termina una corrida, este proceso se repite por 8 veces por cada diferente tipo de arreglo.
- d) De acuerdo a la calibración de cada dinamómetro octagonal, se estará almacenando la cantidad de 30 datos/segundo, con un total de 7000 datos que son los datos requeridos en tiempo para terminar un recorrido de 100 m en estado dinámico del transductor integral.

- e) Al término de cada repetición, automáticamente el programa lo guarda en la carpeta que nosotros habíamos destinado, se procede a revisar los datos graficando canal por canal en el programa de Excel para observar que en realidad está funcionando nuestro dinamómetro.

3.7. Análisis de información

La disposición de un equipo de adquisición de datos que registren los valores que se obtienen por medio de un transductor y los envíe a una computadora, hace posible almacenar en un archivo en disco los valores registrados durante la operación de la herramienta.

Para el análisis de datos primeramente se abren los archivos en Excel y se grafican los canales, lo siguiente sería llevar a cero todas las gráficas restando el primer valor de la columna con todos los valores de la misma columna para tener una mayor percepción del comportamiento del transductor integral en un estado dinámico, ya hecho esta acción se procede a multiplicar a cada uno de las columnas por su constante correspondiente.

Este archivo puede ser leído por el programa “análisis5.m” el último dígito del nombre del programa se refiere a la cantidad de dinamómetros que puede procesar la frecuencia registrada, este se maneja en un 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 pueden localizar la mayor magnitud ocurrida y su correspondiente frecuencia (Mojica, 2000).

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

IV. RESULTADOS

4.1. Diseño, construcción y calibración del transductor integral

Después de estudiar y analizar las diferentes fuerzas de algunos implementos conocidos de acuerdo a las tablas 2.1 y 2.2 donde se indican la fuerza de tiro y la transferencia de peso de los diferentes implementos de labranza, así como los reportes de prueba de tractores de Nebraska y OECD, para tractores de categoría II, los parámetros de diseño seleccionados fueron de 80 kN de tiro y fuerza vertical, 120 kN de par y de 70 kN de transferencia de peso.

Posteriormente se procedió a construir los dinamómetros octagonales con las dimensiones correspondientes al diseño que se muestran en Figura 4.1.1, todo el proceso de cálculo de los dinamómetros es mostrado en el anexo (A).

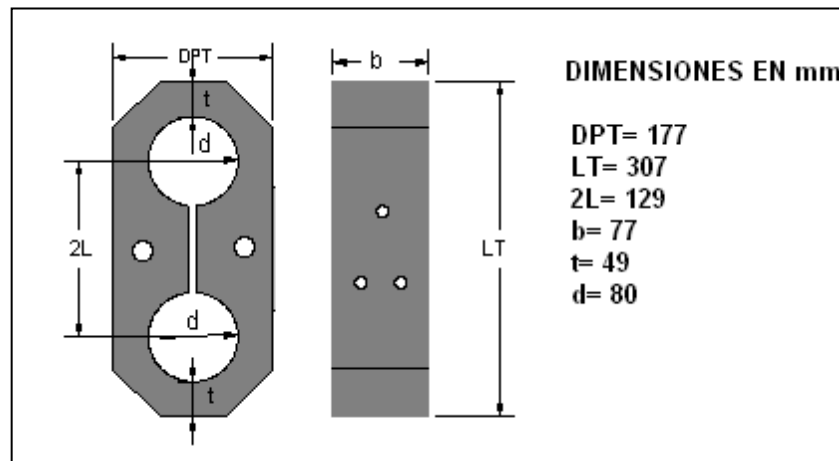


Figura 4.1.1. Dimensiones del octagonal. Acero 1018, con un esfuerzo a la tensión de 343 MPa.

Los dinamómetros fueron maquinados por la empresa Bison, fabricante de los equipos agropecuarios. En el anexo (B) se encuentra el procedimiento para el pegado de galgas y cableado de los dinamómetros octagonales.

En la Figura (4.1.2) 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 M Ω .



Figura 4.1.2. Galgas montadas y cableadas en el sensor octagonal extendido con capacidad de 40 kN.

En el cuadro (4.1.1), se muestran el voltaje de excitación, la ganancia, las constantes obtenidas durante su calibración en laboratorio así como su coeficiente de correlación de los cuatro sensores empleados en el Sensor Integral.

Cuadro 4.1.1. Voltajes de excitación, ganancias y constantes de calibración de los sensores para Fx.

Dinamómetro (Fx)	Input Gain	Escaling Gain	Exitación	Contante	R-sqr
Octagonal verde	4.41	4.41	9.54	15.56	99.9
Octagonal Amarillo	4.39	4.40	9.64	15.56	99.9
Octagonal Rojo	4.53	4.52	9.59	15.57	99.8
Axial - Tractor (350)	4.50	4.49	5.58	10.87	99.9
Energía	4.46	4.52	5.60	4.30	99.7
Octagonal negro	4.50	4.40	9.50	1.06	99.7
Axial laboratorio	4.50	4.41	9.50	2.36	100

4.2. Calibración de los sensores

4.2.1. Calibración del sensor octagonal negro

En la figura (4.2.1) se muestran el procedimiento de calibración en forma individual del dinamómetro octagonal negro y de energía, en esta se aprecia el marco de calibración, el gato de carga con capacidad de una tonelada, así como el sensor de referencia con capacidad de 5 kN y el sensor en su proceso de calibración con capacidad de 10 kN.



Figura 4.2.1. Marco de calibración de los sensores individuales con capacidad de 10 kN.

En la Figura (4.2.2) se muestran la gráfica con cuatro escalones de calibración del sensor integral, de referencia se utilizó el octagonal negro en forma individual con pesos determinados, tales pruebas se realizaron en el marco de calibración.

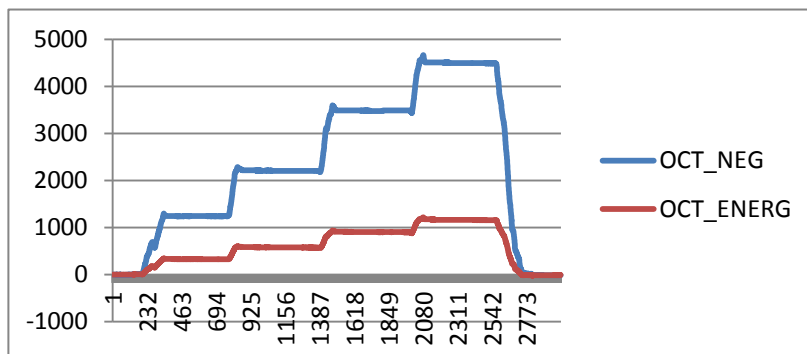


Figura 4.2.2. Calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN.

En el cuadro (4.2.1) se muestran los datos de la respuesta que hay en el sensor octagonal negro con capacidad de 5 kN que se muestran en mV contra los pesos conocidos convertidos en Newton.

Cuadro 4.2.1. Datos de calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN con cuatro diferentes fuerzas.

Repetición	O. Negro (mV)	O. E (mV)	Newtons
0	0	0	0
1	1506	349	1931
2	2992	670	3836
3	4485	1000	5750
0	0	0	0
1	1502	350	1926
2	2946	670	3777
3	3992	900	5118
0	0	0	0
1	1495	355	1917
2	3016	692	3867
3	4512	1022	5784
0	0	0	0
1	1511	354	1937
2	2992	685	3836
3	4586	1015	5879
0	0	0	0
1	1501	351	1924
2	2994	679	3838
3	4498	1012	5766

En la Figura (4.2.3) Se muestra la línea ajustada de la calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN mediante el programa del Minitab para ver el coeficiente de correlación.

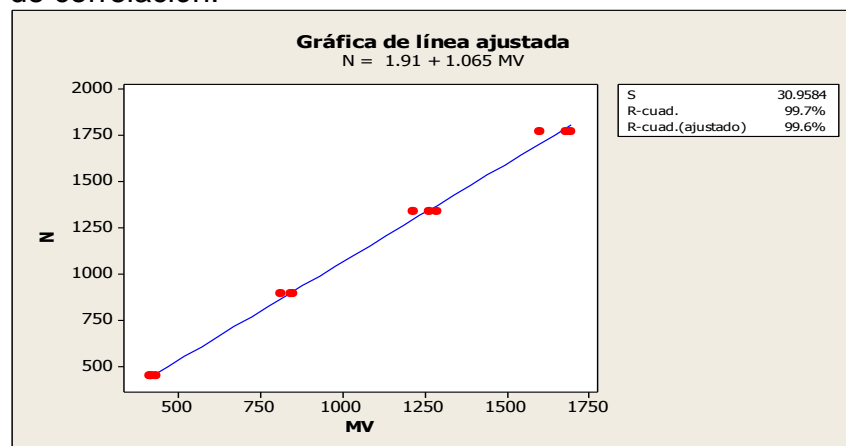


Figura 4.2.3. Línea ajustada del octagonal negro con capacidad de 5 kN.

4.3.1. Calibración del sensor octagonal de energía

En la Figura (4.3.1) se muestran la gráfica escalonada de la calibración del sensor integral octagonal de energía versus octagonal negro realizadas en el marco de calibración.

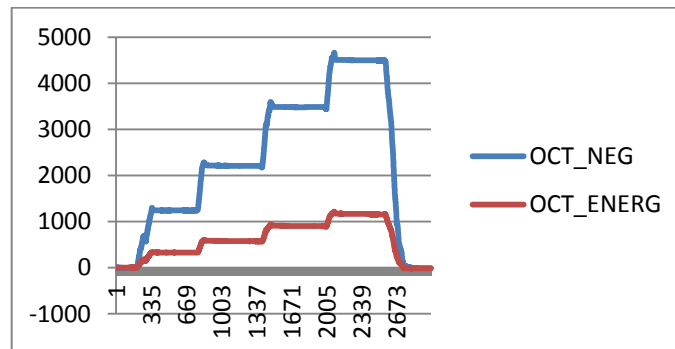


Figura 4.3.1. Calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro.

En el cuadro (4.3.1) se muestra los datos de la respuesta que hay en el sensor octagonal de energía con capacidad de 10 kN que se muestran en (mV) versus octagonal negro convertidos en Newton.

Cuadro 4.3.1. Datos de calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro.

O. de Energía (mV)	O. Negro (N)
233	976
571	2460
910	3972
1130	4963
328	1326
578	2348
905	3712
1163	4787
384	1672
571	2513
863	3802
1144	5027
0	0
0	0
0	0

En la Figura (4.3.2) se muestra la línea ajustada de la calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN mediante el programa Minitab para analizar el coeficiente de correlación.

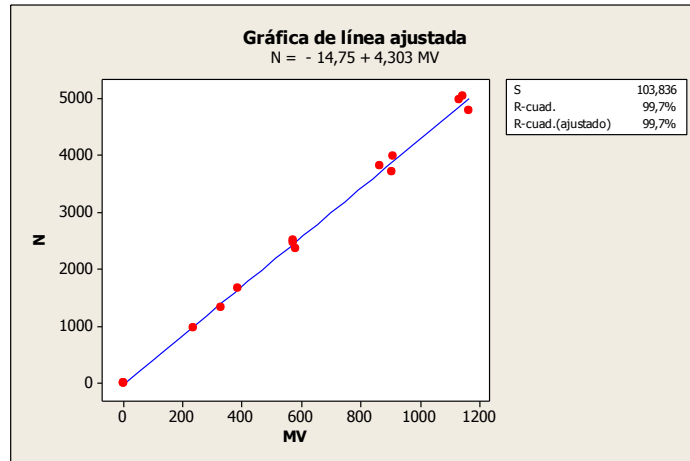


Figura 4.3.2. Línea ajustada de la calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro.

En la Figura (4.3.3) se muestran el procedimiento de calibración en forma individual de cada uno de los sensores, en esta se aprecia la plataforma de calibración con un octagonal en serie vs dinamómetro axial y la canasta donde se depositan los diferentes contrapesos teniendo una fuerza total de 3.403 kN.



Figura 4.3.3. Plataforma de calibración en una forma en serie de los sensores individuales.

4.4.1. Calibración del sensor octagonal amarillo

En la Figura (4.4.1) se muestran la gráfica escalonada de ascenso y descenso de los contrapesos utilizados para la calibración del sensor octagonal amarillo con una capacidad de 40 kN versus axial, realizadas en la plataforma de calibración en serie.

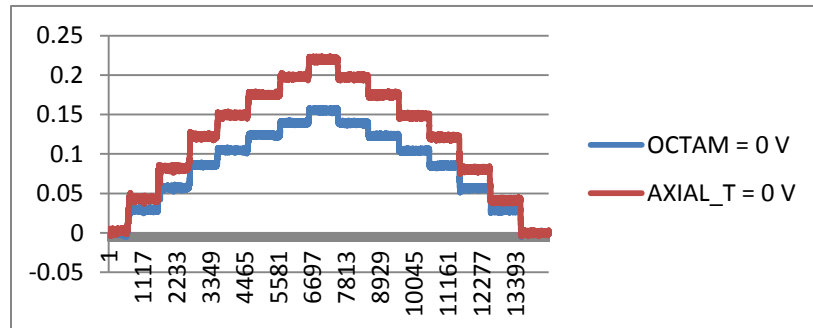


Figura 4.4.1. Calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus axial de forma de serie.

En el cuadro (4.4.1) se muestra los datos de la respuesta que hay en el sensor octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus dinamómetro axial con diferentes cargas y la respuesta en Newtons para procesarlos con el programa de Minitab y determinar el valor de la constante.

Cuadro 4.4.1. Datos de calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus dinamómetro axial.

