

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA



**Equipo para la Generación De Mapas De Índice De Cono Y Resistencia Al
Corte De Suelo.**

Por:

Nelson Velázquez Roblero

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo del 2010

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA

Equipo para la Generación De Mapas De Índice De Cono Y Resistencia Al Corte De Suelo.

Por:

Nelson Velázquez Roblero.

Tesis

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el Comité de Tesis

Director de Tesis

Dr. Santos G. Campos Magaña.

Co-Director de tesis

Dr. Martin Cadena Zapata

Sinodal

M.C. B. Elizabeth de la Peña Casas

Autónoma Agraria
“ANTONIO NARRO”

Coordinador de la División de Ingeniería

Dr. Raúl Rodríguez García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Mayo del 2010



AGRADECIMIENTOS

Primero quiero darle las Gracias a DIOS por haberme dado la oportunidad y la dicha de vivir, en este mundo y por compartir con mis familiares que amo en esta hermosa vida.

A mi ALMA MATER, Por haberme brindado el apoyo necesario para facilitarme y poder concluir mis estudios y así formarme como un profesionalista.

Al Dr. Santos G. Campos Magaña por su colaboración y tiempo dedicado a este proyecto de tesis.

Al Dr. Martín Cadena Zapata. Por brindar su confianza y amistad durante este tiempo de mi preparación

Al M.C. Héctor Uriel Fernández. Por haberme brindado su amistad, confianza y el apoyo durante mi estancia en esta Universidad también por ser gran maestro por eso le doy las gracias.

A mis Compañeros de la Generación CVII de la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola: Que me demostraron sus apoyos en los momentos más difíciles y también en los momentos de alegría.

También a todos mis amigos que siempre me demostraron su confianza y su amistad.

A todos los Ingenieros del Departamento de Maquinaria Agrícola:

Dr. Santos G. Campos Magaña, Dr. Martin Cadena Zapata, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, M.C. Uriel Serna Fernández M.C. Juan Arredondo Valdez, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Tomas Gaytan Muñiz, M.C. Jesús R. Valenzuela García, Ing. Rosendo González Garza Y Ing. Jorge Alberto Flores Berrueto Por haberme transmito sus conocimientos y brindarme su amistad.

DEDICATORIA

Principalmente quiero agradecer a Dios por regalarme unos padres maravillosos ya que ellos supieron cobijarme cuando más lo necesitaba desde el primer día de mi vida y por darme la oportunidad de vivir especialmente por sus apoyos económicamente y moralmente que me otorgaron incondicionalmente para lograr y así poder concluir mis estudios por el gran sacrificio que realizaron. Con cariño y respeto a las personas que amo que Dios me los Guarde siempre donde quiera que estén:

A MIS PADRES:

Victorico Velázquez Velázquez.

Virgilia Roblero Cifuentes.

También a:

A Mis Hermano: (as)

Joel, Mixsel, Deysi, Fabiola.

Por todo el gran amor, cariño que me brindaron durante mi estancia por el apoyo moralmente y económicamente que Dios me los mendiga siempre.

También quiero agradecer en especial a mis abuelos.

Israel Velázquez Escobar (+)

Ofelia Velázquez Matías.

Primero Doy gracias a Dios por mantenerla a mi abuelita con nosotros ya que es una gran persona dentro de la familia y por los consejos que nos brindas que Dios te bendiga siempre y te dé más años de vida.

A mis tíos (as) Por apoyarme durante mi carrera y porque siempre están en las buenas y en las malas Dios me los guarde siempre.

También a todos mis primos y primas Josué, Kleiber, Ixsael, Osmar, Bersali, Israel, Eray, Selemi, Blanca Yandi, Andrea, Mavis Yaneth, Carolina, Blanca Norma. Gracias por apoyarme en las buenas y en las malas que Dios los bendiga siempre en su vida.

En especial a mi esposa Sandra por su comprensión y paciencia que siempre tuvo durante mi estancia. TE AMO CHAPARRA que Dios te bendiga siempre.

También quiero darle las gracias a Dios por regalarme una hermosa hija que me ha robado el corazón desde el día que supe que eras parte de nuestra vida. Eres la luz en mi camino para seguir adelante. Te amo y Siempre te amare Helen Vanessa V.C.

Y a la familia Cruz Sánchez por su apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Paginas
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
RESUMEN.....	x
I INTRODUCCION.....	1
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Agricultura de Precisión.	3
2.2 Mecánica de Suelos.....	5
2.2.1 Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos	6
2.2.2 Rotura del suelo por herramientas de tipo cincel	6
2.2.3. Resistencia a la penetración	7
2.3 Diseño de Transductores	9
2.3.1 Puente de Wheatstone	9
2.3.2 Galgas extensiométricas	10
2.3.3 Sensor Octagonal De Anillo Extendido.	13
2.4 Adquisición de datos.....	15
2.4.1 Sistema de adquisición de datos	15
2.4.2 DAQ BOOK200/2000.....	16

III. MATERIALES Y METODOS.....	17
3.1 Materiales y equipo.....	17
3.2 Metodología.....	18
3.2.1 Consideraciones de diseño de transductor y herramienta de roturación	19
3.2.2 MONTAJE DE GALGAS.....	21
3.2.3 Calibración de transductores	22
3.2.4 Pruebas de campo con transductor Anillo extendido.....	24
IV. RESULTADOS	25
4.1 Resistencia a la penetración de la parcela de evaluación	25
4.2 Caracterización y Calibración del Dinamómetro Octagonal de Anillo Extendido .	28
4.3 Evaluación del Sensor Octagonal de Anillo Extendido para determinar la fuerza de roturación en forma dinámica y la localización de áreas compactadas	37
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
VI. LITERATURA CITADAS	41
ANEXOS	43

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Paginas
Figura 2.1 Puente empleado para las mediciones de precisión de resistencias en el rango de fracciones de Ohm hasta _varios-megaomhs	9
Figura 2.2 Galga extensiométrica uniaxial: a) alambre; b) laminilla. (Cooper, 1991)	11
Figura 2.3 Roseta de dos elementos a) laminillas apiladas a 90°; b) laminillas planar a 90°C; c) laminilla plana delgada a 90°C. (Cooper, 1991).....	12
Figura 3.1 Convertidor analógico – digital (DAQ-BOOK 200)	17
Figura 3.2 Configuración de las galgas en el puente de Wheatstone	21
Figura 3.3 Carga y Descarga de los contrapesos	22
Figura. 3.4 Tractor y carro porta sensores empleados en campo para medir la resistencia al estallamiento	24
Figura 4.1. Calibración de la Fuerza de Ring, con capacidad de 5 kN	25
Figura 4.2. Ecuación de respuesta, Fuerza, de Ring con capacidad de 5 Kn ...	26
Figura 4.3. Monitoreo de la magnitud de Fuerza con Anillo de capacidad de 5 kN y cono de área perimetral de 0.000871257 m ²	27
Figura 4.4. Monitoreo de la magnitud de Fuerza con Anillo de capacidad de 5 Kn.....	28
Figura 4.5. Dimensiones del transductor octagonal extendido. Acero 1045, Templado en aceite. Con una resistencia a la tensión de 430 MPa	29
Figura 4.6 Sensor de fuerzas de roturación del suelo. (a) Cableado de transductor octagonal de anillo extendido. (b) Representación de las fuerzas actuando en el Dinamómetro Herramienta de roturación y arreglo de circuitos con galgas extensiométricas en puente de Wheatston	30
Figura 4.7 Especificaciones de galgas extensiométricas, empleadas en los elementos sensores, en arreglos de puente de wheastone	32
Figura 4.8. Proceso de calibración del sensor octagonal de anillo extendido. (a) tractor con carro porta sensores y transductor de fuerzas de roturación. (b) contrapesos empleados en la calibración	32

Figura 4.9. Calibración, de la Fuerza, de Octagonal extendido con capacidad de 8 kN. A una posición de la fuerza de 270 mm con respecto al centro del sensor	33
Figura 4.10. Calibración, del Momento, de Octagonal extendido con capacidad de 8 kN-m. A una posición de la fuerza de 270 mm con respecto al centro del sensor	33
Figura 4.11. Ecuación de respuesta, de la Fuerza, en carga y descarga, de Octagonal de Anillo Extendido con capacidad de 10 kN	35
Figura 4.12. Ecuación de respuesta, de Momento en carga y descarga, de octagonal extendido con capacidad de 8.0 kN	36
Figura 4.13 Evaluación en campo para calcular la Fuerza (F_x) y Momento (F_y) a diferentes profundidades.....	37
Figura 4.14. Datos de Fuerza de roturación del cincel en campo a 250,300 y 350 mm de profundidad	38
Figura 4.15. Datos del Momento del cincel en campo a 250, 300 y 350 mm de profundidad	38

ÍNDICE DE CUADROS

	Paginas.
Cuadro 3.1. Pesos y posiciones de las Cargas y distancias utilizadas en la calibración	23
Cuadro 4.3. Datos de las calibraciones del Ring, para determinar las Fuerzas que actúan en el Penetrometro	25
Cuadro 4.4. Resistencia a la Penetración, en kPa, a cuatro diferentes profundidades (100-400 mm) en el terreno de evaluación. Se encuentra en el Anexo 1 Figura A-4.....	28
Cuadro 4.5. Datos de calibración de Fuerzas (N) en mili volts (mv) del octagonal de anillo extendido, en tres posiciones con respecto al centro del sensor	34
Cuadro 4.6. Datos de calibración de Momentos (N-m) del Octagonal extendido, en tres posiciones con respecto al centro del sensor	36
Cuadro 4.7. Datos obtenidos de las corridas en campo con el octagonal extendido	39

RESUMEN

La agricultura de precisión consiste en un conjunto de tecnologías altamente desarrolladas, que comprenden aspectos tan disímiles como sistemas satelitales y maquinaria agrícola, los cuales están integrados por diferentes sistemas como son: Sistemas de información geográfica (SIG); Sistemas de posicionamiento global (GPS); Computadoras, sensores y controladores así como Maquinaria especializada. El manejo se sitio específico, comienza por los mapas de rendimiento geo posicionados, así como por los mapas de prescripción, para correlacionar la variabilidad de rendimiento con la variabilidad del suelo tanto en nutrientes, topografía, como en aspectos físico-químicos del mismo, con la finalidad de realizar, así como elaborar mapas de prescripción correspondientes para la aplicación de dosis variable de insumos.

Este trabajo es parte de un proyecto de largo plazo en el que se busca medir en forma dinámica la resistencia a la roturación del suelo a diferentes profundidades, con la finalidad de determinar las necesidades de energía por sitio específico. Para esto se tuvo que diseñar un sensor del tipo Anillo Octagonal Extendido de 10 kN y un cincel de roturación capaz de trabajar en un rango de profundidades de 0.20 a 0.40 m. empleando para esto un carro porta herramienta, sistema de adquisición de datos y un tractor instrumentado para este propósito. El equipo diseñado mostro una alta sensibilidad en la medición de de la fuerza y su localización de 14.42 mv N^{-1} y 2.904 mv Nm^{-1} .

Durante las pruebas de campo, se observo una alta confiabilidad de la respuesta mostrando un comportamiento similar a los obtenidos con el Penetrometro, detectando las capas compactadas a profundidades mayores a los 0.30m en determinadas áreas del terreno en evaluación.

PALABRAS CLAVE: COMPACTACIÓN, OCTAGONAL EXTENDIDO, RESISTENCIA DEL SUELO, SENSOR DE ROTURACIÓN DE SUELO.

I INTRODUCCION

La Agricultura de precisión o manejo de sitio específico es la utilización de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos georeferenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos así como una disminución sustantiva en la contaminación.

A nivel mundial las oportunidades y riesgos actuales en la producción de alimentos está vinculada con: alta demanda mundial de alimentos (granos, carne, aceite, proteína, bioenergía); alta demanda y costo de petróleo y gas natural en todo el mundo (el gas natural es 90% del costo de la producción de amoníaco); aumento del área fertilizada en el mundo; deficiencias de nutrientes que limitan la producción de cultivos y forrajes así como altos índices de contaminación ambiental entre otros. Una forma de contrarrestar estos efectos y corregir algunas de sus causas es mediante el manejo óptimo en la aplicación de insumos en la agricultura.

Para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con muestreo de ambientes a nivel de predio para determinar los factores limitantes de la producción así como su localización precisa para poder de ahí realizar las prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos. Se requiere para lo anterior contar con sistemas que se integren entre otros por AgDGPS, Sensores, SIG, así como equipos de dosificación variables de insumos. A nivel mundial como un indicador existen alrededor de 20 países que han incorporado estos sistemas inteligentes y automatizados en la aplicación de insumos agrícolas, entre los que destacan Estados Unidos con 30 000 unidades de producción, Argentina con 1200, Brasil con 250, Reino Unido con 400, Paraguay con 4 y México con Cero unidades.