Punto	Axial mV	O. A mV	Axial mV (K)	O. A mV (K)	Pesos acumulados (Kg)	Pesos	Newtons
1121	37	27	372	470	45	45	441.45
2043	75	53	736	936	90	45	882.90
3032	117	84	1151	1456	135	45	1324.35
4090	140	100	1375	1728	165	30	1618.65
5056	169	121	1658	2079	195	30	1912.95
6135	187	137	1839	2356	220	25	2158.20
7090	212	153	2053	2633	245	25	2403.45

8137	189	137	1860	2358	220	-25	2158.20
9171	164	121	1610	2089	195	-25	1912.95
10029	139	101	1368	1744	165	-30	1618.65
10993	112	83	1106	1427	135	-30	1324.35
11983	69	51	678	886	90	-45	882.90
12994	28	27	279	470	45	-45	441.45

En la Figura (4.4.2) se muestra la línea ajustada de la calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN mediante el programa Minitab para ver el coeficiente de correlación y así poder determinar su constante (K).

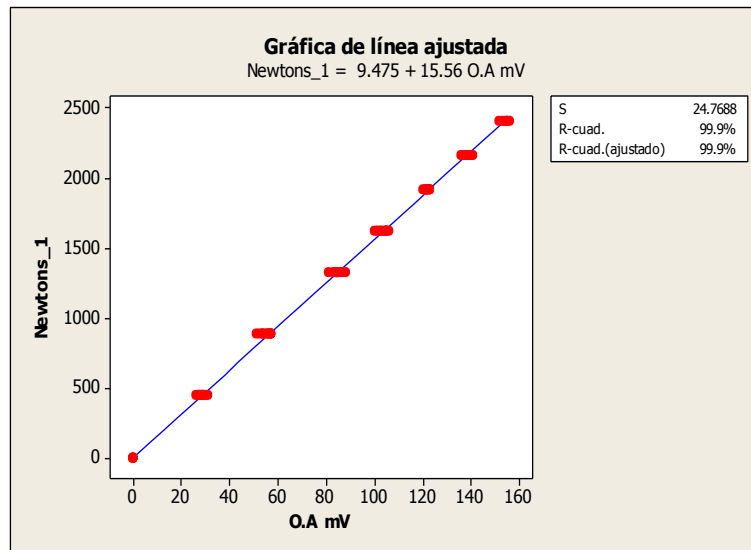


Figura 4.4.2. Línea ajustada de la calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus octagonal negro.

4.5.1. Calibración del sensor octagonal rojo

En la Figura (4.5.1) se muestran la gráfica escalonada de acenso y descenso de diferentes cargas en la calibración del sensor octagonal rojo con capacidad de 40 kN versus axial, realizadas en la plataforma de calibración.

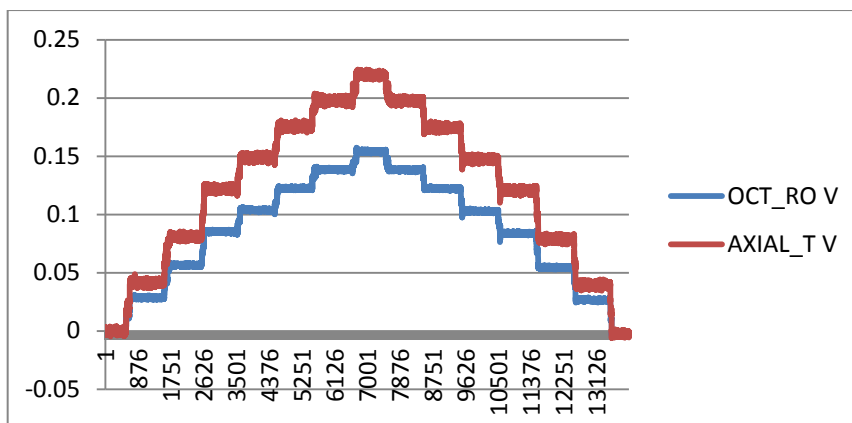


Figura 4.5.1. Calibración del octagonal rojo con capacidad de 40 kN versus axial, realizadas en la plataforma de calibración.

En el cuadro (4.5.1) se muestra los datos de la respuesta del octagonal rojo con capacidad de 40 kN mostrados en mV versus axial como también su respuesta en Newtons para después ser procesados y obtener el valor de su constante.

Cuadro 4.5.1. Datos de calibración del octagonal rojo con capacidad de 40 kN versus axial.

Punto	O. R (mV)	Axial (mV)	Peso acumulado (kg)	Pesos (kg)	(Newtons)
1125	29	38	45	45	441.45
2106	58	79	90	45	882.90
3090	85	121	135	45	1324.35
4227	104	146	165	30	1618.65
5113	122	175	195	30	1912.95
6065	138	199	220	25	2158.20
7094	152	219	245	25	2403.45
8034	137	198	220	-25	2158.20
8996	120	173	195	-25	1912.95
9965	100	144	165	-30	1618.65
11015	79	118	135	-30	1324.35
12065	50	77	90	-45	882.90
12962	23	37	45	-45	441.45

En la Figura (4.5.2) muestra la línea ajustada de la calibración del octagonal rojo con capacidad de 40 kN mediante el programa Minitab para determinar su constante y coeficiente de correlación.

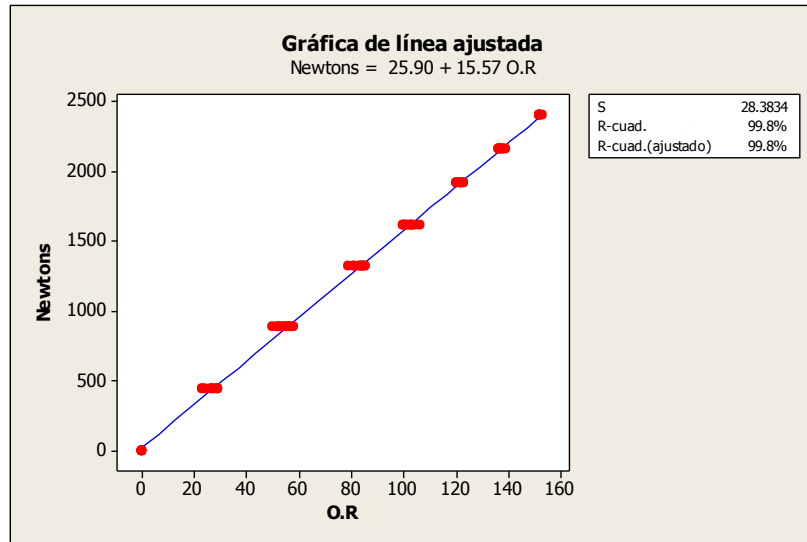


Figura 4.5.2. Línea ajustada de la calibración del octagonal rojo con capacidad de 40 kN versus octagonal de energía.

4.6.1. Calibración del dinamómetro de tiro (axial)

En la Figura (4.6.1) se muestran la gráfica escalonada de acenso y descenso de diferentes cargas en de la calibración del sensor axial con capacidad de 60 kN, realizada en la plataforma de calibración en serie.

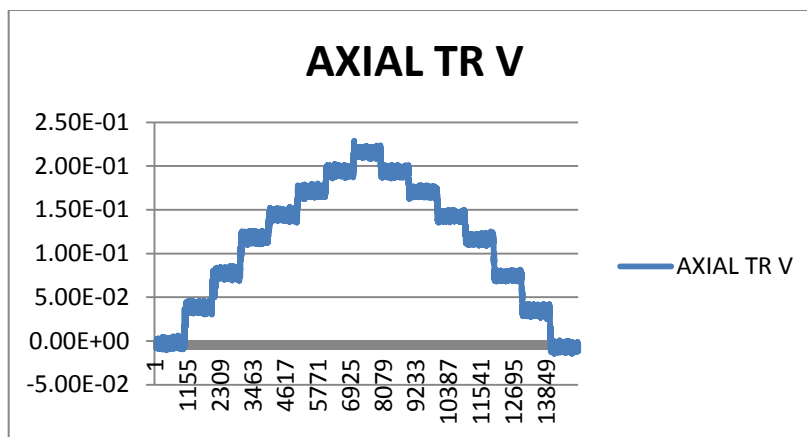


Figura 4.6.1. Calibración del dinamómetro axial con capacidad de 60 kN, realizadas en la plataforma de calibración.

En el cuadro (4.6.1) se muestra los datos de la respuesta que hay en el dinamómetro axial con capacidad de 60 kN que se muestran en mV.

Cuadro 4.6.1. Datos de calibración del Axial con capacidad de 60 kN.

Punto	Axial (mV)	Peso (Kg)	Newtons
1506	34	45	333.54
2523	78	90	765.18
3541	118	135	1157.58
4488	146	165	1432.26
5529	173	195	1697.13
6499	193	220	1893.33
7510	217	245	2128.77
8418	194	220	1903.14
9457	168	195	1648.08
10524	145	165	1422.45
11494	118	135	1157.58
12441	76.6	90	751.45
13481	32.2	45	315.88

En la Figura (4.6.2) se muestra la línea ajustada de la calibración del dinamómetro axial con capacidad de 60 kN mediante el programa del Minitab para ver el coeficiente de correlación que existen entre ellos, como también determinar su constante del mismo.

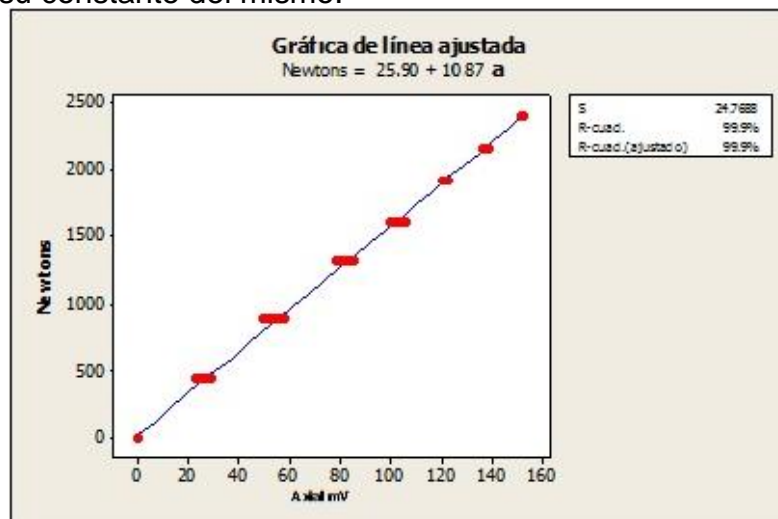


Figura 4.6.2. Línea ajustada de la calibración del dinamómetro axial con capacidad de 60 kN.

4.7. Pruebas con arreglos de puentes completos con el transductor integral

En la Figura (4.7.1) se muestra el procedimiento de las pruebas en forma integral de los sensores, en esta imagen se aprecia el banco de pruebas para el sensor integral; el gato tiene una capacidad de carga de una tonelada.



Figura 4.7.1. Prueba con el sensor integral montado en el banco de pruebas.

4.7.1. Pruebas concentradas a distancia de 0.59 m con los 4 octagonales (verde, amarillo, rojo y energía)

La Figura (4.7.1.1) es la gráfica donde se puede observar las fuerzas escalonadas, cuando el sensor integra deforma cada uno de sus dinamómetros que lo integran, octagonal rojo, octagonal amarillo, octagonal verde y octagonal de energía, teniendo un arreglo de puentes completos y la fuerza está concentrada a la distancia de 0.59 metros.

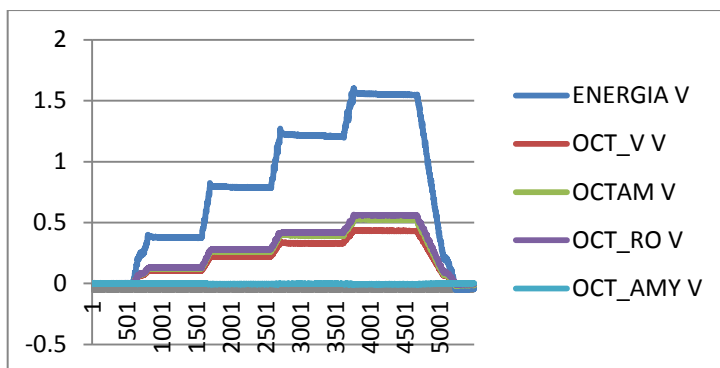


Figura 4.7.1.1. Sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.59 metros.

En el cuadro (4.7.1.1) se puede observar la proporcionalidad que existe entre el promedio del octagonal amarillo más octagonal verde respecto al octagonal de energía; el promedio mayor, el promedio menor, la media, el coeficiente de variación y la desviación estándar que tiene la proporción, de las pruebas realizadas en el laboratorio con los sensores, octagonal rojo, octagonal amarillo, octagonal verde y el octagonal de energía, con arreglos de puentes completos y cargas concentrada a la distancia de 0.59 metros.

Cuadro 4.7.1.1. Proporcionalidad que existe entre el promedio del octagonal verde mas octagonal amarillo respecto al octagonal de energía de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.59 metros.

# Repetición	Octagonal rojo (N)	Promedio OV + OA (N)	Energía (N)	(Promedio (OV+OA))/Energía (N)
I	2600	2294	2044	1.12
	5297	4556	4114	1.11
	7169	6200	5598	1.11
	9311	8104	7329	1.11
II	2532	2209	2044	1.08
	5205	4494	4114	1.09
	6973	6054	5598	1.08
	9408	8074	7329	1.10
III	2552	2266	2044	1.11
	5284	4580	4114	1.11
	7011	6064	5598	1.08
	9565	8196	7329	1.12

IV	2527	2215	2044	1.08
	5197	4491	4114	1.09
	6922	6075	5598	1.09
	9388	8100	7329	1.11
V	2567	2232	2044	1.09
	5172	4526	4114	1.10
	7172	6171	5598	1.10
	9182	7999	7329	1.09
Media de la proporción				1.097
Proporción mayor (O. V + O. A)/O. E				1.118
Proporción menor (O. V + O. A)/O. E				1.081
Desviación Estándar de la proporción				0.012
Coeficiente de variación de la proporción				1.050 %

4.7.2. Pruebas concentradas a distancia de 0.79 m con los 4 octagonales (verde, amarillo, rojo y energía)

La Figura (4.7.2.1) es la gráfica donde se puede observar las fuerzas escalonadas cuando los sensores, octagonal rojo, octagonal amarillo, octagonal verde y el octagonal de energía, teniendo un arreglo de puentes completos y la fuerza está concentrada a la distancia de 0.79 metros del enganche inferior del implemento (EIIM).

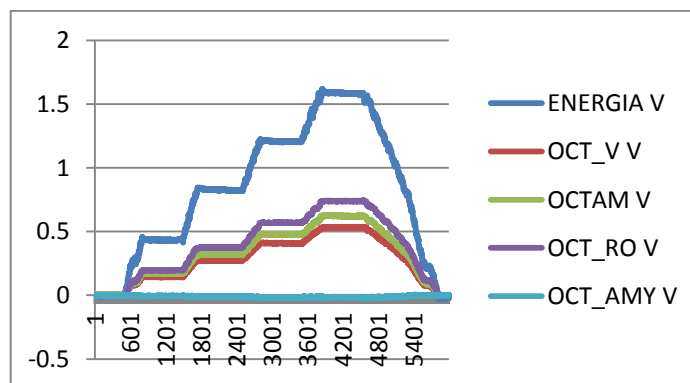


Figura 4.7.2.1. Sensores integrales puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.79 metros.

En el cuadro (4.7.2.) se puede observar los datos de las pruebas realizadas en el laboratorio con los sensores, octagonal rojo, octagonal amarillo, octagonal verde y el octagonal de energía, teniendo un arreglo de puentes completos y con la fuerza concentrada a la distancia de 0.79 metros del (EIIM).

Figura 4.7.2. Datos de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.79 metros.

# Repetición	Octagonal rojo	Promedio OV + OA	Energía (N)	(Promedio (OV+OA))/Energía (N)
I	3342	2562	2044	1.25
	6951	5362	4114	1.30
	9423	7251	5598	1.30
	12643	9701	7329	1.32
II	3487	2734	2044	1.34
	9278	5367	4114	1.30
	9532	7381	5598	1.32
	12748	9762	7329	1.33
III	3335	2653	2044	1.30
	6774	5318	4114	1.29
	9612	7440	5598	1.33
	11932	9337	7329	1.27
IV	3385	2701	2044	1.32
	6784	5366	4114	1.30
	9559	7454	5598	1.33
	12353	9606	7329	1.31
V	3427	2655	2044	1.30
	6769	5233	4114	1.27
	9620	7399	5598	1.32
	12161	9470	7329	1.29
Media de la proporción				1.306
Proporción mayor (O. V + O. A)/O. E				1.337
Proporción menor (O. V + O. A)/O. E				1.253
Desviación estándar de la proporción				0.022
Coeficiente de variación de la proporción				1.703 %

4.7.3. Pruebas concentradas a distancia de 0.59 m con los 3 octagonales amarillo, rojo, energía y un dinamómetro axial

En la Figura (4.7.3) se puede observar las fuerzas escalonadas cuando los sensores, octagonal rojo, octagonal amarillo, octagonal de energía y dinamómetro axial están en puentes completos y la fuerza está concentrada a la distancia de 0.59 m del (EIIM).

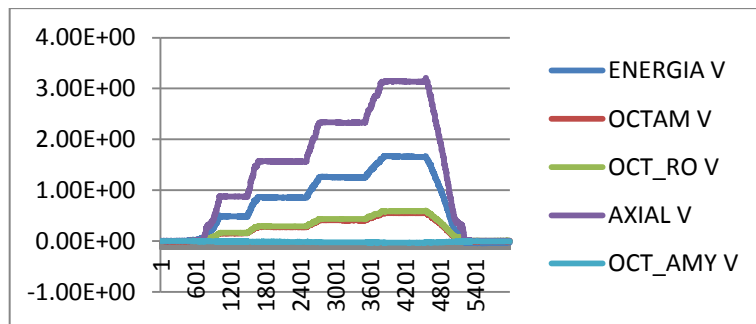


Figura 4.7.3. Sensor integral cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.59 metros.

En el cuadro 4.7.3 se pueden observar las fuerzas registradas de los tres octagonales y un axial a una distancia de 0.59 m con puentes completos.

Cuadro 4.7.3. Pruebas concentradas a la distancia de 0.59 m con 3 octagonales (amarillo, rojo y energía) y un dinamómetro axial.

# De Rep.	O. E (N)	O. A (N)	O. R (N)	Axial (N)
I	2254	2551	2734	2243
	4092	4761	5052	4108
	5718	6727	7171	5822
	7386	8880	9468	7669
II	2254	2581	2776	2168
	4092	4805	5081	4079
	5718	6902	7410	5974
	7386	8868	9433	7757
III	2254	2690	2796	2198
	4092	4791	4964	4025
	5718	6741	7166	5913
	7386	8802	9371	7671
IV	2254	2589	2732	2209

	4092	4787	5040	4094
	5718	6724	7190	5918
	7386	8806	9391	7730
V	2254	2616	2689	2170
	4092	4878	5153	4145
	5718	6878	7411	6010
	7386	8842	9451	7786

4.7.4. Pruebas concentradas a la distancia de 0.79 m con los 3 octagonales amarillo, rojo, energía y un dinamómetro axial

En la Figura (4.7.4) se puede observar las fuerzas escalonadas cuando los sensores, octagonal rojo (Fx), octagonal amarillo (Fx), octagonal amarillo (Fy), octagonal de energía (Fx) y dinamómetro axial (Fx) están en puentes completos y la fuerza está concentrada a la distancia de 0.79 m.

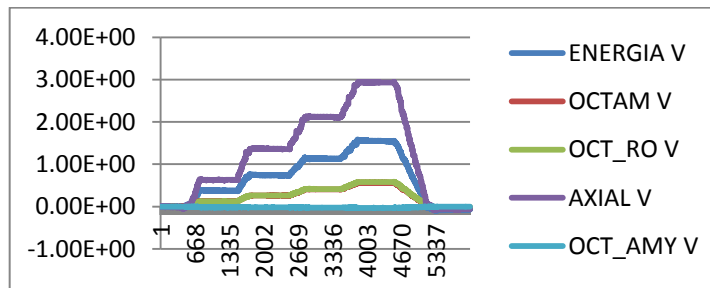


Figura 4.7.4. Sensores Integrales cuando está en puente completos y la fuerza concentrado a la distancia de 0.79 metros.

En el cuadro 4.7.4 se puede observar las fuerzas registradas en la prueba de 3 octagonales y un dinamómetro axial a una distancia de 0.79 m.

Cuadro 4.7.4. Pruebas concentradas a distancia de 0.79 m con 3 octagonales (amarillo, rojo y energía) y un dinamómetro axial.

# De Rep.	O. E (N)	O. A (N)	O. R (N)	Axial (N)
I	2254	2794	2868	2247
	4092	5198	5525	4277
	5718	7287	7762	5861
	7386	9568	10247	7746

II	2254	2785	2713	2075
	4092	5182	5327	4159
	5718	7399	7559	5862
	7386	9661	10042	7670
III	2254	2837	2832	2189
	4092	5224	5371	4211
	5718	7390	7635	6077
	7386	9666	10090	7795
IV	2254	2900	3019	2327
	4092	5231	5460	4216
	5718	7458	7795	6088
	7386	9626	10073	7760
V	2254	2836	2923	2273
	4092	5245	5498	4286
	5718	7409	7802	6101
	7386	9623	10176	8099

4.8. Proporcionalidad que existe en el marco de calibración del sensor integral, entre el octagonal de energía y el promedio del octagonal verde con el octagonal amarillo. A una distancia de 0.59 metros

En la Figura 4.8.1 se puede observar el comportamiento del promedio del octagonal verde + amarillo con respecto al octagonal de energía a una distancia de 0.59 m.

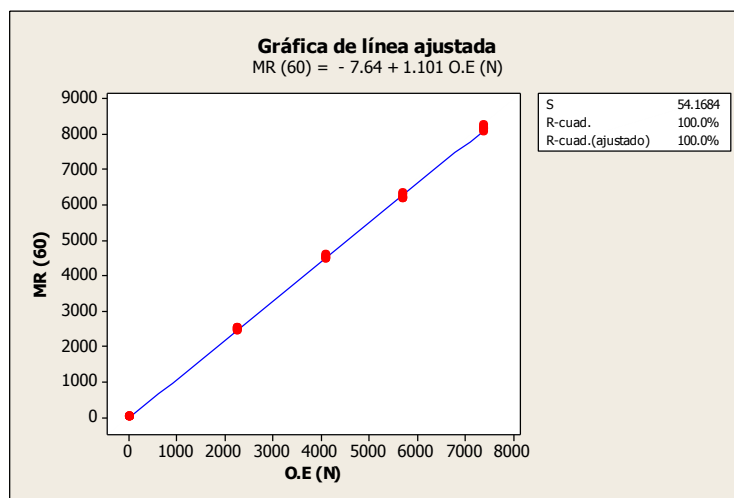


Figura 4.8.1. Gráfica de momento resultante vs octagonal de energía a una distancia de 0.59 m.

En la Figura 4.8.2 se puede observar la proporcionalidad que existe entre el promedio del octagonal amarillo + octagonal verde vs octagonal de energía.

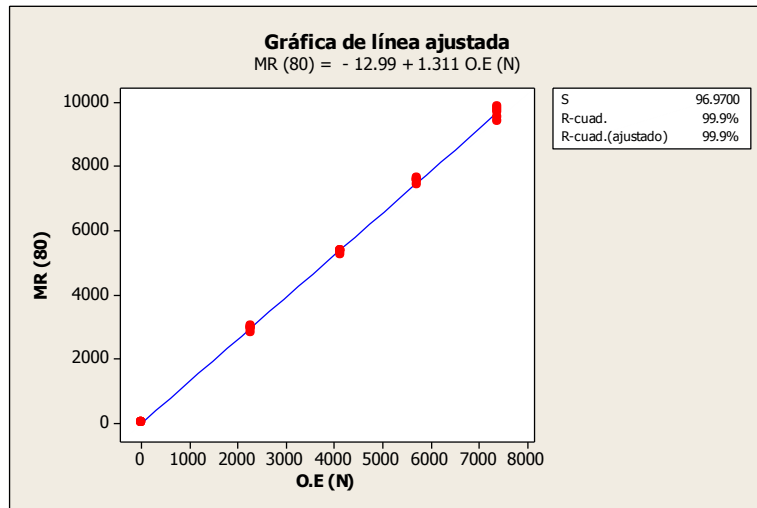


Figura 4.8.2. Gráfica del momento resultante vs octagonal de energía a una distancia de 0.79 m.

4.9. Proporcionalidad que existe en el marco de calibración del sensor integral, entre el octagonal de energía y el axial a diferentes distancias

En la Figura 4.9.1 se puede observar la proporcionalidad que existe entre el octagonal de energía vs axial a una distancia de 0.59 m.

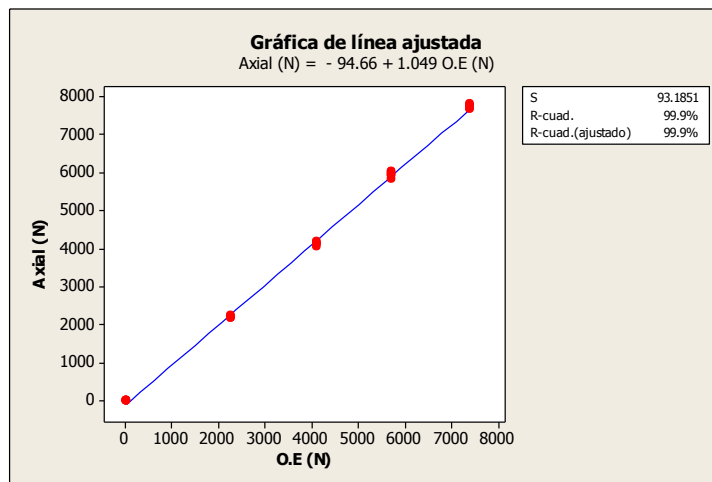


Figura 4.9.1. Gráfica de curva de ajuste del dinamómetro axial vs octagonal de energía a una distancia de 0.59 m.

En la Figura 4.9.2 se puede apreciar que el dinamómetro axial en distancias diferentes (0.79 m) sensando el mismo valor que el octagonal de energía.

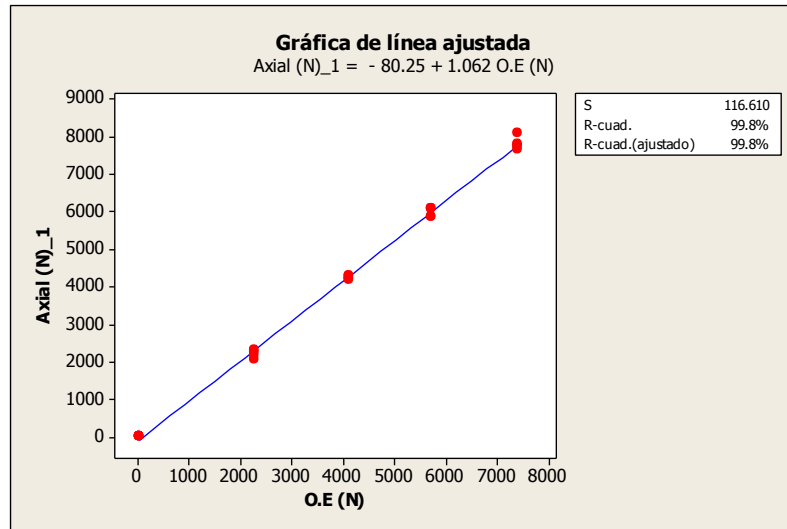


Figura 4.9.2. Gráfica de axial vs octagonal de energía a una distancia de 0.79 m.