Actualmente en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) no se cuenta con maquinaria ni equipos e instrumentos para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión. Durante la convocatoria interna 2009, para Proyectos de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro fue autorizado un proyecto denominado: DESARROLLO DE EQUIPOS, SENSORES E INSTRUMENTOS PARA AGRICULTURA DE PRECISION Y LABRANZA DE CONSERVACION. Cuyos objetivos planteados fueron:

1. Fortalecer la enseñanza e investigación en agricultura de precisión.
2. Evaluación de calidad de equipos agrícolas de labranza de conservación.
3. Desarrollo de un Sistema de simulacion de dosis variable de semillas.
4. Sistema de Dosificación Variable de Semillas en tiempo real.
5. Desarrollo de equipo para la Generación de Mapas de Conductividad Eléctrica, resistencia al corte y penetración geo-referenciados.
6. Desarrollo de un Sistema Integral para el Monitoreo de Fuerzas en Equipos de Labranza.

El presente trabajo de tesis se circunscribe en el objetivo número 5, con los siguientes objetivos específicos:

1.1 Objetivos específicos

1. Desarrollo de un sensor para la determinación de la magnitud y localización de la fuerza de roturación del suelo.
2. Evaluación del sensor bajo condiciones de campo.

2.1 Hipótesis

Es factible desarrollar un sensor de roturación de suelo que nos permita determinar la localización de áreas compactadas, en forma dinámica, en predios de producción agrícola.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Agricultura de Precisión.

Bragachini et al., (2004) la agricultura de Precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital y que consiste en obtener datos georeferenciados en los lotes para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento expresado por los cultivos en diferentes sitios como loma, media loma y bajo; se obtiene mejor respuesta en lotes que posean alta variabilidad de potencial de rendimiento ya sea por relieve, historia del lote (secuencia de cultivos y fertilizaciones anteriores).

También con esta tecnología es posible ajustar la mejor dosis de fertilización para cada sitio o lote específicamente, el mejor híbrido, variedad, densidad de siembra, espaciamento entre hileras, etc. Los beneficios se pueden resumir valorando el análisis y diagnóstico posible de realizar, partiendo de más de 800 datos de rendimiento por hectárea versus el análisis del promedio de rendimiento de todo un lote que ofrece la agricultura tradicional sin la ayuda del monitor de rendimiento satelital.

Bongiovanni, (2003) agricultura de Precisión es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La agricultura de precisión involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. La información obtenida puede usarse para implementar planes de manejo de la variabilidad. Junto a la biotecnología, la agricultura de precisión es uno de los cambios tecnológicos más importantes que ha vivido la agricultura en los últimos años.

Bragachini *et al.*, (2000) menciona que un mapa de rendimiento es la interpretación gráfica de una serie de datos geoposicionados de rendimiento y humedad de granos obtenidos mediante la utilización de una cosechadora equipada con monitores de rendimiento y un receptor DGPS. Una de las aplicaciones inmediatas de la Agricultura de Precisión es la evaluación de ensayos a campo, teniendo en el mapeo de rendimiento una herramienta práctica, rápida y precisa para cosechar, pesar y grabar en forma georeferenciados, en una sola operación, todos los tratamientos y repeticiones realizados.

Andrade (2005) presenta los detalles en el diseño y construcción de un bastidor que provee soporte a un sistema de componentes electrónicos y mecánicos capaz de realizar mediciones del estado físico mecánico en suelos agrícolas. El sistema de medición consta de equipo electrónico para la captura de información, sistema de posicionamiento global (DGPS), y equipo sensorial para detectar cambios en el estado físico-mecánico del suelo. Este bastidor fue diseñado para funcionar bajo dos modalidades: a) mediciones continuas de la resistencia del suelo al corte, y b) mediciones puntuales de la resistencia del suelo a la penetración.

2.2 Mecánica de Suelos

Ortiz *et al*, (1989) en la agronomía, el suelo es la capa superficial de la corteza terrestre que contiene minerales, materia orgánica, aire, agua y los nutrientes necesarios para dar sostén y desarrollo a las plantas superiores.

La fuente original de los constituyentes inorgánicos de los suelos son las rocas superficiales, ya sean ígneas, sedimentarias o metamórficas, desintegradas y descompuestas por una serie de factores naturales.

La teoría de falla de suelo indica que para herramientas de labranza con geometría simétrica tales como cinceles, subsuelos, cultivadores, etc., las fuerzas significativas son las componentes de tiro (paralelo a la dirección de avance) y las fuerzas de sección o verticales (que son perpendiculares a la dirección de avance). Otros elementos presentan un tercer componente dada que su geometría no es simétrica con respecto a la línea de trabajo mismo como en el caso de los arados de discos y vertederas, los cuales presentan reacciones de fuerzas laterales con ángulos de acción no predecibles. Las magnitudes estimadas de estas fuerzas de reacción dependen entre otros, de los siguientes parámetros: Profundidad de trabajo, densidad de suelo, humedad del suelo, coeficiente de adherencia metal-suelo, geometría de la herramienta.

Estos parámetros combinados permiten predecir las magnitudes de la fuerza de tiro y de penetración para herramientas de geometría simétrica. Un cambio en la geometría requiere el desarrollar instrumentos que nos detecten en forma precisa las magnitudes de las fuerzas de reacción del suelo así como la dirección de la misma.

2.2.1 Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos

Flamand (1995), indica que la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo puede definirse como la oposición máxima que presenta sus partículas a un desplazamiento relativo, bajo ciertas condiciones dadas principalmente de drenaje. Un suelo invariablemente pierde constancia bajo una combinación de esfuerzos normales y cortantes en el plano de falla, los esfuerzos normales proporcionan una parte de la resistencia al esfuerzo cortante debida a la fricción. La evaluación de dicha resistencia, es importante en la mayoría de los problemas de estabilidad de masas de suelo y diseño de estructuras.

2.2.2 Rotura del suelo por herramientas de tipo cincel

Flamand (1995), cuando un cincel rompe el suelo trabajando a una profundidad, el área afectada así como la resistencia ofrecida son función de las variables mecánicas del suelo. En este sentido durante los últimos treinta años se han venido sucediendo una serie de teorías que tratan de explicar el proceso de rotura del suelo en diferentes estados y con distintas herramientas. Cuando un diente de mayor anchura que la profundidad de trabajo se desplaza con un ángulo de inclinación α se produce la rotura del suelo en sentido longitudinal de modo que si es mayor de $45 - \alpha_i/2$, aparecen dos zonas bien diferenciadas. El tramo AB se asocia a la ecuación de una espiral cuyo origen es el punto P, mientras que el BD es un tramo recto cuyo ángulo ODB es igual a $45 - \alpha_i/2$.

La fuerza F por unidad de anchura de trabajo necesaria para producir la rotura es una función $F = f(\gamma, \alpha_i, c, \delta, Ca, \alpha, \rho, q)$.

Donde:

γ : Peso específico.

α_i : Ángulo de rozamiento interno.

c : Cohesión.

δ : Angulo de rozamiento metal suelo.

C_a : Coeficiente de adherencia metal–suelo.

α : Angulo de ataque de la herramienta.

ρ : Profundidad.

q : Sobrecarga en el suelo.

2.2.3. Resistencia a la penetración

Cañavate (1989), menciona que la resistencia de un suelo a la penetración de una determinada herramienta de sondeo, constituye una variable que aglutina otras propias del suelo tales como compactación, cohesión y rozamiento interno. Esto nos da una idea de la dureza de ese suelo para las condiciones específicas que se encuentra en un determinado momento.

Aunque los valores obtenidos no reflejan más que un índice, que a su vez depende de la forma del elemento que se ha introducido en el suelo (placas, semiesferas, conos, etc.), siempre se puede encontrar una relación entre la resistencia a la penetración y la que opone el suelo a una acción diferente producida bien por un neumático arrastrado o motriz, o a una determinada herramienta de trabajo.

Kepner *et al.*, (1978) describe que las reacciones de los suelos debido a fuerzas aplicadas por implementos de labranzas son afectadas por la resistencia del suelo a compresión, la resistencia al corte, adhesión (fuerzas atractivas entre el suelo y algún otro material), y la resistencia a la fricción.

Estas son todas las propiedades dinámicas que se hacen de manifiesto solamente a través del movimiento del suelo.

Con el avance de la herramienta, el suelo en esta trayectoria está sujeto a esfuerzo de compresión que, en un suelo friable, resulta ser una acción de corte. El cortado de los suelos es considerablemente diferente del cortado de muchos sólidos, esto es debido a que la reacción puede ser ejercida por una distancia considerable sobre cualquiera de los lados del plano de corte por la fricción interna y la acción cohesiva de las películas de humedad.

Cerisola (2003), dice que el Penetrometro es el aparato que permite obtener el valor de la resistencia a la penetración del suelo. Esta es la fuerza por unidad de superficie necesaria para introducir una punta cónica hasta una cierta profundidad. El tamaño de las puntas y la velocidad con que se introducen en el suelo han sido normalizadas por la ASAE, (1992).

Payán, y Sánchez (2003), señalan que la penetrometría es una de las herramientas más utilizadas en estudios de la calidad física del suelo. El diseño de penetrómetros con captadores de fuerza y de distancia conectadas a sistemas de adquisición de datos, permite conocer con gran rapidez la fuerza que opone el suelo a la entrada del cono. Varios autores han empleado la resistencia a la penetración como indicador de la compactación en suelos agrícolas.

Una de las mayores ventajas que presenta la utilización del Penetrometro como equipo de medición de la resistencia del suelo, es la versatilidad para ser usado en campo directamente, pudiéndose en poco tiempo realizar un gran número de lecturas, esta característica le permite ser una herramienta de diagnostico inicial sobre la condición física del suelo.

2.3 Diseño de Transductores

2.3.1 Puente de Wheatstone

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

En la figura 2.1. el puente tiene cuatro ramas resistivas, junto con una frecuencia de fem (batería) y un detector de cero, generalmente un galvanómetro u otro medidor sensible a la corriente. La corriente a través del galvanómetro depende de la diferencia de potencia entre los puntos c y d. Se dice que el puente esta balanceado (o en equilibrio) cuando la diferencia de potencia a través del galvanómetro es 0 V, de forma que no hay paso de corriente a través de él. Esta condición se cumple cuando el voltaje del punto c al punto a es igual que el voltaje del punto d al punto a; o bien, tomando como referencia la otra terminal de la batería, cuando el voltaje del punto c al b es igual que el voltaje del punto d al punto b. Por tanto, el puente esta en equilibrio.

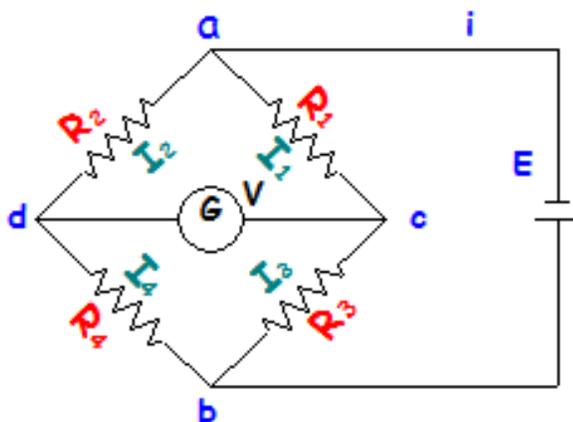


Figura 2.1 Puente empleado para las mediciones de precisión de resistencias en el rango de fracciones de Ohm hasta _varios-megaomhs.

2.3.2 Galgas extensiométricas

Cooper (1991), las galgas extensiométricas son un ejemplo de transductores pasivos que convierten un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia. Una galga extensiométrica es un dispositivo delgado, como una oblea, que se puede unir a una variedad de materiales con el fin de medir los esfuerzos aplicados. Las galgas extensiométricas metálicas se fabrican con alambres resistentes de diámetros muy pequeños como constante (marca registrada). Constante es una aleación de níquel-cobre que contiene 60% de cobre y 40% de níquel, o grabado en laminillas metálicas delgadas. La resistencia de las galgas extensiométricas tiene una lámina delgada o un alambre con una longitud a medida que el material sufre tensiones o compresiones. Este cambio en la resistencia es proporcional a la tensión aplicada y se mide con un puente de wheatstone adaptado especialmente.

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 axiales a menudo se utilizan elementos sensores largos y angostos para maximizar la tensión del material.

La sensibilidad de una galga extensiométrica se describe en términos de una característica llamada factor de galga k que se define como la unidad de cambio de la resistencia por la unidad de cambio de longitud, donde dicho valor viene proporcionado en el empaque de la galga.

La forma del elemento sensor (galga) 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 para maximizar la tensión del material sensor en la dirección de interés. Los lazos finales son pocos y cortos, de modo que la sensibilidad a tensiones transversales sea baja. La longitud de la galga se elige según el campo de tensión por investigar.

Para la mayoría de las mediciones de tensión, una galga de 6 mm. de longitud ofrece una buena operación y la instalación es fácil.

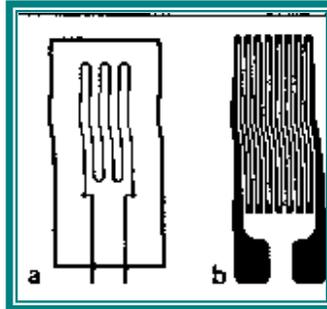


Figura 2.2 Galga extensiométrica uniaxial: a) alambre; b) laminilla. (Cooper, 1991).

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

Las rosetas de dos elementos suelen utilizarse en transductores de fuerza. Las galgas se conectan en un círculo puente Wheatstone para proporcionar una salida máxima. En análisis de esfuerzos, los elementos axial y transversal pueden tener diferentes resistencias que se pueden seleccionar para que la salida combinada sea proporcional al esfuerzo. Las rosetas de tres elementos frecuentemente se utilizan para determinar la dirección y magnitud de las tensiones principales que resultan de cargas estructurales complejas.

Los tipos más comunes tienen desplazamiento angular de 45° o 60° entre los elementos sensores. Las rosetas de 60° se usan cuando la dirección de la tensión principal se desconoce. Las rosetas de 45° proporcionan una resolución angular mayor y normalmente se utilizan cuando se conocen las direcciones de las tensiones principales.

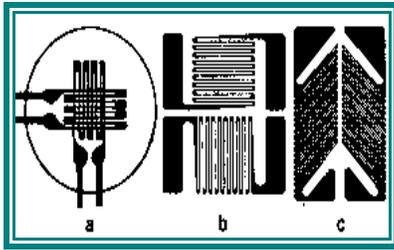


Figura 2.3 (a)

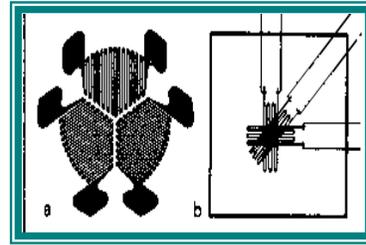


Figura (b)

Figura 2.3 Roseta de dos elementos a) laminillas apiladas a 90°; b) laminillas planas a 90°; c) laminilla plana delgada a 90°. (Cooper, 1991).

Mojica (2000). otro tipo son las galgas extensiométricas desoldadas que consisten en un marco estacionario y una armadura que está colocada en el centro del marco. La armadura solo se puede mover en una dirección. El desplazamiento está limitado por cuatro filamentos de alambre sensible a la tensión, devanado entre aisladores rígidos montados en el marco y en la armadura. Los filamentos son de igual longitud y tienen un arreglo.

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

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 sensada mediante galgas extensiométricas. Las galgas extensiométricas pueden ser utilizadas para transformar esta deformación en valores de voltaje, estas son adheridas al material en el cual se desea conocer la fuerza aplicada, al deformarse el material, la galga aumentaría o disminuiría su longitud junto con el material, variando así su resistencia. (Moo, 1999). Por lo tanto para los transductores de fuerzas se necesitan un elemento elástico que

traduzca la fuerza en deformación. El material para construir los transductores de fuerza debe tener las siguientes características: rigidez elevada, carga de ruptura elevada, límite elástico y modulo de elasticidad bajo. Y para la elección de las galgas de deformación se consideran los siguientes factores: longitud de carga, factor de galga, salida de galga, temperatura característica, deslizamiento característico, endurecimiento y bajo costo.

2.3.3 Sensor Octagonal De Anillo Extendido.

Campos *et al.* (1992) desarrollaron una metodología sencilla para el diseño de Anillos Octagonales teniendo en mente su aplicación en la evaluación de implementos de labranza bajo condiciones de campo. Campos demostró que existe un efecto de la longitud del plato sobre la localización de los nudos de deformación, cosa que cabe señalar que *Godwin* no menciona el efecto de la longitud de los platos (en función del largo total del anillo extendido) sobre la sensibilidad del transductor y su efecto sobre la localización de los nudos de deformación

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

Campos (1993). uno de los transductores más apropiados para determinar las fuerzas de reacción del suelo en los implementos de labranza es el transductor octagonal extendido, que tienen las ventajas sobre otros comúnmente empleados en la evaluación de equipos de labranza cuando la precisión de la localización de las galgas extensiométricas ha sido realizada.

Un análisis teórico de la aplicación del anillo extendido del transductor octagonal fue desarrollado por Cook (*et. al.* 1963) *citado por Varela, (2000)* está basado en el análisis de la energía elástica de un anillo usado como una celda de carga

Consideraciones adicionales para el diseño del anillo extendido fueron dadas por Hoag (1977) *Citado por Campos (1993)*. Estos tienen el objetivo de mejorar la sensibilidad del anillo por medio de aumentar al máximo la relación $[\epsilon/S \{x,y\}]$. Esta relación representa la cantidad de deformación por unidad de desplazamiento relativo del anillo del fondo medio.

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

2.4 Adquisición de datos

2.4.1 Sistema de adquisición de datos

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

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

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

Transductores. Para la transformación de parámetros físicos en señales eléctricas.

Acondicionador de señales. Para la amplificación, modificación o selección de ciertas partes de estas señales.

Instrumentos de registro de datos. Para obtener un registro permanente de los datos de entrada.

Los sistemas de adquisición de datos se utilizan en un gran número de aplicaciones (en constante aumento), en una variedad de áreas industriales y científicas, como la industria biomédica, aeroespacial y telemetría. El tipo de sistema de adquisición de datos, analógica o digital, depende del uso de los datos registrados. En general, los sistemas de datos analógicos se utilizan cuando se requiere un amplio ancho de banda o cuando se puede tolerar poca exactitud. Los sistemas digitales se aplican cuando el proceso físico que en estudio varía poco (ancho de banda angosto) y cuando se necesita una exactitud alta y bajo costo por canal. Los sistemas digitales varían en complejidad desde sistemas de un solo canal para medición y registro de voltajes, corriente directa de parámetros de entrada, los comparan con respecto a condiciones o límites preestablecidos y llevan a cabo cálculos y toman decisiones sobre la señal de entrada. Los sistemas digitales en general son más complejos que los analógicos, tanto en términos de volumen y complejidad de los datos de entrada que pueden manejar.

2.4.2 DAQ BOOK200/2000

El DaqBook/2000 es un dispositivo de adquisición de datos donde podemos observar las diferentes entradas analógicas de medida, entradas de frecuencia, y entradas digitales. El DaqBook/2000 están equipadas con una función de señal con una capacidad y que puede ser ampliado y mejorado con más de 40 canales de expansión de la serie y la señal de opciones de acondicionamiento.

La serie DaqBook/2000 incluye una orden interna Interfaz Ethernet 10/100BaseT capaz de la transferencia de los datos adquiridos de nuevo a la PC en la Kreading total de 200 / s de medición tipo de la DaqBook. Múltiples DaqBooks se puede conectar a un solo PC a través de un concentrador o conmutador Ethernet, y ser capaz de ser sincronizada y de la transferencia de datos continua a toda velocidad en el PC. [http:// www.iotech.com.mx](http://www.iotech.com.mx)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales y equipo

El equipo que se empleo en la toma de datos durante la realización de pruebas en campo y en calibración del Ring octagonal extendido fue un sistema preciso de obtención de datos el cual está integrado por:

Penetrometro digital, con sensor de anillo de una capacidad de 5 kN y cono con área perimetral de 0.000871257 m^2

- Convertidor analógico – digital (DAC).

Se utilizo la unidad de Daq-Book 200 de IOtech, Inc., el cual es un modulo que se conecta al puerto paralelo de una computadora y que convierte los valores de voltaje en valores digitales para que puedan ser procesados por la computadora. Este modulo se compone de dos partes, la parte que procesa la información y un banco de baterías que alimenta a la anterior. Este modulo tiene la capacidad para instrumentar 16 canales analógicos con una frecuencia de muestreo hasta de 100 kHz.



Figura 3.1 Convertidor analógico – digital (DAQ-BOOK 200).

- Computadora

Se utilizó una computadora del departamento de maquinaria agrícola 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)

- Software

Se utilizó el programa Daq View 7,11,08 de IOtech, Inc., Programa para MS Windows, para la adquisición de datos a través del DaqBook 200 y donde posteriormente se guardan en un archivo por medio de la computadora para después ser analizados.

Las galgas extensiométricas empleadas fueron de la marca Kyowa, teniendo una resistencia de 120Ω . Con un factor de galga de 2.11 en ambas partes fueron colocadas como interior y exterior del anillo octagonal extendido, empleando el procedimiento para su montaje el descrito por Sakurai (1996). Para el monitoreo de los momentos y las fuerzas se empleará el diseño de anillo octagonal extendido descrito por Campos *et al.*, (2000). Con una capacidad de 10 kN de fuerza y 8 kN-m de momento.

Se empleó un arreglo de puente de Wheatstone completo para realizar la medición en el cambio de resistencia en las galgas, permitiendo medir galgas estáticas y dinámicas.

3.2 Metodología

Se diseñó un sensor de fuerza de tiro de roturación de 10 kN de capacidad trabajando a una altura máxima de la barra de acoplamiento del carro porta sensores de 0.80 m. Este sensor se integró por un transductor de fuerzas de tipo octagonal de anillo extendido y una herramienta de estallamiento de tipo cincel.

La evaluación de la herramienta se hizo, previa calibración, bajo condiciones de campo a tres profundidades: 0.25, 0.30 y 0.35 m en parcelas de 40.0 m de largo con tres repeticiones. Los datos fueron registrados en el sistema de adquisición (DAQBOOK 200) a velocidades de muestreo de 256 hz.

Los datos que se obtuvieron durante el proceso fueron analizados con el paquete de MATLAB que contiene la transformada rápida de Fourier para el análisis espectral de los datos se utilizó un programa diseñado para este propósito "ANÁLISIS.M"

3.2.1 Consideraciones de diseño de transductor y herramienta de roturación.

Para el diseño del transductor se empleo el programa y el método desarrollado por campos (1993). El cual considera las siguientes variables:

- Momento (N-m).
- Fuerzas de tiro y penetración(N).
- Ultimo Esfuerzo del Acero a ser empleado (Nm^{-2}).
- Factor de seguridad.
- Factor de galga y las ecuaciones de sensibilidad y rigidez.
- Diámetro del anillo, espesor, ancho de octagonal y distancia entre centro de anillos (m).

Para el diseño de la herramienta se empleo las ecuaciones de esfuerzos Combinados (Timoshenko y Gere, 1979).

$$\sigma = PA^{-1} + MI^{-1} \dots \dots \dots \text{ecuación 3.1}$$

Donde:

$\sigma =$ esfuerzo combinado (Nm^{-2})

P= fuerza(N)

A = área (m²)

M= momento (N-m)

I= momento de Inercia (m³)

$$(\sigma_x) = \frac{Mc_1}{I} = \frac{M}{S_1} \dots\dots\dots\text{ecuación 3.2}$$

Donde el modulo de sección es

$$S = \frac{I}{c} \dots\dots\dots\text{ecuación 3.3}$$

Donde:

S= modulo de Sección del área transversal

c= distancia al eje neutro de la superficie exterior.

Para una viga de sección transversal rectangular de anchura (b) y de altura (h), el momento de inercia y el modulo de sección son.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad S = \frac{bh^2}{6} \dots\dots\dots\text{ecuación 3.4}$$

Donde:

b= anchura (m)

h= altura (m)

3.2.2 MONTAJE DE GALGAS

El tipo de galgas STRAIN GAGES empleadas, en ambas partes como interior y exterior del anillo octagonal extendido fueron de 120Ω , de la empresa KYOWA, empleando el procedimiento para su montaje el descrito por Sakurai (1996). Para el monitoreo de los momentos y las fuerzas se empleo el diseño de anillo octagonal extendido descrito por Campos *et al*, (2000). Con una capacidad de 10 kN de fuerza y 8 kN-m de momento.

Se empleo un arreglo de puente de Wheatstone completo para realizar la medición en el cambio de resistencia en las galgas, permitiendo medir galgas estáticas y dinámicas. La configuración de las galgas se muestra a continuación en el puente de Wheatstone (Fig.3.2).

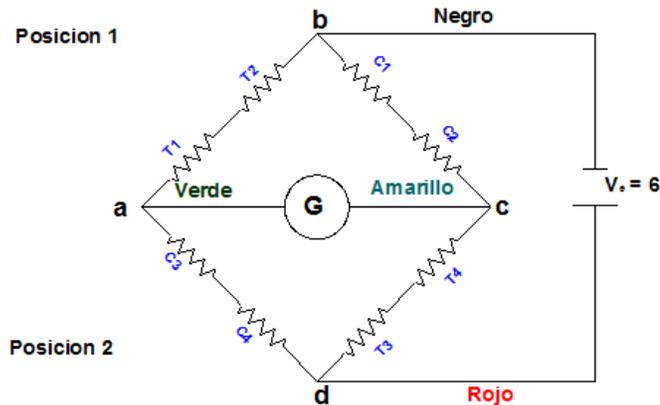


Figura 3.2 Configuración de las galgas en el puente de Wheatstone.