4.10. Proporcionalidad obtenida en laboratorio con el dinamómetro de energía y axial

Los datos obtenidos en laboratorio se presentan en el cuadro 4.10.1 que corresponde a la distancia de 0.59 m. en la columna 6 referente a las siglas M2 es el momento producido por la distancia y la fuerza ejercida en dinamómetro de energía, la columna 7 con las siglas MR indica el momento resultante que es igual al promedio de la señal producida por el octagonal verde más el octagonal amarillo y las siglas M2 = al momento dos que es el despeje de la formula $M2 = \sqrt{MR^2 - M1^2}$ con los datos ya obtenidos (diagrama en apéndice E).

Cuadro 4.10.1. Se muestra los datos obtenidos del marco de calibración del transductor integral 0.59 m, la media de la proporción como su coeficiente de variación.

# Rep.	O. E (N)	Distancia (S)	O. R (N)	Axial (N)	M1 (N)	MR (N)	M2 (N)	Proporción (Axial/OE)
I	2254	0.59	2868	2243	1330	2530	2152	1.00
	4114	0.59	5297	4130	2427	4556	3855	1.00
	5718	0.59	7323	5822	3374	6333	5359	1.02
	7386	0.59	9383	7669	4358	8167	6907	1.04
II	2254	0.59	2792	2168	1330	2436	2041	0.96
	4114	0.59	5205	4101	2427	4494	3782	1.00

	5718	0.59	7122	5974	3374	6184	5182	1.04
	7386	0.59	9481	7757	4358	8137	6872	1.05
III	2254	0.59	2815	2198	1330	2499	2116	0.98
	4114	0.59	5284	4046	2427	4580	3884	0.98
	5718	0.59	7161	5913	3374	6194	5194	1.03
	7386	0.59	9640	7671	4358	8260	7017	1.04
IV	2254	0.59	2786	2209	1330	2443	2049	0.98
	4114	0.59	5197	4116	2427	4491	3779	1.00
	5718	0.59	7071	5918	3374	6205	5208	1.03
	7386	0.59	9461	7730	4358	8163	6902	1.05
V	2254	0.59	2831	2170	1330	2462	2072	0.96
	4114	0.59	5172	4167	2427	4526	3820	1.01
	5718	0.59	7326	6010	3374	6303	5324	1.05
	7386	0.59	9253	7786	4358	8061	6781	1.05
Proporción mayor entre (O. E/axial)								1.050
Proporción menor entre (O. E/axial)								0.960
Media de la proporción								1.014
Desviación estándar de la proporción								0.031
Coeficiente de variación de la proporción								3.054 %

Los datos obtenidos en laboratorio se presentan en el cuadro (4.10.2) que corresponde a la distancia de 0.79 metros en la columna 6 referente a las siglas M2 es el momento producido por la distancia y la fuerza ejercida en dinamómetro de energía, la columna 7 con las siglas MR indica el momento resultante que es igual al promedio de la señal producida por el octagonal verde más el octagonal amarillo y las siglas M2 = al momento dos que es el despeje de la formula $M2 = \sqrt{MR^2 - M1^2}$ con los datos ya obtenidos.

Cuadro 4.10.2. Se muestra los datos obtenidos del marco de calibración del transductor integral a una distancia de 0.79 m, la proporción que existe entre el octagonal de energía y el dinamómetro axial, como la media, desviación estándar y el coeficiente de variación de la proporción.

# Rep.	O. E (N)	Distancia (S)	O. R (N)	Axial (N)	M1 (N)	MR (N)	M2 (N)	Proporción
I	2254	0.79	3685	2247	1781	2825	2193	1.00
	4114	0.79	6951	4300	3250	5362	4265	1.05
	5718	0.79	9625	5861	4517	7407	5870	1.03
	7386	0.79	12741	7746	5835	9776	7844	1.05
II	2254	0.79	3845	2075	1781	3014	2432	0.92
	4114	0.79	9278	4182	3250	5367	4272	1.02
	5718	0.79	9737	5862	4517	7539	6036	1.03
	7386	0.79	12848	7670	5835	9838	7921	1.04
III	2254	0.79	3678	2189	1781	2925	2321	0.97
	4114	0.79	6774	4233	3250	5318	4209	1.03
	5718	0.79	9818	6077	4517	7599	6111	1.06
	7386	0.79	12024	7795	5835	9410	7382	1.06
IV	2254	0.79	3733	2327	1781	2979	2388	1.03
	4114	0.79	6784	4239	3250	5366	4270	1.03
	5718	0.79	9764	6088	4517	7613	6128	1.06
	7386	0.79	12449	7760	5835	9681	7725	1.05
V	2254	0.79	3779	2273	1781	2928	2324	1.01
	4114	0.79	6769	4309	3250	5233	4101	1.05
	5718	0.79	9827	6101	4517	7558	6059	1.07
	7386	0.79	12255	8099	5835	9544	7552	1.10
Proporción mayor entre (O. E/axial)								1.10
Proporción menor entre (O. E/axial)								0.92
Media de la proporción								1.03
Desviación estándar								0.03
Coeficiente de variación								3.67 %

Los dos cuadros anteriores indican que las magnitudes de las fuerzas de reacción detectadas por el sensor axial en Ra y Rb no se ven afectadas por el momento de la carga aplicada del sensor de energía.

4.11. Evaluación de transductor integral en campo

Se analizaron diferentes tipos de arreglos, los cuales se contrastan con la fuerza demandada de cada uno de ellos por medio del transductor integral, como también su espectro que genera en el estado dinámico del transductor integral. En el anexo (D) se encuentran todos los análisis espectrales de los quince arreglos que se generaron en campo.

En la Figura 4.11.1 se muestran las evaluaciones del cincel cuando tiene un arreglo de 3 cinceles a una profundidad de 0.30 metros.



Figura 4.11.1 Evaluación en campo con el arreglo de tres cinceles a una profundidad de 0.30 metros.

En la Figura 4.11.2 se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico con un arreglo de 2 frontales (0.20 m) 1 trasero (0.30 m) de profundidad.

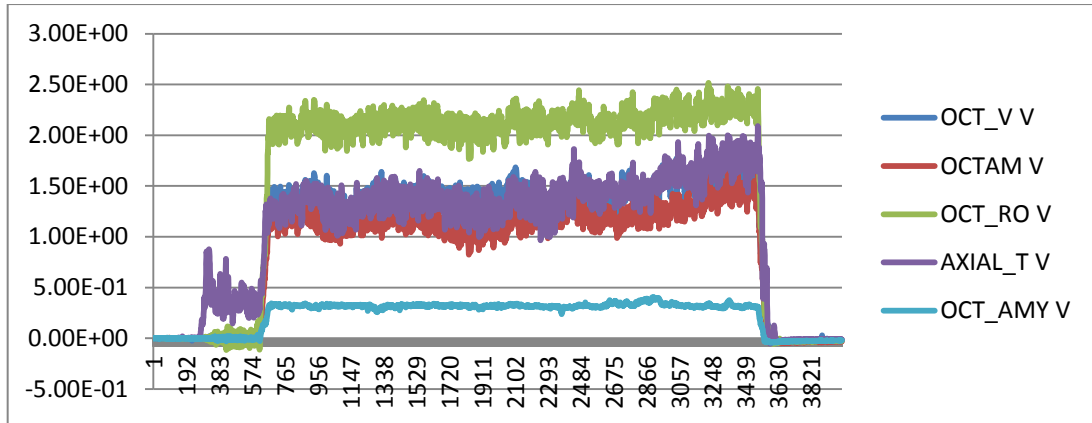


Figura 4.11.2. Sensor Integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro 4.11.1 se presenta el análisis espectral del arreglo, 2 frontales (0.20 metros) 1 trasero (0.30 metros) de profundidad para cada uno de los dinamómetros en (Fx).

Cuadro 4.11.1. Se muestra el espectro (V), la media (V), y la suma de la media con el espectro (V) y la multiplicación de cada uno de los dinamómetros con su respectiva constante (kN) de los dinamómetros en estado dinámico.

# rep.	O. Verde (Fx)				O. Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.51	0.1	1.6	24.96	1.26	0.06	1.32	20.54
2	1.55	0.11	1.66	25.78	1.32	0.12	1.44	22.41
3	1.52	0.05	1.57	24.45	1.26	0.06	1.33	20.65
4	1.6	0.07	1.67	25.98	1.33	0.05	1.37	21.39
5	1.46	0.09	1.55	24.14	1.23	0.06	1.29	20.07
6	1.48	0.09	1.57	24.39	1.24	0.06	1.29	20.14
7	1.62	0.05	1.67	26.05	1.4	0.07	1.47	22.87
8	1.52	0.05	1.57	24.35	1.26	0.06	1.32	20.48
# Rep.	O. Rojo (Fx)				Axial (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	2.23	0.07	2.3	35.74	1.55	0.1	1.65	17.45
2	2.24	0.06	2.3	35.77	1.59	0.25	1.84	19.46
3	2.24	0.04	2.28	35.5	1.56	0.06	1.62	17.16
4	2.33	0.05	2.38	37.02	1.63	0.05	1.68	17.78

5	2.21	0.06	2.27	35.38	1.41	0.08	1.49	15.75
6	2.21	0.06	2.27	35.28	1.43	0.08	1.51	15.98
7	2.25	0.04	2.29	35.66	1.79	0.14	1.93	20.35
8	2.24	0.04	2.28	35.55	1.62	0.09	1.71	18.07

4.12. Determinación del perfil para el arreglo 2 frontales a 0.20 m y un trasero a 0.30 m. En el anexo (E) se encuentra todos los perfiles hechos para el arreglo antes mencionado

En el cuadro 4.12.1 se puede apreciar el perfil de la primera repetición de arreglo ya mencionado, su media de los datos del perfil, como las dimensiones de cada uno de los perfiles.

Cuadro 4.12.1. Perfil obtenido de la primera repetición para el arreglo, 2 frontales a 0.20 m y 1 trasero a 0.30 m.

Muestra de la primera repetición					
30 m			60 m		
Longitud (cm)	Área (cm ²)	Área total (cm ²)	Longitud (cm)	Área cm ²	Área total (cm ²)
2.3	63.0	1816	1.8	45.5	1974
10.3	125.5		7.3	115.5	
14.8	177.0		15.8	206.0	
20.6	203.0		25.4	242.0	
20.0	221.0		23	249.0	
24.2	286.0		26.8	299.0	
33.0	257.0		33.0	295.0	
18.4	192.0		26.0	251.0	
20.0	185.0		24.2	186.0	
17.0	106.5		13.0	85.0	
4.3			4.0		

En el cuadro 4.12.1 se puede apreciar las medias de todos los perfiles hechos para el arreglo ya antes mencionado, como también la media general de todas las medias.

En la Figura 4.12.1 se puede observar el perfil obtenido mediante el paso del implemento con el arreglo 2 frontales 0.20 metros 1 trasero a 0.30 metros.

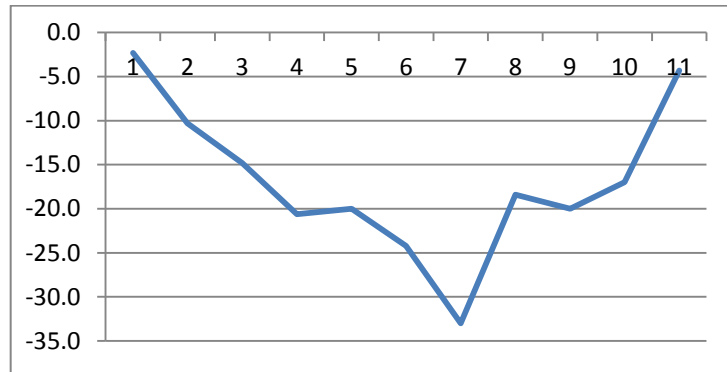


Figura 4.12.1. Perfil obtenido en campo con el arreglo 2 frontales 0.20 metros 1 trasero 0.30 metros.

En el cuadro 4.12.2 se puede apreciar las áreas de las repeticiones hechas con el perfilometro, como también la media de las mismas.

Cuadro 4.12.2. Se muestra las áreas de las repeticiones hechas con el perfilometro, como también la media de todas las áreas.

Repetición	Área (cm ²)	Estadística de todas las áreas y repeticiones	
1	1895		
2	2254		
3	2165		
4	1971	Área mayor	2277
5	2277	Área menor	1765
6	1905	Media del área	2019
7	1918	Desviación Estándar	188
8	1765	Coefficiente de variación	9.33 %

4.13 Proporcionalidad obtenida en campo

Los datos obtenidos en campo se presentan en el cuadro 4.13.1, se puede observar la proporcionalidad que existe entre el promedio del octagonal verde más el octagonal amarillo vs dinamómetro axial en el arreglo 2 frontales (0.20 metros) 1 trasero (0.30 metros).

Cuadro 4.13.1. Proporcionalidad que existe entre el promedio del octagonal verde mas el octagonal amarillo versus axial.

# Rep.	2 frontales (0.20 m) 1 trasero (0.30 m)		Proporción
	Axial (kN)	(O. V + O. A)/2 (kN)	
1	17.45	22.8	1.30
2	19.46	24.1	1.24
3	17.16	22.6	1.31
4	17.78	23.7	1.33
5	15.75	22.1	1.40
6	15.98	22.3	1.39
7	20.35	24.5	1.20
8	18.07	22.4	1.24
Proporción mayor			1.400
Proporción menor			1.200
Media de la proporción			1.300
Desviación Estándar			0.071
Coeficiente de variación			5.33 %

Esta proporción del comportamiento del sensor integral bajo condiciones de campo, es idéntico (1.30) al obtenido bajo condiciones de laboratorio cuando el equipo fue sometido a cargas escalonados a una profundidad del cincel de 0.79 metros. Lo que significa que el equipo integral predice el comportamiento del equipo bajo condiciones de campo en más de un 95%. La diferencia se debe al coeficiente de variación entre las dos condiciones, una de 1.7 la otra de 5.3 % bajo condiciones de laboratorio y campo respectivamente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluyó satisfactoriamente con la evaluación del transductor integral ya que los dinamómetros tanto individuales, como integrales tienen un alto grado de linealidad, del 99%.