3.2.3 Calibración de transductores

Antes de utilizar el transductor por primera vez, se requiere calibrarlo, esto es determinar la relación voltaje-fuerza y voltaje –momento para un transductor como sigue:

- a) Se instaló el equipo de adquisición de datos en el tractor John Deere modelo 6403 y se activó el programa de Daq view.
- b) Se coloca el transductor en forma vertical y colgado verticalmente de uno de los extremos de la herramienta una canastilla para ir colocando los contrapesos, así el transductor sufrió deformación. Para quitárselos posteriormente hasta volver a su forma original.
- c) Se agregaron contrapesos consecutivamente (cuatro contrapesos, Cuadro 3.1) generando un archivo de datos para la acumulación de pesos.



Figura 3.3 Carga y Descarga de los contrapesos.

Cuadro 3.1. Pesos y posiciones de las Cargas y distancias utilizadas en la calibración.

N° Contrapesos	Pesos (KG)	Distancias (m)
1	45.5	0.35
2	45.5	0.445
3	45.5	0.55
4	44.0	

Se analizaron los datos obtenidos en los archivos y relacionando los valores tanto de cada distancia como de cada carga y descarga. Para la determinación de las ecuaciones de calibración fuerza-volts y momento-volts; se realizó un análisis de regresión empleando el paquete estadístico de MINITAB.

3.2.4 Pruebas de campo con transductor Anillo extendido

Una vez lograda la calibración se procedió a realizar las pruebas en condiciones de campo dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Empleando el carro porta implementos y el tractor acondicionado para este propósito. (Figura 3.4)



Figura. 3.4 Tractor y carro porta sensores empleados en campo para medir la resistencia al estallamiento.

La evaluación en campo consistió en determinar las magnitudes de las fuerzas de reacción del suelo así como la determinación del momento a 3 diferentes profundidades. 250, 300 y 350 mm. Por cada tratamiento se realizaron dos repeticiones. Las distancias de recolección de datos fue de 40.0 metros; con una velocidad de 3 kmh^{-1} .

IV. RESULTADOS

4.1 Resistencia a la penetración de la parcela de evaluación.

En la Figura (4.1) y en el Cuadro (4.3) se muestran los datos de calibración del dinamómetro de Ring, con capacidad de 5 kN, empleado para la determinación de la resistencia a la penetración en la parcela de evaluación para la determinación del diagnóstico de la resistencia a la roturación del suelo.

En esa calibración se emplearon pesos de 250 N cada uno, fijando los instrumentos a una velocidad de muestreo de 50Hz.

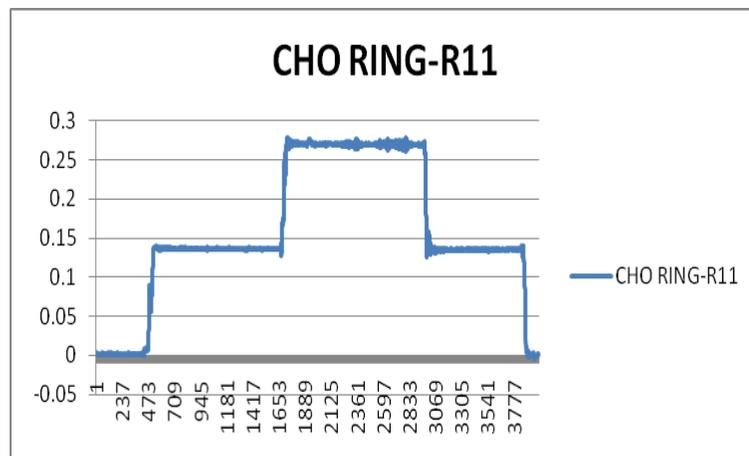
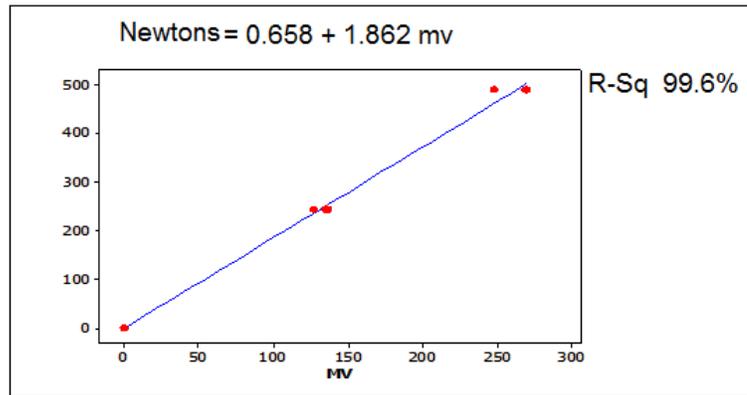


Figura 4.1. Calibración de la Fuerza de Ring, con capacidad de 5 kN.

Cuadro 4.3. Datos de las calibraciones del Ring, para determinar las Fuerzas que actúan en el Penetrometro.

REPETICIONES	MV	FUERZA (N)
R11	245.25	136.4
R12	490.5	270.0
R13	245.25	135.1
R21	245.25	135.6
R22	490.5	269.2
R23	245.25	136.2
R31	245.25	127.3
R32	490.5	247.7
R33	245.25	127.1

En la figura (4.2) se muestra la curva de respuesta de los (mv) obtenidos con las cargas aplicadas. En esta se aprecia un alto coeficiente de correlación (R-Sq) de más del 99%, lo cual nos da una alta confiabilidad de los datos a obtener bajo



condiciones de campo.

Figura 4.2. Ecuación de respuesta, Fuerza, de Ring con capacidad de 5 Kn.

En las figuras (4.3) y (4.4) se muestran ejemplos del monitoreo de la resistencia a la penetración en el predio de evaluación. Así mismo en el Cuadro (4.4) se muestra la resistencia a la penetración en cuatro puntos de muestreo.

En este cuadro de resumen se aprecia que en dos de los cuatro puntos de muestreo solo se alcanzo a llegar a los 20 cm profundidad con una resistencia a la penetración de 1000 kPa. Donde se encuentra la capa compacta de suelo.

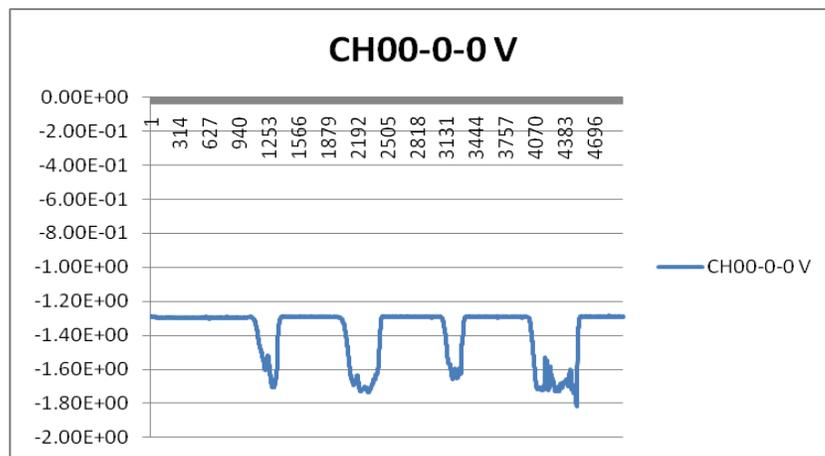


Figura 4.3. Monitoreo de la magnitud de **Fuerza** con Anillo de capacidad de 5 kN y cono de área perimetral de 0.000871257 m².



Figura 4.4. Monitoreo de la magnitud de **Fuerza** con Anillo de capacidad de 5 Kn.

Cuadro 4.4. Resistencia a la Penetración, en kPa, a cuatro diferentes profundidades (100-400 mm) en el terreno de evaluación. Se encuentra en el Anexo 1 Figura A-4.

Profundidad / mm	Puntos de muestreos (kPa)			
	1	2	3	4
100	362.9	405.6	768.5	768.5
200	832.6	918.0	597.8	832.6
300			832.6	640.5
400			747.2	982.0

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 Caracterización y Calibración del Dinamómetro Octagonal de Anillo Extendido

En la figura (4.5) se muestran las características de diseño del Anillo Octagonal Extendido, con una capacidad de 10 kN y 8 kN-m, para medir los requerimientos de energía en forma dinámica en la labranza primaria y para posteriormente Geo Referenciarlos, empleando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

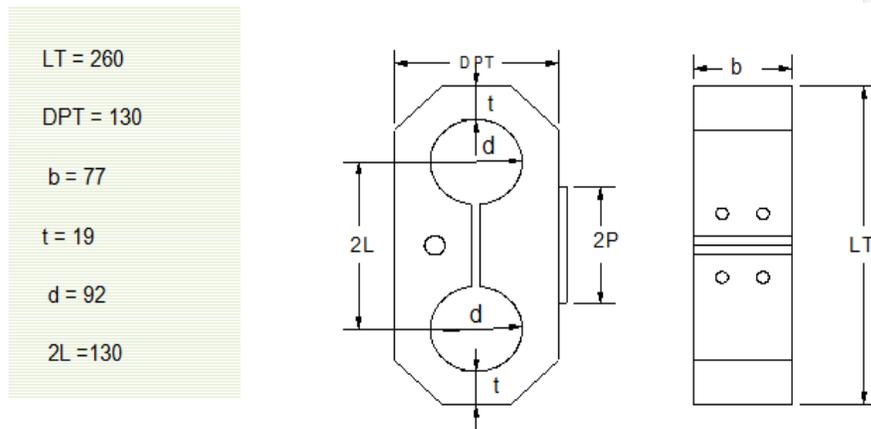


Figura 4.5. Dimensiones del transductor octagonal extendido. Acero 1045, Templado en aceite. Con una resistencia a la tensión de 430 MPa.

En la figura (4.6) se muestra el cableado y los arreglos de las Galgas en puente de Wheatstone, para medir tanto la fuerza de tiro, como el Momento producido por la localización de la fuerza resultante.

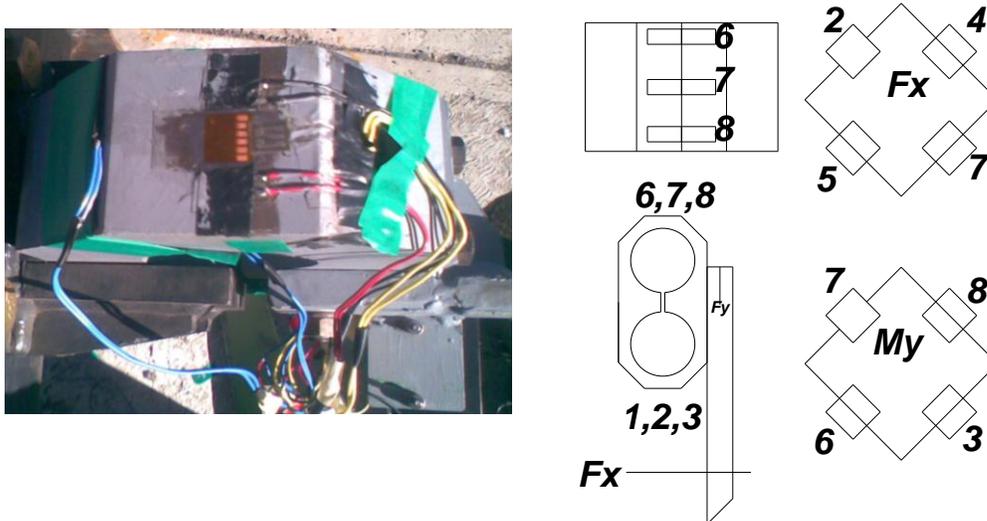
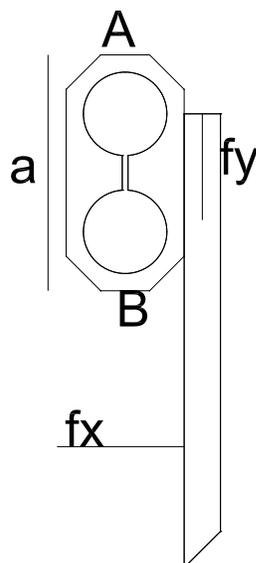


Figura 4.6 (a)

Figura (b)

Figura 4.6 Sensor de fuerzas de roturación del suelo. (a) Cableado de transductor octagonal de anillo extendido. (b) Representación de las fuerzas actuando en el Dinamómetro Herramienta de roturación y arreglo de circuitos con galgas extensiométricas en puente de Wheatston.

En el anexo (E) se muestra el análisis de las deformaciones producidas por el momento producto de la magnitud y la localización de la fuerza resultante. Este análisis complementado con las facilidades que da el arreglo de puente de Wheatstone permite la realización de suma o diferencia de deformaciones.



$$X = (MA + MB - F \cdot a) \cdot (2F)^{-1} \dots \text{Ecuación 4.1}$$

$$F = (MA - M) \cdot a^{-1} \dots \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

M= momento en (A y B)

F= fuerza en (X)

a= distancia entre galgas externas

En la figura 4.7 se muestra las características de las galgas extensiométricas montadas en el elemento sensor. Es importante mencionar, que se requiere seguir el procedimiento descrito por Sakurai (1996), para el montaje de las galgas así como su verificación de aislamiento, debiendo este ser superior a las 50 MΩ

KYOWA		MADE IN JAPAN	
STRAIN		GAGES	
TYPE	KFG-5-120-D17-11N30C2	GAGE FACTOR (24°C, 50%RH)	2.11 ± 1.0 %
TEMPERATURE COMPENSATION FOR	STEEL	ADOPTABLE THERMAL EXPANSION	11.7 PPM/°C
GAGE LENGTH	5 mm	TRANSVERSE SENSITIVITY (24°C, 50%RH)	0.40 %
GAGE RESISTANCE (24°C, 50%RH)	119.6 ± 0.4 Ω	TEMPERATURE COEFFICIENT OF GAGE FACTOR	+0.008 %/°C
LOT No.	Y2757 BATCH 019A D12	APPLICABLE GAGE CEMENT	CC-33A, PC-6
			QUANTITY 10

Figura 4.7 Especificaciones de galgas extensiométricas, empleadas en los elementos sensores, en arreglos de puente de wheatstone.

En la Figura (4.8) se muestran las cargas aplicadas con contrapesos, de 450 Newtons cada uno, según el procedimiento seguido para la determinación de las constantes de calibración, tanto para la magnitud de la fuerza en el plano(x) como su localización.



Figura 4.8. Proceso de calibración del sensor octagonal de anillo extendido. (a) tractor con carro porta sensores y transductor de fuerzas de roturación. (b) contrapesos empleados en la calibración.

En las Figuras (4.9) (4.10) se muestran ejemplos de las graficas de los datos obtenidos en la calibración del sensor octagonal extendido, tanto para la Fuerza (FX) como para el Momento (MX) en el plano horizontal de acuerdo con los arreglos de puente de wheatstone mostrados en la figura(4.7).

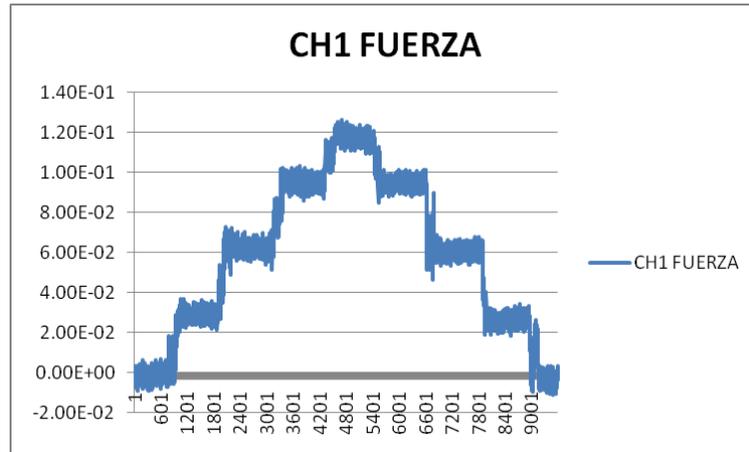


Figura 4.9. Calibración, de la Fuerza, de Octagonal extendido con capacidad de 8 kN. A una posición de la fuerza de 270 mm con respecto al centro del sensor.

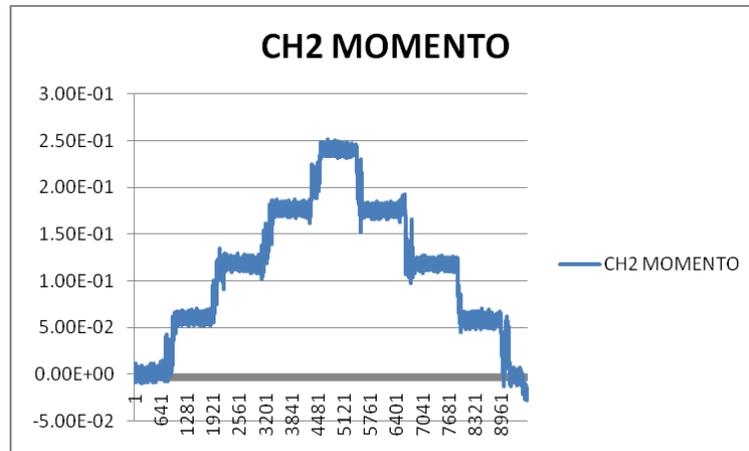


Figura 4.10. Calibración, del Momento, de Octagonal extendido con capacidad de 8 kN-m. A una posición de la fuerza de 270 mm con respecto al centro del sensor.

En el cuadro (4.5) se muestran las medias de las Fuerzas (FX), en carga y descarga, obtenidos con tres diferentes posiciones de las cargas con respecto al centro del Ring Extendido. En estas se muestra la baja sensibilidad del sensor a los cambios de posición de la fuerza, sobre todo a profundidades de trabajo mayores a 0.45 cm.

Cuadro 4.5. Datos de calibración de Fuerzas (N) en mili volts (mv) del octagonal de anillo extendido, en tres posiciones con respecto al centro del sensor.

Fuerza (N)	Posiciones		
	0.35 m	0.445 m	0.55 m
446.4	28.8	35.1	38.1
892.7	64.1	69.9	68.1
1339.1	89.7	90.1	85.0
1726.6	110.1	109.4	103.8

En la Figura (4.11) se muestra la curva de regresión obtenida mediante los datos de calibración, empleando el paquete estadístico de Minitab. En él se aprecia un alto coeficiente de correlación (R-Sq) de más del 99% entre las cargas aplicadas (N) y los valores obtenidos (mv). Esta linealidad de respuesta del sensor, nos da una alta confiabilidad de los datos a obtener bajo condiciones de campo.

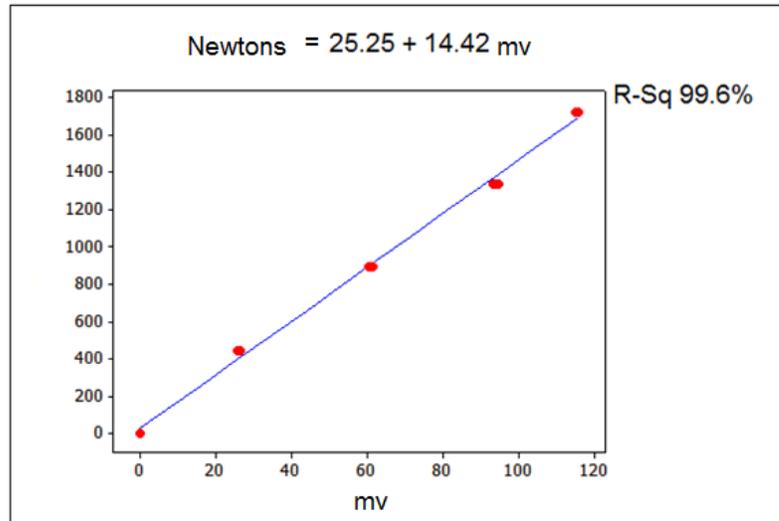


Figura 4.11. Ecuación de respuesta, de la Fuerza, en carga y descarga, de Octagonal de Anillo Extendido con capacidad de 10 kN.

En el Cuadro (4.6) se muestran los datos obtenidos con las cargas escalonadas a tres diferentes posiciones, para la determinación del Momento (MX), tanto de bajada como de subida de los pesos empleados en la calibración. En la Figura (4.12) se muestra la curva de regresión obtenida mediante los datos de calibración, empleando el paquete estadístico de Minitab. En él se aprecia un alto coeficiente de correlación (R-Sq) de más del 98% entre las cargas aplicadas (N) a las diferentes posiciones y los valores obtenidos (mv).

Cuadro 4.6. Datos de calibración de Momentos (N-m) del Octagonal extendido, en tres posiciones con respecto al centro del sensor.

Distancias (m)	Peso (N)	M1 + M2 (N-m)	Carga (m-v)	Descarga (m-v)
0.35	446.4	196.4	56.6	60.7
	892.7	392.8	116.6	119.2
	1339.1	589.2	173.3	178.3
	1726.6	759.7	236.4	236.4
0.445	446.4	281.2	93.9	93.3
	892.7	562.4	184.1	189.8
	1339.1	843.6	286.4	288
	1726.6	1087.8	362.1	396.1
0.55	446.4	375.0	115.2	114.8
	892.7	749.9	231.6	239.2
	1339.1	1124.8	360.1	372.3
	1726.6	1450.3	495.5	495.5

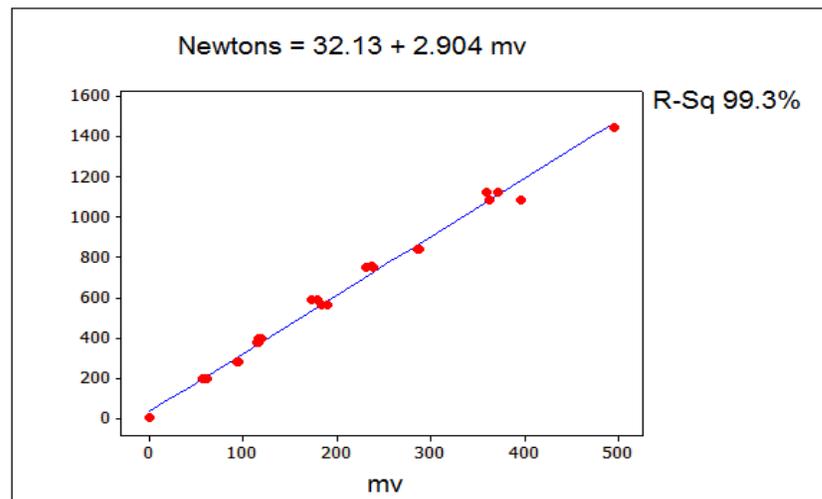


Figura 4.12. Ecuación de respuesta, de Momento en carga y descarga, de octagonal extendido con capacidad de 8.0 kN.

4.3 Evaluación del Sensor Octagonal de Anillo Extendido para determinar la fuerza de roturación en forma dinámica y la localización de áreas compactadas

En la figura (4.13) se muestra una fotografía de la evaluación del sistema bajo condiciones de campo. En la figura (4.14) se puede apreciar la variación de la demanda de fuerza para la roturación del suelo cuando se trabaja con la herramienta a tres diferentes profundidades. En ellas se aprecia que existe una capa dura a partir de la profundidad de 25 cm, haciéndose de manifiesto esto, cuando la herramienta trabajó a los 35 cm de profundidad la capa del suelo se encontró más compacta ya que a esa profundidad no se ha trabajado y lo podemos apreciar en estas figuras, donde se muestra la demanda de fuerza en tiempo real, se pone de manifiesto la importancia y la determinación por zonas de la demanda de energía y la localización de las áreas compactadas una vez habilitado el AgGPS.



Figura 4.13 Evaluación en campo para calcular la Fuerza (F_x) y Momento (F_y) a diferentes profundidades.

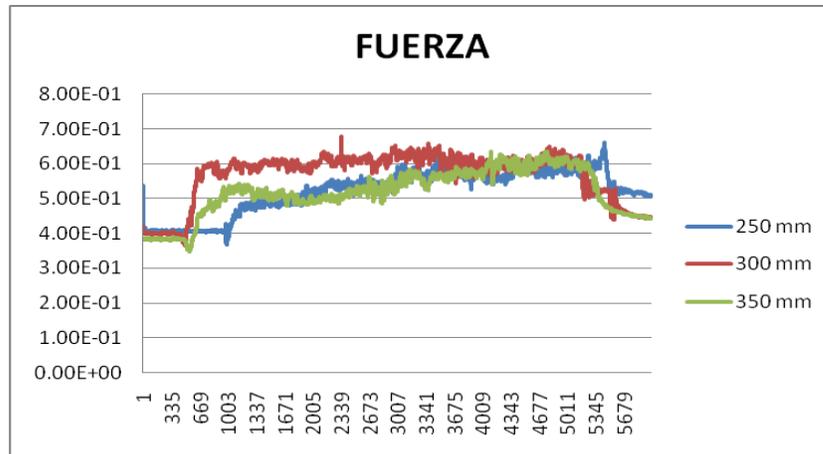


Figura 4.14. Datos de Fuerza de roturación del cincel en campo a 250,300 y 350 mm de profundidad.