El transductor integral tiene una respuesta muy significativa tanto, con dinamómetro axial, como los dinamómetros octagonales extendidos, así también el momento ejercido por la reacción del suelo no se distribuye equitativamente en los octagonales verde y amarillo, si no que es un momento unitaria por cada uno de ellos.

El coeficiente de variación en campo para el transductor integral oscila entre el 5 y el 6% lo cual nos indica que es un aparato eficiente para la evaluación en campo.

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. Afzalinia S.; Roberge M. ; 2009. An Extended Octagonal Ring.Transducer for the Compression Chamber of a Large Square Baler, J. Agr. Sci. Tech. Vol. 11: 377-389
3. Al-Jalil, H.F., Khdair, A. and Mukahal, W. (2001). Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer. Soil and TillageResearch 62: 153-156.
4. Arcos S., E.; Laurel O. H.; 1997 diseño de un dinamómetro para medición de fuerzas en el enganche de tres puntos del tractor. Memorias VII congreso nacional de ingeniería agrícola. Buenavista Saltillo, Coahuila.
5. Bonifaz C., A.; 2010 Sensor de monitoreo de fuerza e implementos de labranza. Memorias XIX congreso nacional de ingeniería agrícola. UAAAN. Buenavista Saltillo, Coahuila.
6. Campos M., S.G.1993. Development of minimum maize planter for Mexican agriculture, unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.
7. Campos, M., S.; Wills, B.; Cadena Z., M; 1992. Consideraciones para el diseño de transductores octogonales y su aplicación en la evaluación de

implementos de labranza. Memorias del II congreso nacional de ingeniería agrícola (AMIA). Irapuato, Gto., México

8. 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.
9. Cooper, William D.; Helfrick, Albert D. 1991 Instrumentación electronic moderna y técnicas de medición.
10. 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.
11. Gere, J. M.; Timoshenko, S. P. 1997. Mecánica de materiales Edit. International Thomson, México.
12. 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.
13. 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).
14. Hinojosa G., M.; 2003. Desarrollo de un transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales en tractores categoría II basado en el diseño octagonal extendida, tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.

15. Hoag, D.L.,R.R. Yoerger 1974. Desingnig load rings for measurement. Transactions of de ASAE 17(2):251-253,261.
16. Hoag, D.L.,R.R. Yoerger 1975. Analysis and desing of load rings. Transactions of the ASAE 18(6):995-999.
17. Hunt, D.,1983. Maquinaria agrícola. Edición Limusa.
18. Kepner, R. A., Barger, E:L: 1978 Principles of Farm Machinery. Third Edition, The AVI Publishig Company, Inc Connecticut.
19. Marín, O. L. 2003. Desarrollo de un Transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales a tractores categoría II “Basado en el diseño de vigas sometidas a esfuerzos flexionantes y Torsionantes”, tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.
20. 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
21. Neuholff, L. A. 1959. Measuring Force in Two or More Members With One Instrument. *Agricultural Engineering* 40(August): 456-457.
22. Ochoa, J. G., 2002. Manual de prueba y evaluación de arados CENEMA Chapingo, México.

23. Ozuna, G. C. A.; 2011. Evaluación de un transductor integral de fuerza bajo condiciones de campo, tesis, licenciatura, universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila
24. Ramos, R. O. N.; 2010. Desarrollo de un transductor integral para determinar la Magnitud de las fuerzas que actúan en los implementos de labranza., tesis, licenciatura, universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.
25. Varela, V. S.; 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y dibujos de patentes. Instituto tecnológico de Veracruz.
26. Vaughan J.; 1975. Application of B & K Equipment to Strain Measurements.

VII. ANEXOS

Anexo A

Características del material a usar:

$$\begin{aligned} E &= 205 \text{ GPa} & \sigma_y &= 440 \text{ MPa.} & F_s &= 3 & FG &= 2.11 \\ M &= 32 \text{ kN} & b &= 0.077 & mT &= 0.0498\text{m} \\ \sigma_o &= 440 \times 10^6 / 3 = 146.6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

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

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

$$S = \frac{(176 \times 10^6)(0.0762)(0.028^2)}{30000}$$

El momento sensitivo es: 0.8748

Entonces se tiene:

$$\varepsilon = \frac{S}{(E)(b)(t^2)} \quad \text{Sustituyendo valores tenemos:}$$

$$\varepsilon = \frac{(.3505)}{(205 \times 10^9)(0.0762)(0.028^2)}$$

$$\varepsilon = 2.866195 \times 10^{-8}$$

Anexo B

Construcción (pegado de galgas y cableado de los dinamómetros)

1. Primeramente se mandó 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 B1.



Figura B1. 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 tomó en cuenta los puentes Wheatstone para poder después colocar el cableado y facilitar su conexión, como se muestran en la Figura B2, para las galgas 4 y 5 se

tomó en cuenta el ángulo citado en la tabla 2.5, que es donde se encontraba el mayor esfuerzo.

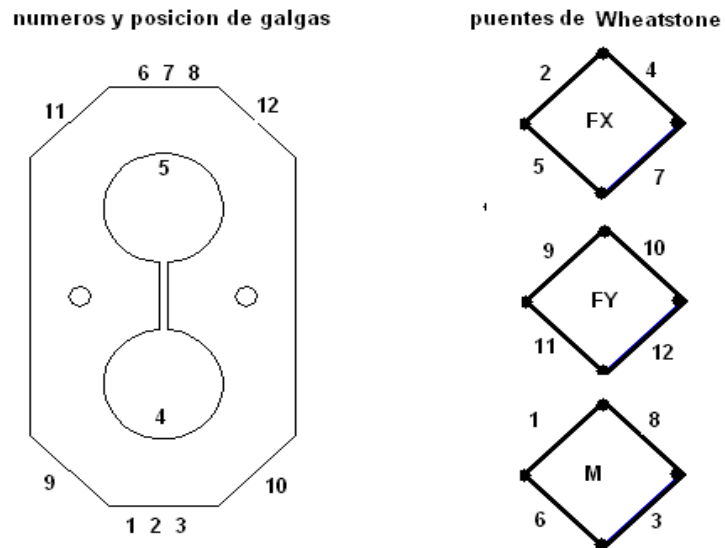


Figura B2. Numeración y posición de galgas según puente de Wheatstone.

- 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 B3.

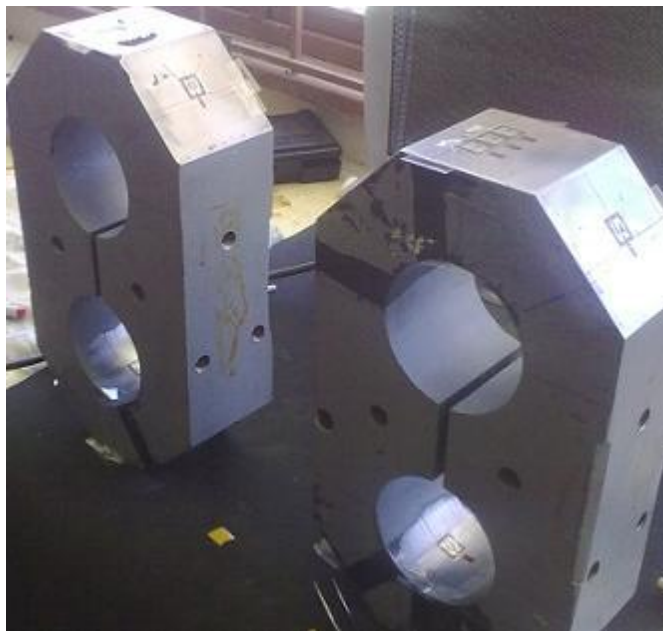


Figura B3. Galgas Extensiométricas colocadas en el sensor octagonal.

- 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 B4.



Figura B4. Proporcionando calor a los octagonales.

- Se procede a checar en 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.

7. Tabla B1. 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 B5.



Figura B5. 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 aún más las galgas y colocarlos en la estructura flotante como se muestra en la figura B6.



Figura B6. Estructura flotante con octagonales.

Anexo C

Análisis espectral con diferentes tipos de arreglo.

Arreglo de 1 cincel trasero ala grande

En la Figura (C1) se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico.

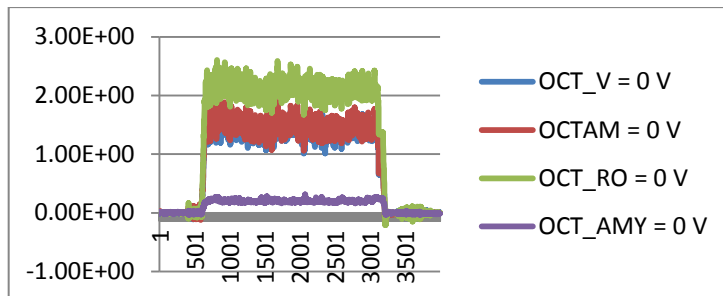


Figura (C1). Sensor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro (C1) se presenta el análisis espectral de arreglo 1 cincel trasero alas grandes para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro (C1). Se observa el análisis espectral y la media de la onda de cada uno de los dinamómetros que conforman al dinamómetro integral (Octagonal rojo Fx, Octagonal amarillo Fx, Fy, Octagonal verde y axial), en el arreglo de 1 cincel trasero ala grande.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.43	0.04	1.47	22.98	1.54	0.08	1.63	25.37
2	1.45	0.05	1.50	23.36	1.59	0.09	1.68	26.24
3	1.41	0.04	1.45	22.71	1.54	0.04	1.58	24.67
4	1.40	0.04	1.44	22.42	1.47	0.03	1.51	23.49
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.23	0.020	0.25	13.67	2.17	0.04	2.22	34.57
2	0.24	0.05	0.30	16.37	2.20	0.06	2.27	35.47
3	0.22	0.01	0.23	12.90	2.16	0.04	2.20	34.31
4	0.20	0.00	0.20	11.30	2.11	0.03	2.15	33.62

Arreglo de 1 cincel trasero ala mediana

En la Figura (C2) se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico con un arreglo de 1 cincel trasero ala mediana.

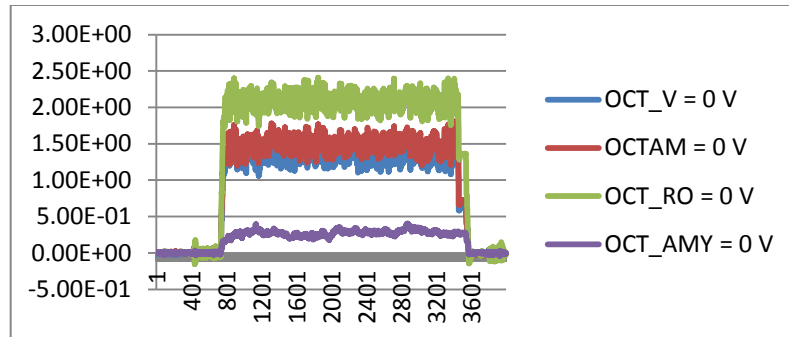


Figura C2. Sensor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro (C2) se presenta el análisis espectral de arreglo 1 cincel trasero alas medianas para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro (C2). Se presenta el análisis espectral de arreglo de 1 cincel trasero alas medianas para cada uno de los dinamómetros.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.37	0.03	1.40	21.81	1.48	0.03	1.51	23.64
2	1.41	0.03	1.45	22.66	1.51	0.05	1.56	24.40
3	1.45	0.04	1.50	23.43	1.55	0.05	1.61	25.06
4	1.33	0.03	1.37	21.38	1.48	0.02	1.51	23.53
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.26	0.02	0.28	15.62	2.10	0.03	2.13	33.31
2	0.22	0.01	0.23	12.95	2.16	0.04	2.20	34.40
3	0.23	0.02	0.26	14.38	2.20	0.06	2.26	35.20
4	0.28	0.03	0.31	17.01	2.08	0.02	2.11	32.95

Arreglo 2 Traseros alas grandes

En la Figura (C3) se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico con un arreglo de 2 traseros alas grandes.