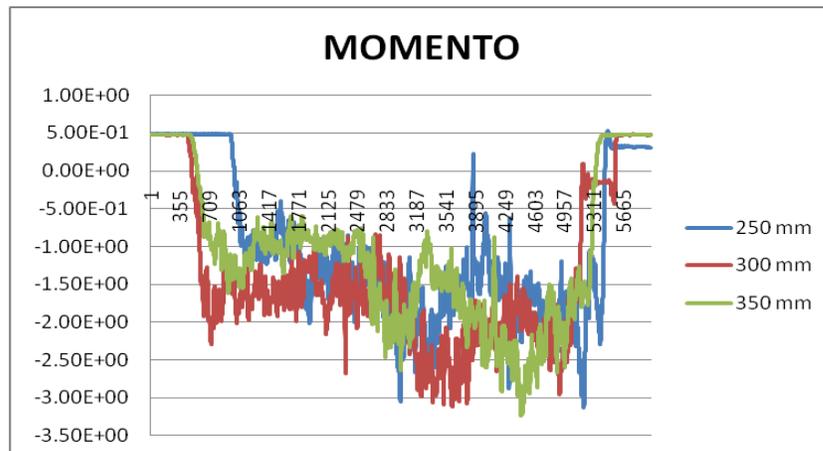


Figura 4.15. Datos del Momento del cincel en campo a 250, 300 y 350 mm de profundidad.

En el cuadro (4.7) se muestra la tendencia de la demanda de la fuerza, conforme se trabaja a distintas profundidades la herramienta de trabajo. Sin embargo la real utilidad de esta herramienta para el diagnostico de ambientes es en la localización de áreas y su gradiente con compactación en el manejo de Sitios Específicos.

Cuadro 4.7. Datos obtenidos de las corridas en campo con el octagonal extendido.

Profundidad mm	CORRIDAS EN CAMPO -MATLAB		SUMA	Fuerza
	Media (mv)	Máximo Pn (mv)	M+PN(mv)	(N)
250	94.6	9.1	103.7	1495.4
300	114.7	10.3	125.0	1803.0
350	122.0	16.8	138.8	2001.0

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se desarrollo un sensor integrado por un Ring Octagonal Extendido y una herramienta de roturación con una alta linealidad en su respuesta, tanto en la determinación de la magnitud de la fuerza de tiro como en el momento, con coeficientes de correlación de más del 98%.
- Los resultados obtenidos en la evaluación en campo, muestran en tiempo real tanto la demanda de fuerza para la roturación de suelo como la profundidad donde se localizan las áreas compactadas.
- La calidad de Los datos obtenidos puede permitir hacer una correlación entre mapas de prescripción de resistencia a la penetración la fuerza y momento de roturación del suelo.

VI. LITERATURA CITADAS

1. Andrade Sánchez, Pedro. 2005. Construcción de un bastidor porta-sensores para medir el estado físico-mecánico del suelo. Memoria del XV Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola Campo Experimental Cotaxtla Octubre 2005.
2. Bongiovanni R, Ph.D. 2003. Revista IDIA del INTA.
3. *Bragachini M; Andrés Méndez y Fernando Scaramuzza. 2004. Agricultura de Precisión y Siembra Variable de insumos en tiempo real mediante el uso de GPS y una prescripción con sembradora IOM Inteligente Mega de 12 surcos a 52,5 cm. INTA Manfredi.*
4. *Bragachini M; Axel von Martini, Andrés Méndez. 2000. Alcances y Precisión Monitores Rendimiento. INTA Manfredi.*
5. Campos Magaña, S. G.; Brian Wills; Cadena, Z, M. 1992. Consideraciones para el Diseño de Transductores Octagonales y su aplicación en la Evaluación de Implementos de Labranza. Memoria del II Congreso Nacional. Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola. Irapuato, Gto., México.
6. Campos Magaña, S.G.1993. Development of minimum maize plante for Mexican agriculture. unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.
7. Cañavate, J. O. 1989. Técnica de Mecanización Agraria, Madrid España, Mundi-Prensa.
8. Cerisola Cecilia. Ventajas de utilizar la Penetrometría en sencillos modelos linealizables para conocer la densidad aparente seca de un suelo. Manejo y Conservación de Suelos. Dpto. Ambiente y Recursos Naturales; Fac. Cs. Agr.YFtales.U.N.L.P.
<http://www.suelos.org.ar/penetrometria%20Cecilia%20Cerisola.pdf>
9. Convertidor analógico digital DAQ BOOK 200/2000.
[http:// www.iotech.com.mx](http://www.iotech.com.mx)

10. Cooper, William D.; Helfrick, Albert D. 1991 Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición.
11. De León González, F.1, Payán Zelaya, F. y S. Sánchez R. Localización de las capas compactadas en el perfil del suelo mediante la penetrometría. Identification of soil Compacted Layers Using a Cone Digital Penetrometer <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/16/4/art303-307.pdf>
12. Flamand Rodríguez C. L. 1995. Introducción a la Mecánica de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, Dirección General de Difusión Cultural, Dpto. de Publicaciones.
13. Kepner, R. A., Barger, E.L. 1978 Principles of Farm Machinery. Third Edition, The AVI Publishig Company, Inc Connecticut.
14. 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.
15. Moo Yam V. 1999. Desarrollo y valoración de un sistema de adquisición de datos para la evaluación de implementos de labranza Tesis de maestría, Universidad Veracruzana.
16. Ortiz, Cañabate J., Hernández J. I 1989 Técnica de la Mecanización Agraria. Edición Mundi – Prensa, Madrid. España

ANEXOS

Anexo A. Calibración del sensor de anillo para su uso con Penetrometro

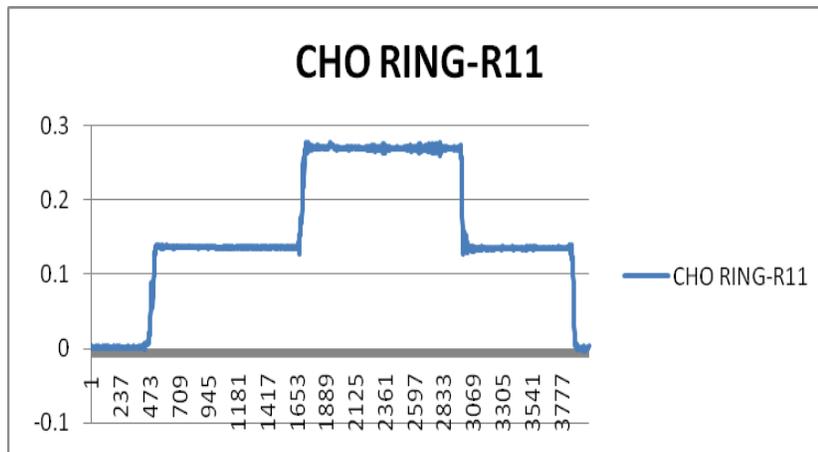


Figura A-1 Calibración de **Fuerza** del Ring de capacidad de 5 kN en primera posición.

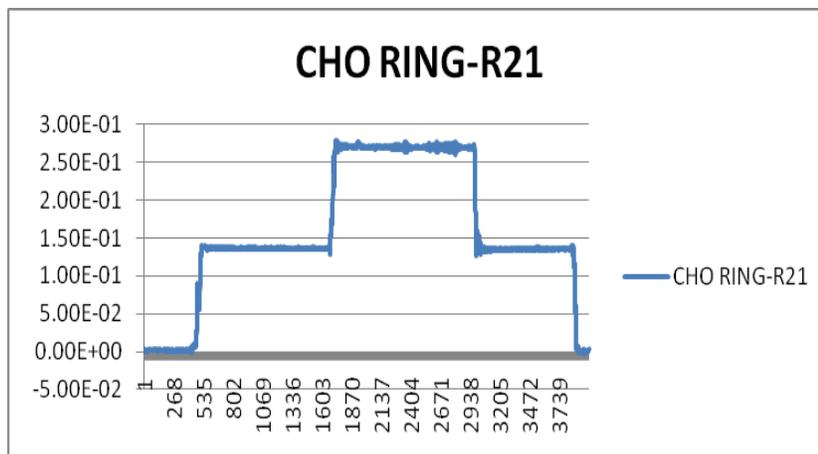


Figura A-2 Calibración de **Fuerza** del Ring de capacidad de 5 kN segunda posición.

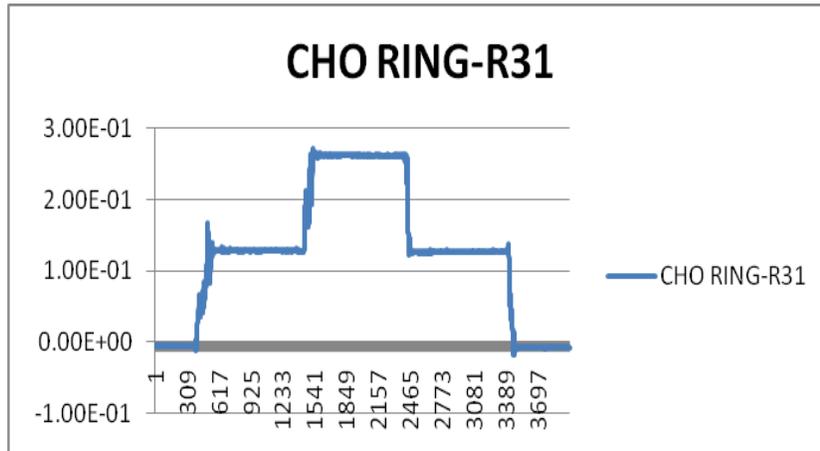


Figura A-3 Calibración de **Fuerza** del Ring de capacidad de 5 Kn Tercera posesión.

Anexo B. Datos obtenidos del Penetrometro con el sensor de anillo.

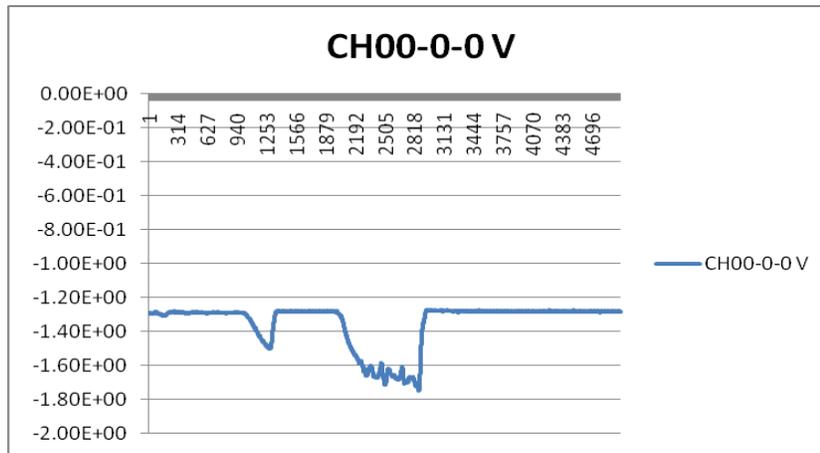


Figura B-1 Monitoreo de Magnitud de fuerzas con el Penetrometro a cada 5.0 metros.

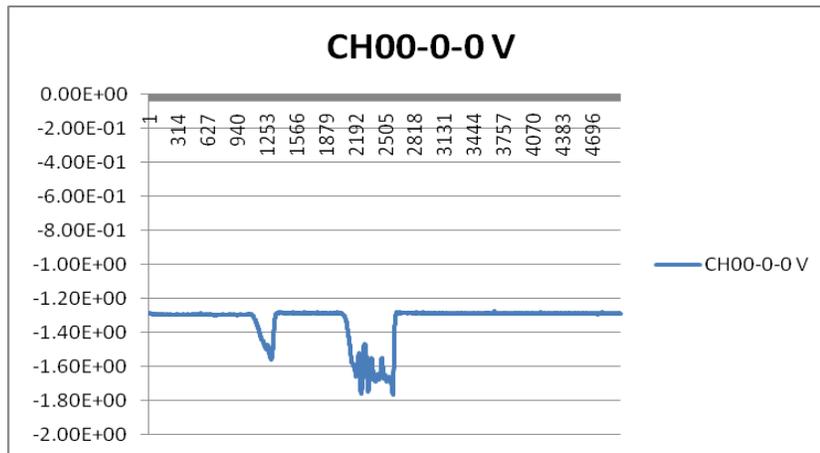


Figura B-2. Monitoreo de Magnitud de fuerzas.

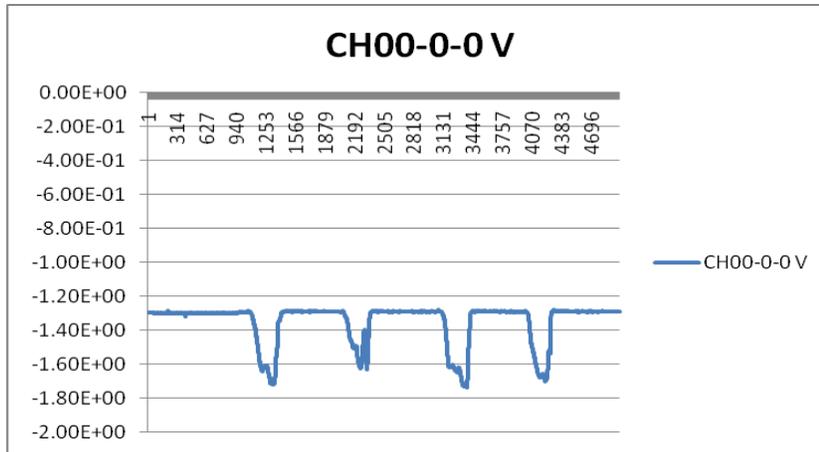


Figura B-3. Monitoreo de Magnitudes de fuerzas.

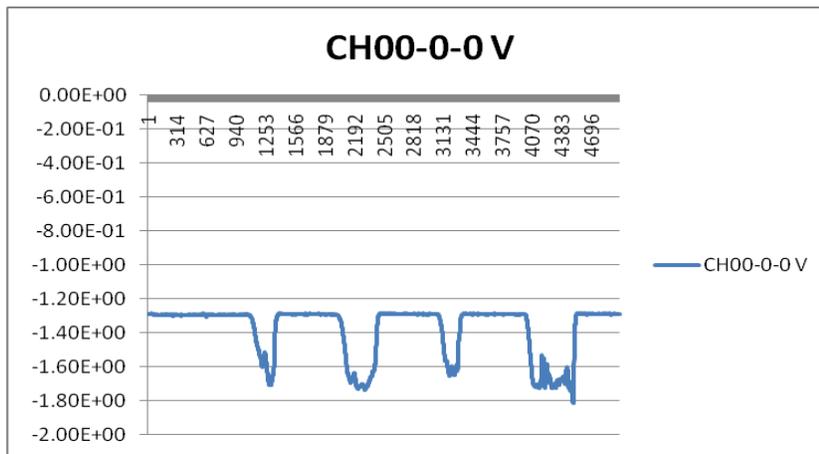


Figura B-4 Monitoreo de Magnitudes de fuerzas.

Anexo C. Detalle de Cada datos de calibración de octagonal de anillo extendido. Con diferentes cargas a diferentes posiciones

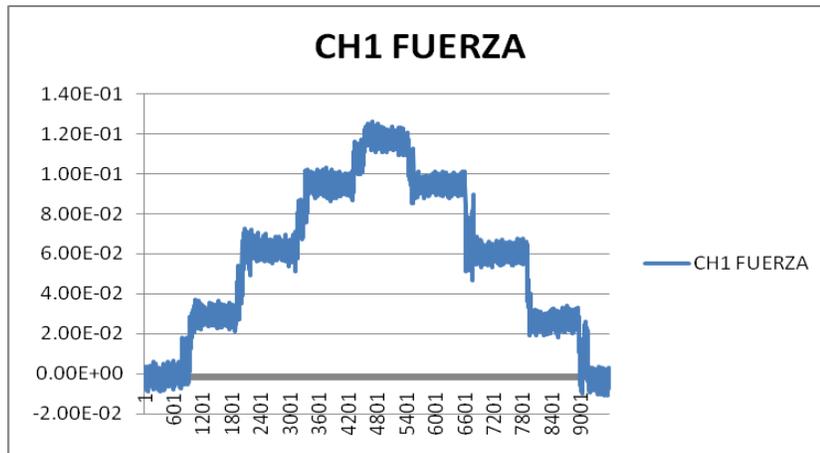


Figura C-1 Calibración de la **Fuerza (F_x)** del octagonal extendido a una posición de 270 mm con respecto al centro del octagonal.

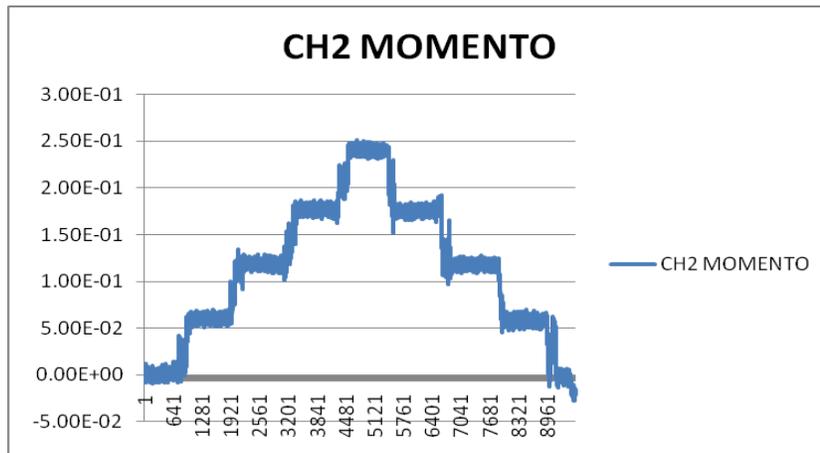


Figura C-2. Calibración del **Momento (F_y)** del octagonal extendido a una posición de 270 mm con respecto al centro del octagonal.

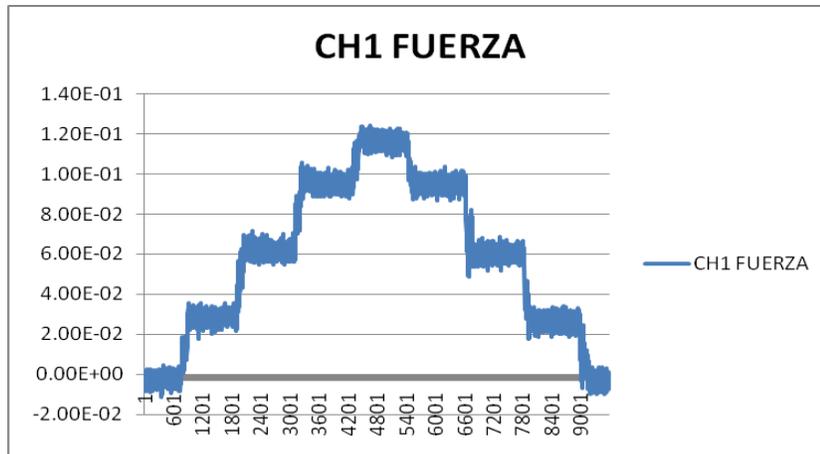


Figura C-3. Calibración de la **Fuerza (F_x)** del octagonal extendido a una posición de 270 mm con respecto al centro del octagonal

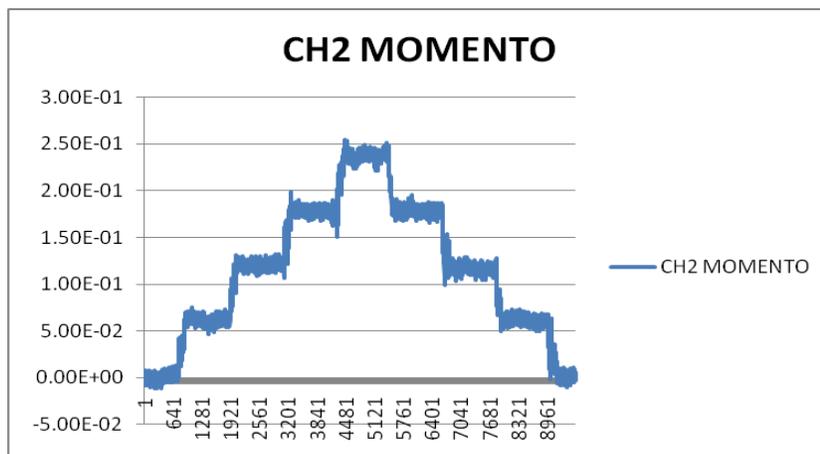


Figura C-4. Calibración del **Momento (F_y)** del anillo octagonal extendido a una posición de 270 mm con respecto al centro del octagonal

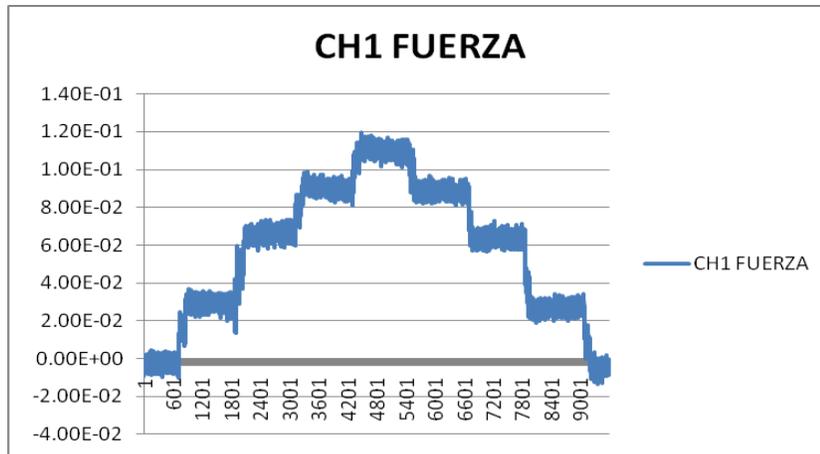


Figura C-5. Segunda calibración de la **Fuerza (F_x)**. del anillo octagonal extendido. Primera posición de 350 mm con respecto al centro del octagonal.

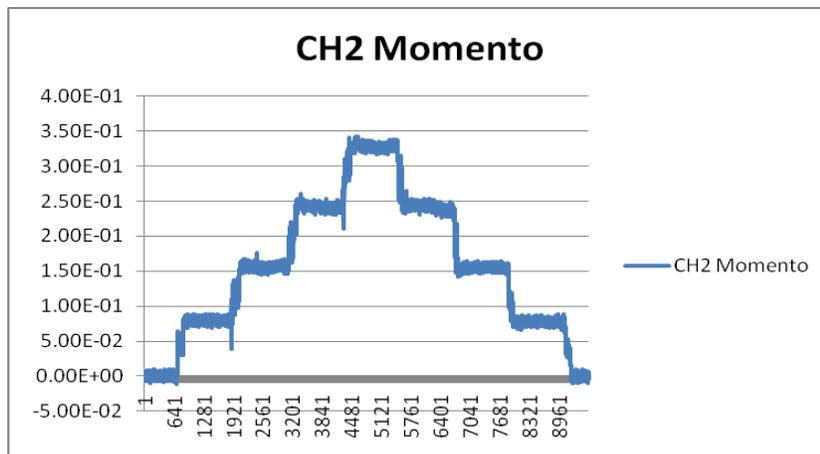


Figura C-6. Segunda calibración del **Momento (F_y)**.del anillo octagonal extendido. Primera posición de 350 mm con respecto al centro del Octagonal.

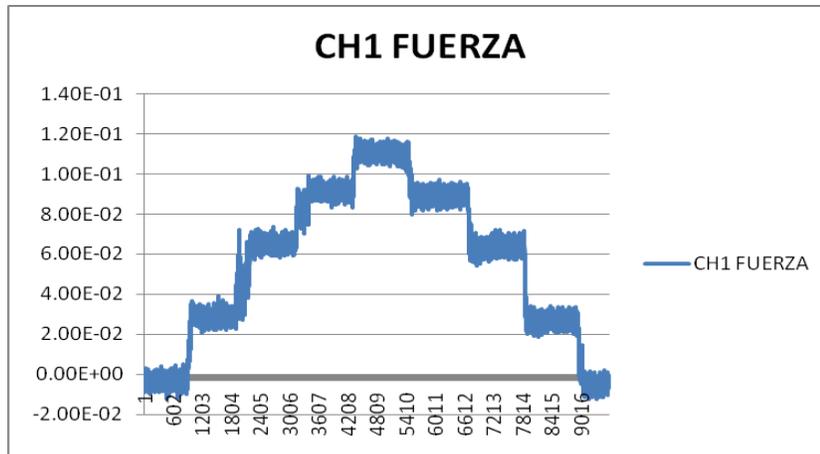


Figura C-7. Segunda calibración de **Fuerza (Fx)**. del anillo octagonal extendido. Segunda posición de 350 mm con respecto al centro del Octagonal.

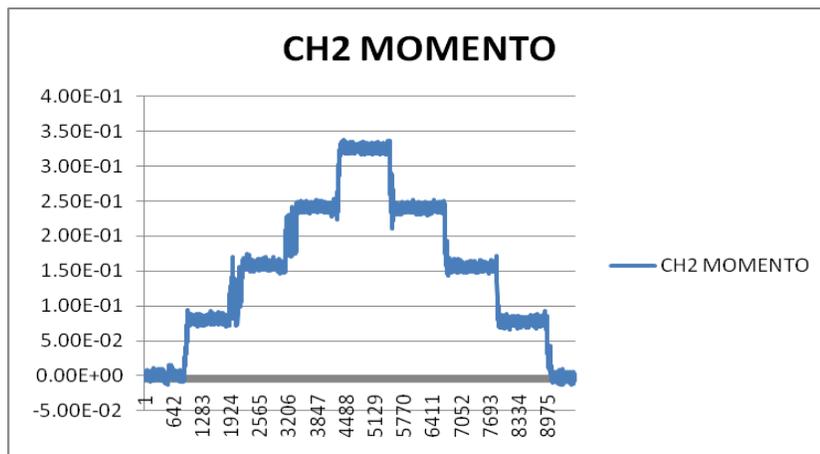


Figura C-8. Segunda calibración del **Momento (Fy)**. del anillo octagonal extendido. Segunda posición de 350 mm con respecto al centro del Octagonal.