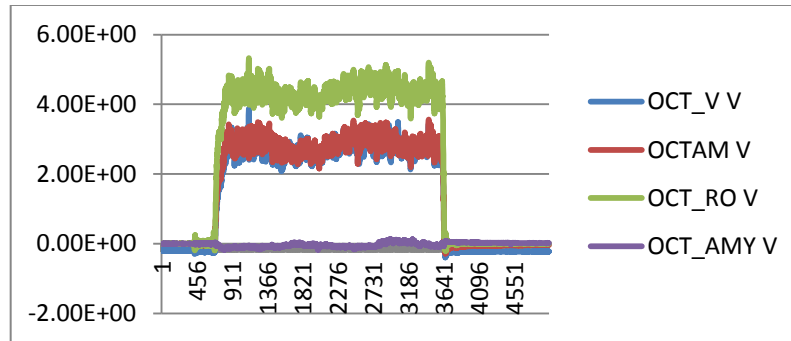


Figura (C3). Sensor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro (C3) se presenta el análisis espectral de arreglo 2 traseros alas grandes para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro (C3). Se presenta el análisis espectral de arreglo de 2 traseros alas grandes para cada uno de los dinamómetros.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	2.97	0.12	3.09	48.18	2.85	0.16	3.01	46.98
2	2.83	0.07	2.91	45.39	2.66	0.09	2.76	42.97
3	2.97	0.17	3.14	48.95	2.89	0.16	3.06	47.69
4	2.67	0.10	2.78	43.26	2.68	0.05	2.74	42.63
5	2.80	0.10	2.91	45.37	2.84	0.19	3.03	47.19
6	2.94	0.11	3.05	47.48	2.84	0.13	2.98	46.41
7	2.59	0.30	2.90	45.15	2.61	0.29	2.91	45.34
8	2.74	0.06	2.80	43.72	2.80	0.11	2.91	45.39
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.04	0.06	0.10	5.64	4.36	0.14	4.51	70.27
2	0.02	0.03	0.06	3.29	4.14	0.07	4.22	65.74
3	0.09	0.04	0.13	7.44	4.37	0.23	4.60	71.66
4	0.07	0.01	0.09	5.03	4.07	0.05	4.12	64.27
5	0.10	0.01	0.12	6.80	3.76	0.22	3.98	62.12
6	0.20	0.18	0.39	21.31	4.31	0.13	4.44	69.24

7	0.02	0.02	0.05	2.95	3.95	0.40	4.36	67.93
8	0.04	0.02	0.07	3.82	4.19	0.10	4.29	66.94

Arreglo 2 traseros alas medianas (30 cm de profundidad)

En la figura (C4) se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico con un arreglo de 2 traseros alas medianas.

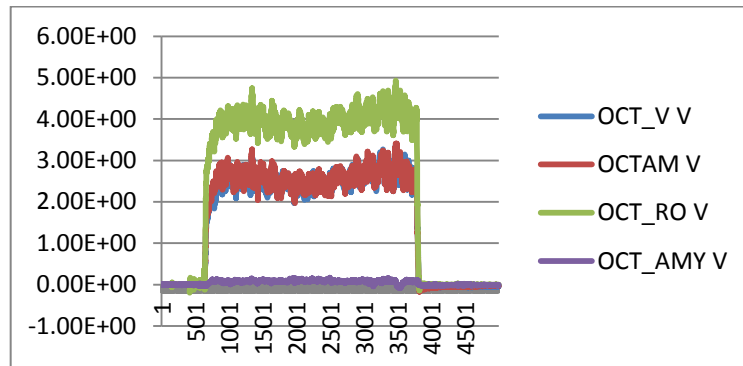


Figura (C4). Sensor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En la tabla (C4) se presenta el análisis espectral de arreglo 2 traseros alas medianas para cada uno de los dinamómetros.

Tabla (C4). Se presenta el análisis espectral de arreglo de 2 traseros alas medianas para cada uno de los dinamómetros.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	2.54	0.17	2.71	42.23	2.58	0.17	2.75	42.91
2	2.47	0.05	2.53	39.40	2.51	0.08	2.59	40.37
3	2.58	0.24	2.81	43.79	2.60	0.10	2.70	41.98
4	2.44	0.07	2.50	38.92	2.47	0.07	2.54	39.60
5	2.41	0.05	2.46	38.30	2.43	0.05	2.48	38.55
6	2.58	0.13	2.71	42.18	2.67	0.14	2.82	43.80
7	2.54	0.07	2.61	40.63	2.48	0.11	2.59	40.30
8	2.60	0.22	2.82	43.81	2.55	0.19	2.74	42.71
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media	Espectro	M + E	M + E *K	Media	Espectro	M + E	M + E *K

	(V)	(V)	(V)	(kN)	(V)	o (V)	(V)	(kN)
1	0.09	0.02	0.10	5.65	3.98	0.19	4.18	65.02
2	0.07	0.01	0.09	4.67	3.86	0.05	3.92	61.03
3	0.09	0.01	0.10	5.30	3.98	0.19	4.17	64.92
4	0.06	0.02	0.09	4.62	3.80	0.06	3.86	60.04
5	0.10	0.03	0.13	7.10	3.75	0.06	3.81	59.32
6	0.10	0.02	0.12	6.54	4.00	0.14	4.14	64.43
7	0.07	0.02	0.09	4.68	3.86	0.08	3.94	61.41
8	0.06	0.02	0.08	4.46	3.95	0.21	4.16	64.84

Arreglo 2 Trasero alas chicas (0.30 metros de profundidad)

En la Figura (C5) se puede observar el comportamiento del dinamómetros integral, en un estado dinámico con un arreglo de 2 trasero alas chicas a 0.30 metros de profundidad.

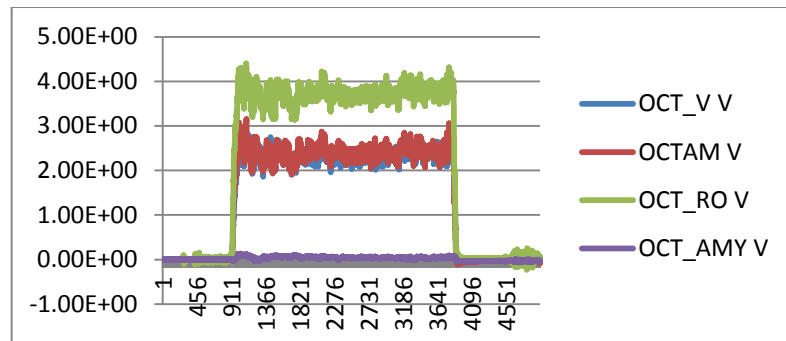


Figura (C5). Sensor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

Tabla (C5). Se presenta el análisis espectral de arreglo, 2 trasero alas pequeñas para cada uno de los dinamómetros.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	2.21	0.07	2.27	35.37	2.53	0.12	2.65	41.17
2	2.44	0.08	2.52	39.20	2.55	0.08	2.63	40.92
3	2.52	0.20	2.72	42.32	2.53	0.15	2.68	41.77
4	2.29	0.06	2.35	36.54	2.32	0.05	2.38	37.00
5	2.32	0.05	2.37	36.84	2.39	0.07	2.46	38.23
6	2.50	0.13	2.64	41.02	2.48	0.12	2.60	40.40

7	2.37	0.13	2.50	38.84	2.40	0.11	2.51	38.99
8	2.41	0.09	2.50	38.92	2.43	0.06	2.49	38.79
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.07	0.01	0.08	4.11	3.69	0.10	3.79	59.00
2	0.05	0.03	0.08	4.41	3.84	0.10	3.94	61.30
3	0.08	0.02	0.10	5.19	3.91	0.18	4.09	63.65
4	0.05	0.01	0.06	3.25	3.60	0.05	3.65	56.83
5	0.04	0.01	0.06	3.09	3.71	0.07	3.78	58.86
6	0.06	0.01	0.07	3.65	3.88	0.15	4.03	62.76
7	0.04	0.01	0.05	2.51	3.71	0.15	3.85	60.02
8	0.04	0.03	0.07	3.78	3.77	0.07	3.84	59.77

Arreglo 2 frontales 1 trasero ala grande

En la Figura (C6) se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico con un arreglo de 2 frontales 1 trasero ala grande.

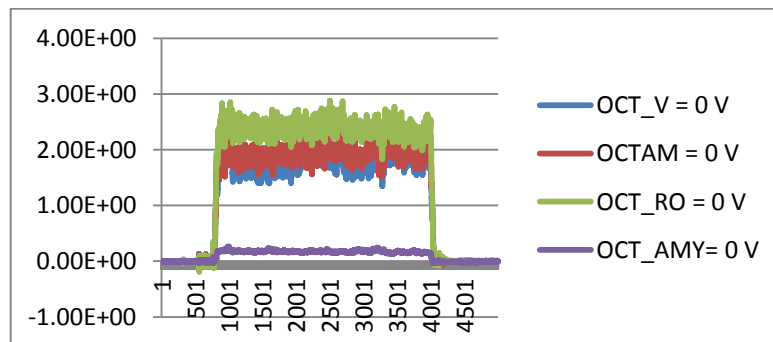


Figura (C6). Sensor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En la tabla (C6) se presenta el análisis espectral de arreglo, 2 frontales 1 trasero ala grande para cada uno de los dinamómetros.

Tabla (C6). Se presenta el análisis espectral de arreglo de 2 frontales 1 trasero ala grande.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.65	0.06	1.72	26.70	1.80	0.05	1.84	28.69
2	1.69	0.08	1.77	27.48	1.76	0.05	1.82	28.27
3	1.78	0.06	1.84	28.61	1.86	0.05	1.91	29.74
4	1.68	0.05	1.73	26.88	1.76	0.08	1.85	28.75
5	1.65	0.04	1.69	26.31	1.77	0.03	1.81	28.12
6	1.85	0.07	1.92	29.88	1.97	0.03	1.99	31.04
7	1.76	0.07	1.83	28.44	1.89	0.06	1.94	30.24
8	1.78	0.12	1.90	29.50	1.93	0.04	1.97	30.72
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.17	0.01	0.18	9.74	2.32	0.05	2.37	36.98
2	0.17	0.01	0.18	9.82	2.30	0.07	2.37	36.97
3	0.17	0.01	0.18	9.86	2.37	0.07	2.44	38.05
4	0.18	0.01	0.19	10.17	2.32	0.09	2.42	37.62
5	0.20	0.02	0.22	11.76	2.30	0.05	2.35	36.59
6	0.17	0.01	0.18	9.74	2.48	0.06	2.54	39.61
7	0.18	0.01	0.20	10.67	2.35	0.07	2.42	37.64
8	0.18	0.01	0.19	10.22	2.39	0.04	2.43	37.86

Arreglo 2 frontales 1 trasero ala mediana

En la Figura (C7) se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico con un arreglo de 2 frontales 1 trasero ala mediana.

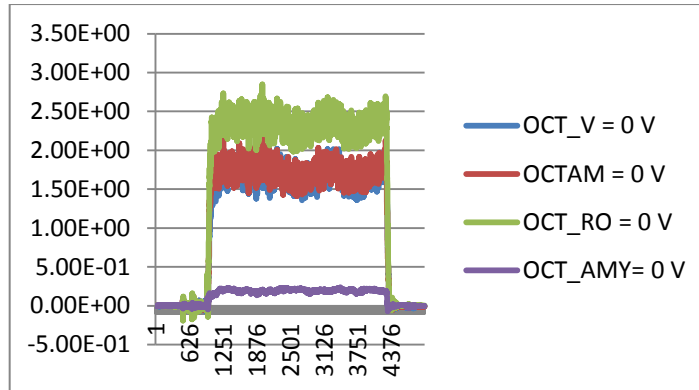


Figura (C7). Sensor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro (C7) se presenta el análisis espectral de arreglo, 2 frontales 1 trasero ala mediana para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro (C7). Se presenta el análisis espectral de arreglo de 2 frontales 1 trasero ala mediana.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.56	0.05	1.62	25.15	1.69	0.05	1.74	27.11
2	1.63	0.13	1.76	27.41	1.70	0.12	1.81	28.23
3	1.76	0.04	1.79	27.90	1.84	0.09	1.93	30.04
4	1.67	0.06	1.73	26.98	1.72	0.06	1.78	27.69
5	1.56	0.05	1.61	25.02	1.74	0.04	1.77	27.60
6	1.70	0.04	1.74	27.07	1.83	0.08	1.91	29.71
7	1.58	0.08	1.66	25.82	1.69	0.06	1.74	27.15
8	1.62	0.06	1.68	26.15	1.70	0.06	1.75	27.24
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.19	0.01	0.20	11.10	2.27	0.03	2.31	35.90
2	0.64	0.01	0.65	35.25	2.21	0.12	2.33	36.32
3	0.19	0.01	0.20	10.72	2.39	0.05	2.44	37.96
4	0.20	0.01	0.21	11.22	2.33	0.05	2.38	37.08
5	0.18	0.01	0.19	10.31	2.33	0.03	2.36	36.67
6	0.20	0.01	0.21	11.14	2.39	0.06	2.45	38.15
7	0.19	0.01	0.20	10.71	2.26	0.09	2.35	36.59

Arreglo 2 frontales 1 trasero ala chica

En la Figura (C8) se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico con un arreglo de 2 frontales 1 trasero ala chica.

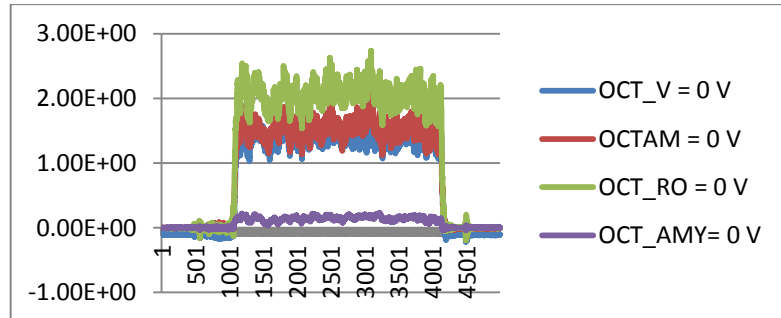


Figura (C8). Sensor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro (C8) se presenta el análisis espectral de arreglo, 2 frontales 1 trasero ala chica para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro (C8). Se presenta el análisis espectral de arreglo de 2 frontales 1 trasero ala chica.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.52	0.05	1.57	24.43	1.53	0.09	1.62	25.21
2	1.65	0.07	1.72	26.72	1.69	0.07	1.76	27.31
3	1.65	0.06	1.71	26.62	1.71	0.05	1.77	27.47
4	1.49	0.04	1.53	23.84	1.53	0.04	1.57	24.47
5	1.61	0.03	1.65	25.65	1.66	0.05	1.71	26.58
6	1.66	0.04	1.70	26.39	1.76	0.05	1.81	28.11
7	1.64	0.07	1.71	26.62	1.67	0.06	1.73	26.89
8	1.58	0.02	1.60	24.91	1.60	0.03	1.63	25.39
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.15	0.02	0.17	9.28	2.07	0.10	2.16	33.65
2	0.18	0.03	0.20	11.06	2.28	0.09	2.37	36.90
3	0.18	0.02	0.20	11.08	2.30	0.07	2.37	36.88

4	0.18	0.02	0.20	10.60	2.09	0.07	2.16	33.57
5	0.17	0.02	0.19	10.51	2.30	0.04	2.33	36.32
6	0.19	0.02	0.21	11.38	2.37	0.05	2.42	37.68
7	0.18	0.01	0.19	10.15	2.29	0.09	2.38	37.04
8	0.19	0.02	0.20	11.06	2.26	0.03	2.29	35.60

Arreglo de 4 cinceles frontales 0.20 metros de profundidad

En la Figura (C9) se puede observar el comportamiento del dinamómetros integral, en un estado dinámico con un arreglo de 4 cinceles frontales 0.20 metros de profundidad.

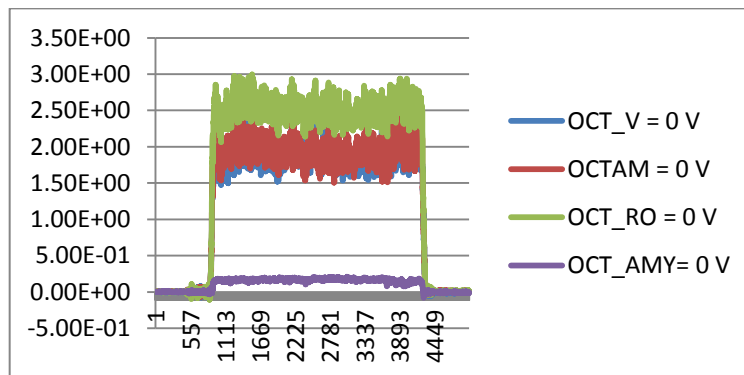


Figura (C9). Sensor Integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro (C9) se presenta el análisis espectral de arreglo, 4 cinceles frontales 20 cm de profundidad para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro (C9). Se presenta el análisis espectral de arreglo de 4 cinceles frontales 0.20 metros de profundidad.

# Rep	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.94	0.05	1.99	30.94	1.95	0.07	2.03	31.55
2	2.00	0.07	2.07	32.24	2.00	0.07	2.07	32.14
3	1.87	0.04	1.91	29.68	1.94	0.07	2.00	31.15
4	2.01	0.04	2.05	31.90	2.07	0.10	2.17	33.81
5	1.97	0.12	2.08	32.43	1.98	0.13	2.10	32.75
6	1.99	0.06	2.05	31.85	2.05	0.06	2.12	32.96

7	1.82	0.04	1.86	28.88	1.91	0.03	1.94	30.26
# Rep	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.17	0.01	0.18	9.75	2.58	0.05	2.63	40.97
2	0.17	0.01	0.18	9.51	2.59	0.07	2.66	41.41
3	0.17	0.01	0.18	9.90	2.52	0.05	2.57	40.09
4	0.16	0.02	0.18	9.83	2.60	0.03	2.63	40.97
5	0.18	0.01	0.19	10.36	2.57	0.08	2.65	41.29
6	0.15	0.02	0.17	9.19	2.58	0.04	2.62	40.82
7	0.16	0.01	0.17	9.27	2.46	0.03	2.49	38.75

Arreglo 1 cincel trasero

En la Figura C10 se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico, en el cual se puede ver el comportamiento de cada dinamómetro que integra al transductor integral.

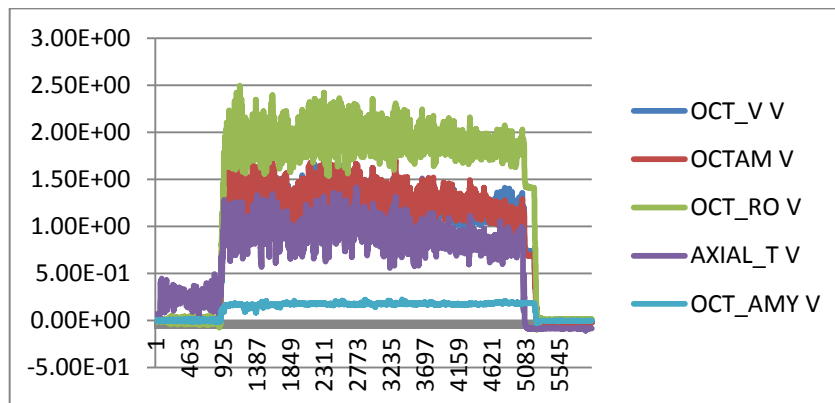


Figura C10. Sensores Integrales cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro C10 se presenta el análisis espectral del arreglo 1 cincel trasero para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro C10. Se observa el análisis espectral y la media de la onda de cada uno de los dinamómetros que conforman al dinamómetro integral (Octagonal Rojo Fx, Octagonal Amarillo Fx, Fy, Octagonal verde y Axial).

# Rep	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.17	0.05	1.22	18.94	1.19	0.03	1.22	18.93
2	1.19	0.08	1.27	19.73	1.21	0.06	1.28	19.85
3	1.19	0.04	1.23	19.12	1.22	0.04	1.26	19.66
4	1.14	0.02	1.16	18.04	1.17	0.02	1.19	18.54
5	1.18	0.03	1.20	18.72	1.23	0.05	1.28	19.96
6	1.23	0.05	1.28	19.89	1.28	0.04	1.32	20.47
7	1.23	0.05	1.28	19.89	1.28	0.06	1.34	20.80
8	1.17	0.04	1.21	18.76	1.21	0.03	1.24	19.30
# Rep	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.18	0.00	0.18	9.81	1.86	0.04	1.91	29.69
2	0.18	0.01	0.18	9.83	1.86	0.08	1.94	30.19
3	0.19	0.00	0.19	10.18	1.88	0.05	1.93	30.08
4	0.18	0.00	0.19	10.21	1.82	0.02	1.84	28.66
5	0.19	0.02	0.21	11.46	1.87	0.04	1.92	29.85
6	0.18	0.01	0.18	9.96	1.94	0.04	1.98	30.79
7	0.17	0.01	0.18	9.53	1.93	0.05	1.98	30.90
8	0.19	0.00	0.19	10.16	1.86	0.03	1.89	29.35
# Rep	Axial (Fx)							
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)				
1	0.83	0.05	0.88	9.52				
2	0.88	0.09	0.97	10.54				
3	0.87	0.04	0.92	9.96				
4	0.83	0.02	0.85	9.27				
5	0.99	0.07	1.06	11.51				
6	0.96	0.04	1.00	10.92				
7	0.93	0.08	1.01	10.95				
8	0.93	0.06	0.98	10.67				

Arreglo 1 cincel trasero ala chica

En la Figura C11 se puede observar el comportamiento del dinamómetro integral, en un estado dinámico con un arreglo de 1 cincel trasero ala chica.

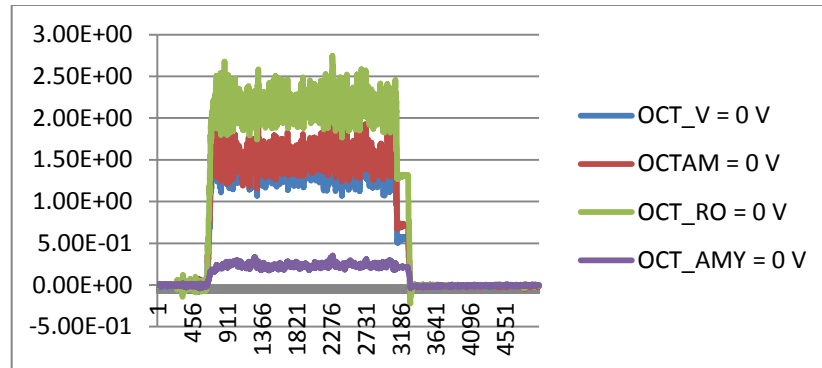


Figura C11. Sensor integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro C11 se presenta el análisis espectral de arreglo 1 cincel trasero alas chicas para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro C11. Se presenta el análisis espectral de arreglo de 1 cincel trasero alas chicas para cada uno de los dinamómetros.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.36	0.04	1.40	21.79	1.43	0.04	1.48	22.98
2	1.37	0.06	1.43	22.30	1.41	0.08	1.49	23.14
3	1.02	0.09	1.11	17.24	1.05	0.08	1.13	17.58
4	1.25	0.07	1.32	20.46	1.31	0.03	1.34	20.91
5	1.02	0.26	1.28	19.91	1.05	0.27	1.32	20.61
6	0.85	0.06	0.91	14.11	0.85	0.04	0.90	13.93
7	1.40	0.03	1.42	22.12	1.53	0.05	1.58	24.51
8	1.37	0.06	1.43	22.25	1.52	0.06	1.58	24.55
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.28	0.02	0.30	16.16	2.07	0.05	2.11	32.92
2	0.24	0.03	0.27	14.73	2.07	0.08	2.16	33.56
3	0.15	0.02	0.17	9.32	1.44	0.11	1.55	24.18

4	0.20	0.01	0.22	11.70	1.83	0.08	1.91	29.68
5	0.16	0.06	0.22	11.96	1.49	0.43	1.92	29.86
6	0.02	0.02	0.04	2.29	0.89	0.05	0.93	14.53
7	0.21	0.04	0.25	13.65	2.15	0.03	2.18	33.98
8	0.24	0.01	0.25	13.56	2.13	0.05	2.18	33.88
# Rep.	Axial (Fx)							
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)				
1	1.06	0.05	1.12	11.80				
2	1.09	0.07	1.17	12.33				
3	1.03	0.05	1.09	11.48				
4	1.12	0.04	1.17	12.32				
5	1.02	0.08	1.11	11.71				

Arreglo de 2 frontales (0.30 metros de profundidad)

En la Figura C12 se puede observar el comportamiento del dinamómetros integral, en un estado dinámico con un arreglo de 2 frontales a 0.30 metros de profundidad.

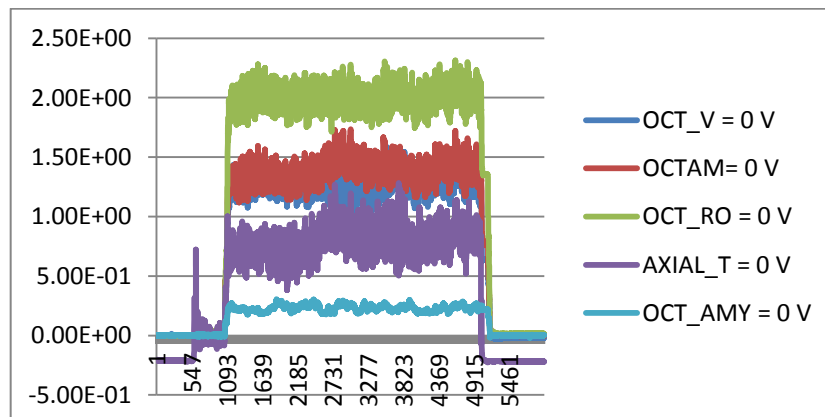


Figura C12. Sensor Integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro C12 se presenta el análisis espectral de arreglo, 2 frontales a 0.30 metros de profundidad para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro C12. Se presenta el análisis espectral de arreglo de 2 frontales a 0.30 metros de profundidad para cada uno de los dinamómetros.

# rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.56	0.10	1.66	25.84	1.56	0.07	1.63	25.37
2	1.29	0.05	1.34	20.77	1.40	0.04	1.44	22.43
3	1.32	0.03	1.35	20.95	1.48	0.06	1.54	23.94
4	1.28	0.04	1.32	20.52	1.39	0.05	1.44	22.40
5	1.34	0.05	1.39	21.59	1.37	0.04	1.41	21.94
6	1.50	0.25	1.75	27.30	1.53	0.25	1.79	27.82
7	1.57	0.05	1.62	25.27	1.59	0.05	1.64	25.45
8	1.55	0.08	1.63	25.41	1.62	0.09	1.70	26.50
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.19	0.01	0.19	10.36	2.32	0.08	2.40	37.37
2	0.21	0.02	0.24	12.76	2.02	0.04	2.05	31.99
3	0.23	0.05	0.29	15.44	2.05	0.04	2.08	32.42
4	0.23	0.02	0.25	13.34	2.01	0.02	2.03	31.53
5	0.21	0.01	0.23	12.30	2.04	0.03	2.08	32.34
6	0.19	0.03	0.22	11.94	2.16	0.38	2.53	39.41
7	0.21	0.01	0.22	11.71	2.30	0.04	2.35	36.55
8	0.24	0.01	0.26	14.07	2.34	0.10	2.43	37.89
# Rep.	Axial (Fx)							
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)				
1	1.21	0.13	1.34	14.13				
2	0.99	0.03	1.01	10.71				
3	1.08	0.06	1.14	12.06				
4	1.00	0.06	1.06	11.22				
5	1.02	0.04	1.07	11.27				
6	1.30	0.14	1.44	15.22				
7	1.30	0.08	1.38	14.60				
8	1.29	0.07	1.36	14.34				

Arreglo de 2 frontales (0.20 metros de profundidad)

En la Figura C13 se puede observar el comportamiento del dinamómetros integral, en un estado dinámico con un arreglo de 2 frontales a 0.20 metros de profundidad.

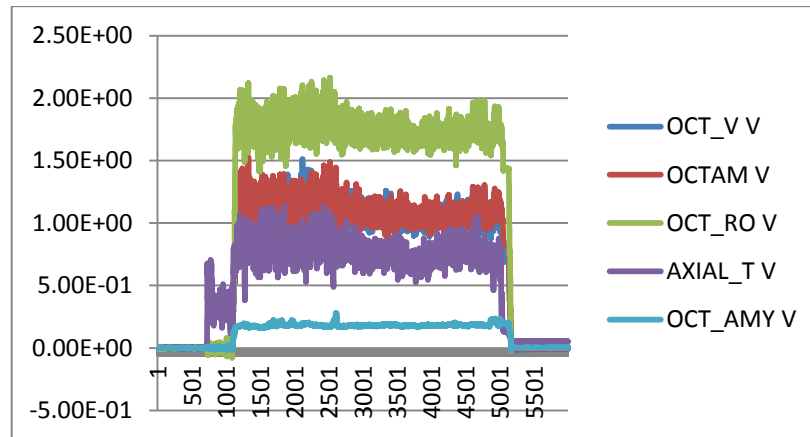


Figura C13. Sensor Integral cuando está trabajando en tiempo real, se observa como los dinamómetros censan en un estado dinámico.

En el cuadro C13 se presenta el análisis espectral de arreglo, 2 frontales a 0.20 metros de profundidad para cada uno de los dinamómetros.

Cuadro C13 se presenta el análisis espectral de arreglo de 2 frontales a 0.20 metros de profundidad para cada uno de los dinamómetros.

# Rep.	Octagonal verde (Fx)				Octagonal Amarillo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	1.04	0.03	1.07	16.63	1.05	0.03	1.08	16.75
2	1.15	0.09	1.23	19.19	1.14	0.05	1.20	18.61
3	1.10	0.04	1.14	17.67	1.11	0.04	1.15	17.95
4	1.05	0.02	1.07	16.66	1.05	0.02	1.07	16.69
5	1.10	0.04	1.15	17.83	1.12	0.03	1.15	17.91
6	1.09	0.06	1.16	18.03	1.11	0.06	1.17	18.24
7	1.10	0.03	1.13	17.61	1.13	0.05	1.18	18.35
# Rep.	Octagonal Amarillo (Fy)				Octagonal Rojo (Fx)			
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)
1	0.18	0.01	0.18	9.99	1.73	0.03	1.75	27.30

2	0.18	0.01	0.19	10.33	1.81	0.07	1.89	29.37
3	0.18	0.00	0.18	9.81	1.77	0.04	1.81	28.17
4	0.18	0.00	0.18	9.81	1.69	0.03	1.72	26.70
5	0.19	0.01	0.19	10.45	1.76	0.03	1.79	27.84
6	0.18	0.00	0.19	10.08	1.77	0.06	1.83	28.43
7	0.19	0.02	0.21	11.21	1.77	0.04	1.80	28.09
# Rep.	Axial (Fx)							
	Media (V)	Espectro (V)	M + E (V)	M + E *K (kN)				
1	0.65	0.03	0.67	7.13				
2	0.84	0.11	0.95	10.00				
3	0.79	0.04	0.83	8.77				
4	0.78	0.04	0.82	8.70				
5	0.83	0.05	0.88	9.28				
6	0.79	0.05	0.84	8.88				
7	0.74	0.05	0.79	8.30				

Anexo D

Perfiles obtenidos del arreglo 2 frontales 0.20 metros 1 trasero 0.30 metros.

En el cuadro D1 se puede observar los perfiles obtenidos en cada repetición, y sus dimensiones del perfil.

Cuadro D1. Perfiles de la primera a la quinta repetición hecho con el arreglo ya antes mencionado.

Primera repetición (cm)		Segunda repetición (cm)		Tercera repetición (cm)		Cuarta repetición (cm)		Quinta repetición (cm)	
30 m	60 m	30 m	60 m	30 m	60 m	30 m	60 m	30 m	60 m
2.3	1.8	10	4.2	5	5.4	6.8	7.4	8	13
10.3	7.3	19	8.8	6.8	13.8	18	13.8	24.8	28
14.8	15.8	27.4	20	22.8	26.6	24	18	28	28.8
20.6	25.4	29.7	19	17.5	28	22.6	23.6	29.9	30.3
20	23	38.3	19.2	16.2	28	27.7	17.5	34.8	38.4
24.2	26.8	33.2	35	21	30.5	36.4	25	30	25.5
33	33	32	29.6	32.9	37	28.3	32	27.7	26.6
18.4	26	29.6	23	24.9	31.4	27.4	24.2	25	26.7
20	24.2	18	28.7	23	29	18.3	26	17.4	16.4
17	13	11.8	16.8	13	20.5	3	5.9	2.5	11
4.3	4	5.5	3.8	7	2.8				

En el cuadro D2 se puede observar los perfiles obtenidos en cada repetición, y sus dimensiones del perfil.

Cuadro D2. Perfiles de la sexta a octava repetición hecho con el arreglo ya antes mencionado.

Sexta repetición (cm)		Séptima repetición (cm)		Oct. Repetición (cm)	
30 m	60 m	30 m	60 m	30 m	60 m
10.8	28	2	8.6	13	6.9
23	21.2	14	21	27.6	25.6
27.4	25.2	28.9	24.8	16.9	25
31	37.2	17	27.4	33	33.6
36	21.1	33	33.2	26	28
17.3	19.5	36	17	13.5	16
12	25.7	18.2	12.8	15.6	17.5
26.2	14.6	22	21	24.5	25.6
17.6	3	27.3	15	6	5.5
6.4	1	9.7	10	3	3.4

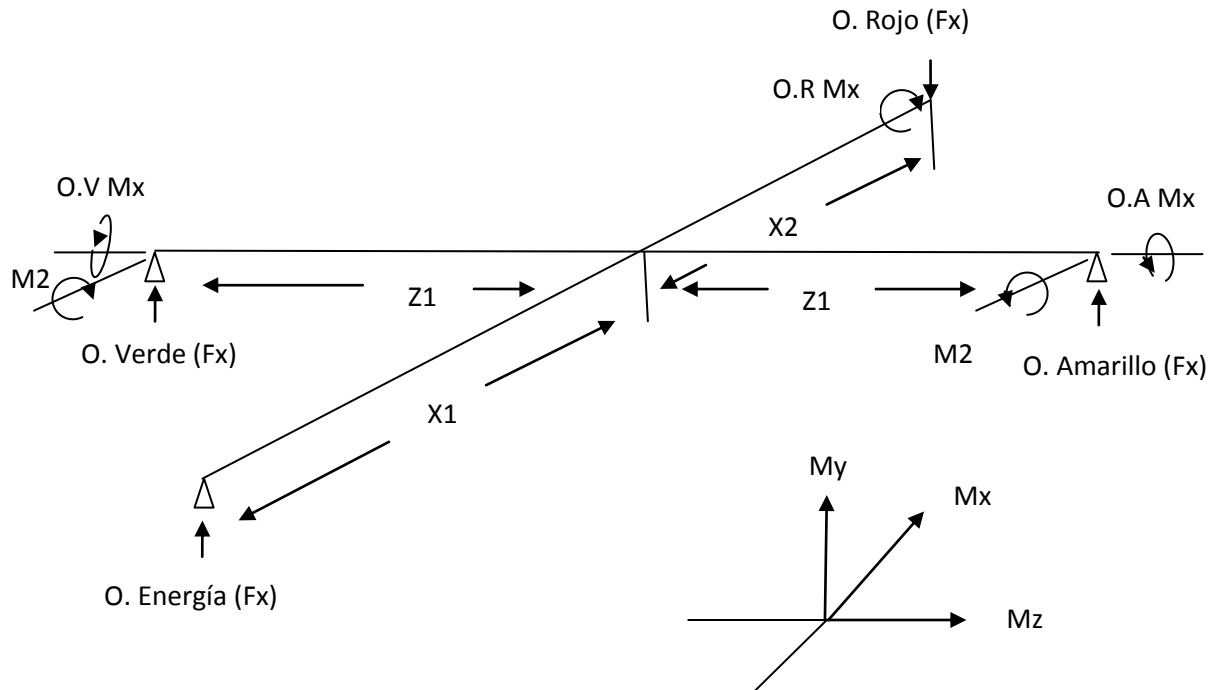
En el cuadro D3 se puede observar el área de cada repetición obtenida como el perfilómetro y el área promedio del arreglo de 2 frontales a 0.20 metros y un trasero a 0.30 metros.

Cuadro D3. Área de cada uno de las repeticiones tomadas con el perfilómetro, como el área promedio para el arreglo ya antes mencionado.

Repetición	Área (cm ²)	Promedio de todas las áreas
1	1895.00	2019.16 cm ²
2	2254.25	
3	2165.00	
4	1971.75	
5	2277.75	
6	1905.50	
7	1918.75	
8	1765.25	

Anexo E

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



Donde: El momento resulta es igual a la raíz cuadrada de M_1 elevado al cuadrado más M_2 elevado al cuadrado

$$MR = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

Anexo F

A continuación se muestra la recodificación del programa análisis (Mojica, 2000) llamado análisis 5 (Ing. Alexander Bonifaz del Carpio, Junio 2012), el cual puede leer los datos de 5 dinamómetros.

```
p=path;
incpath=( [...
'c:\edml\data\dcon',...
';c:\edml\data\ddob',...
';c:\edml\data\dgot',...
';c:\edml\data\dlgd',...
';c:\edml\data\dlich',...
';c:\edml\data\dlig',...
';c:\edml\data\dmdd',...
';c:\edml\data\dmue',...
';c:\edml\data\dond',...
';c:\edml\data\cincel',...
]);
path(p,incpath);
clear
clc
file=input('Nombre de archivo de datos sin extension : ','s');
filename=[file '.dat'];
eval(['load ' filename]);
disp('Listo, archivo cargado')
x=eval(file);
v=x(:,1);
h=x(:,2);
z=x(:,3);
j=x(:,4);
m=x(:,5);
pas=input('Numero de corrida (1/4) : ','s');
disco=input('Titulo para las graficas : ','s');
cv=[' Comp. Vert.' pas];
ch=[' Comp. Horiz.' pas];
cz=[' Comp. Vert.' pas];
cj=[' Comp. Horiz.' pas];
cm=[' Comp. Horiz.' pas];
disp('Trabajando con columna 1...')
titulo=[disco cv ];
plot(v, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
dv=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero :
');
v=v-dv;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
v=v*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una
tecla...')
pause
```

```

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

maxpn1=max(Pn1);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn1)
disp('A continuación, se analizará la columna 2. Pulsa una tecla...')
pause
disp('Trabajando con la columna 2...')
titulo=[disco ch];
plot(h, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
dh=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero :
');
h=h-dh;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
h=h*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una
tecla...')
pause
plot(h, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis :');
fin=input('Posición final para el análisis :');
h=h(ini:fin);

```

```

media2=mean(h);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media2)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause
h=h-media2;
plot(h, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias
correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn2=(abs(fft(h))*2)/length(h);
f=(272/length(h))*(0:length(h)/2);
plot(f,Pn2(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el
siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('; Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('valor inicial : ');
b=input('valor final : ');
plot(f(a:b),Pn2(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
resp=input('; Definir un nuevo rango (s/n)?','s');
ok=strcmp('s',resp);
end
end

maxpn2=max(Pn2);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn2)
disp('A continuación, se analizará la columna 3. Pulsa una tecla...')
pause
disp('Trabajando con la columna 3...')
titulo=[disco cz];
plot(z, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
dz=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero :
');
z=z-dz;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
z=z*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una
tecla...')
pause
plot(z, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis : ');
fin=input('Posición final para el análisis : ');
z=z(ini:fin);
media3=mean(z);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media3)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause

```

```

z=z-media3;
plot(z, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias
correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn3=(abs(fft(z))*2)/length(z);
f=(272/length(z))*(0:length(z)/2);
plot(f,Pn3(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el
siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('? Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('valor inicial : ');
b=input('valor final : ');
plot(f(a:b),Pn3(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
resp=input('? Definir un nuevo rango (s/n)?','s');
ok=strcmp('s',resp);
end
end

maxpn3=max(Pn3);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn3)
disp('A continuación, se analizará la columna 4. Pulsa una tecla...')
pause
disp('Trabajando con la columna 4...')
titulo=[disco cj];
plot(j, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
dj=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero :
');
j=j-dj;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
j=j*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una
tecla...')
pause
plot(j, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis :');
fin=input('Posición final para el análisis :');
j=j(ini:fin);
media4 =mean(j);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media4)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause
j=j-media4;
plot(j, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias
correspondientes.')

```

```

disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn4=(abs(fft(j))*2)/length(j);
f=(272/length(j))*(0:length(j)/2);
plot(f,Pn4(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el
siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('; Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('valor inicial : ');
b=input('valor final : ');
plot(f(a:b),Pn4(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
resp=input('; Definir un nuevo rango (s/n)?','s');
ok=strcmp('s',resp);
end
end
maxpn4=max(Pn4);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn4)
disp('Trabajando con la columna 5...')
titulo=[disco cm];
plot(m,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
dm=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero :
');
m=m-dm;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
m=m*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una
tecla...')
pause
plot(m,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis : ');
fin=input('Posición final para el análisis : ');
m=m(ini:fin);
media5 =mean(m);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media5)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause
m=m-media5;
plot(m,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias
correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn5=(abs(fft(m))*2)/length(m);
f=(272/length(m))*(0:length(m)/2);
plot(f,Pn4(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el
siguiente valor : ');disp(length(f))

```

```

resp=input('; Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
    a=input('valor inicial : ');
    b=input('valor final : ');
    plot(f(a:b),Pn5(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
    resp=input('; Definir un nuevo rango (s/n)?','s');
    ok=strcmp('s',resp);
end
end
maxpn5=max(Pn5);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn5)
pause
disp ('valores de las medias ')
disp (media1)
disp (media2)
disp (media3)
disp (media4)
disp (media5)
pause
disp ('valores del espectro ')
disp(maxpn1)
disp(maxpn2)
disp(maxpn3)
disp(maxpn4)
disp(maxpn5)
pause
disp('Análisis terminado')

```