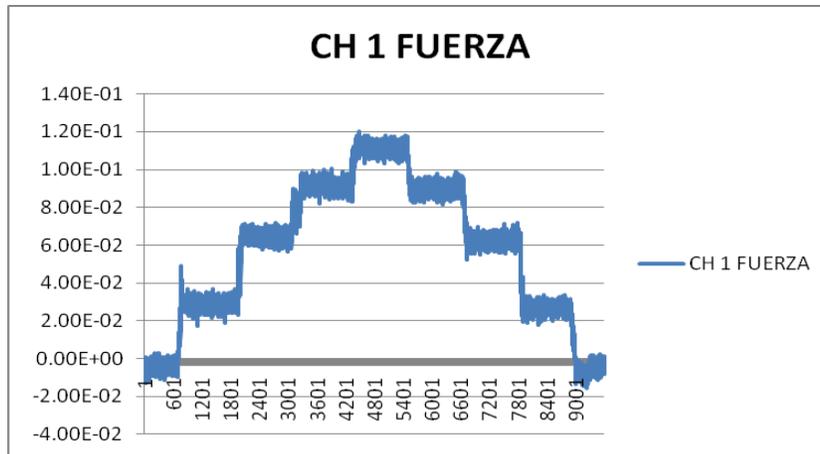


Figura C-9. Segunda calibración del **Fuerza (F_x)**, del anillo octagonal extendido. Tercera posición de 350 mm con respecto al centro del Octagonal.

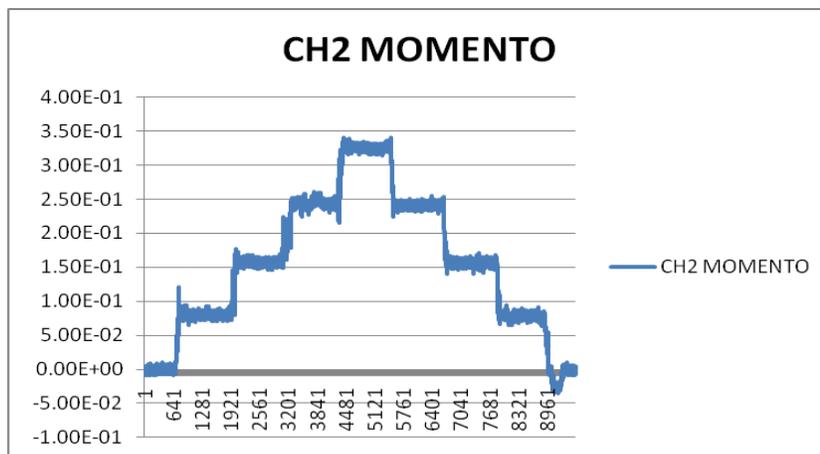


Figura C-10. Segunda calibración del **Momento (F_y)**, del anillo octagonal extendido. Tercera posición de 350 mm con respecto al centro del Octagonal.

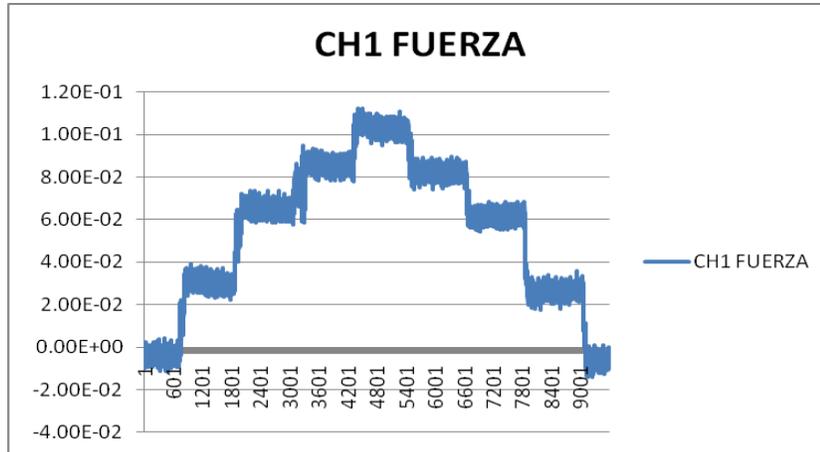


Figura C-11. Tercera calibración de la **Fuerza (F_x)**, del anillo octagonal extendido. Primera posición de 445 mm con respecto al centro del Octagonal.

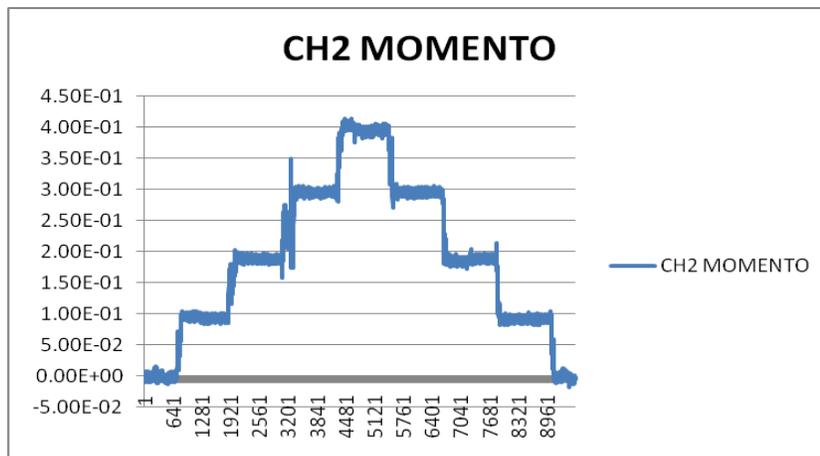


Figura C-12. Tercera calibración del **Momento (F_y)** del anillo octagonal extendido. Primera repetición de 445 mm con respecto al centro del Octagonal.

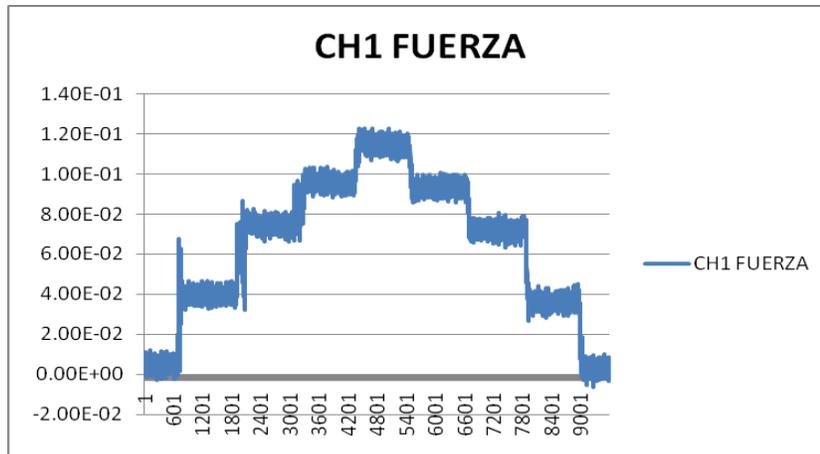


Figura C-13. Tercera calibración de la **Fuerza (F_x)** del anillo octagonal extendido. Segunda repetición de 445 mm con respecto al centro del Octagonal.

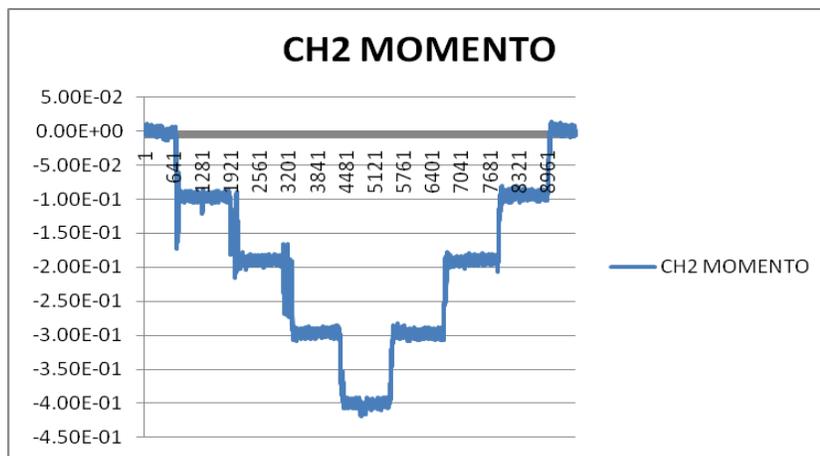


Figura C-14. Tercera calibración del **Momento (F_y)** del anillo octagonal extendido segunda repetición de 445 mm con respecto al centro del Octagonal.

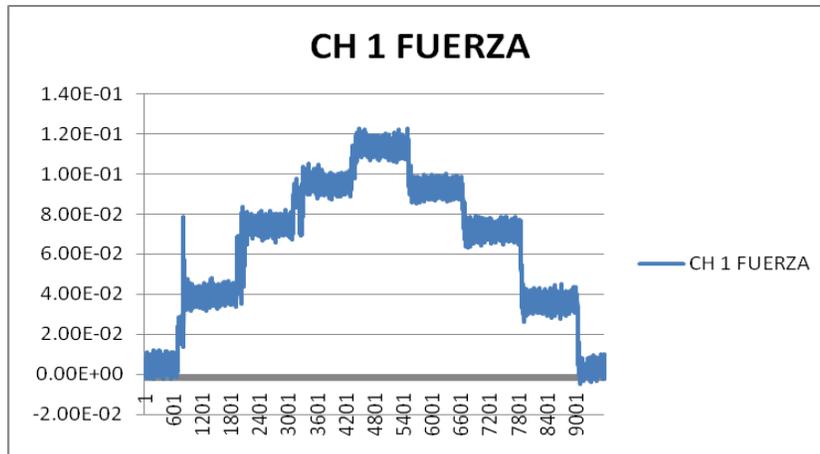


Figura C-15. Tercera calibración de la **Fuerza (F_x)** del anillo octagonal extendido. Tercera repetición de 445 mm con respecto al centro del Octagonal.

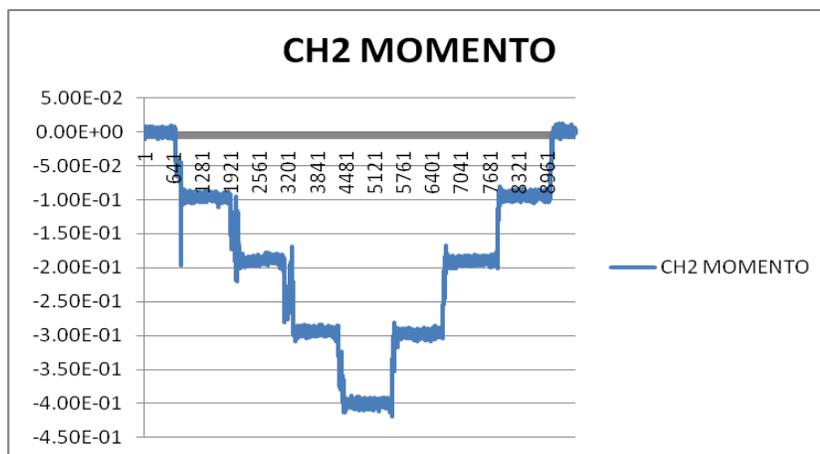


Figura C-16. Tercera calibración del **Momento (F_y)** del anillo octagonal extendido. Tercera repetición de 445 mm con respecto al centro del Octagonal.

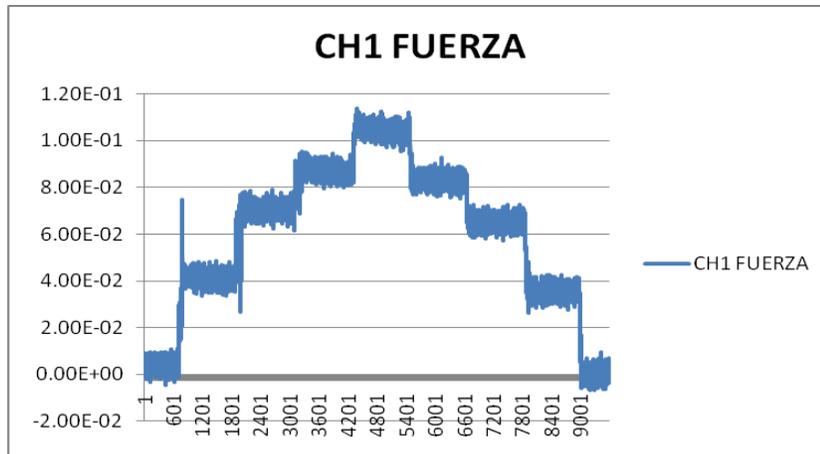


Figura C-17. Cuarta calibración de la **Fuerza (F_x)** del anillo octagonal extendido. Primera repetición de 550 mm con respecto al centro del Octagonal.

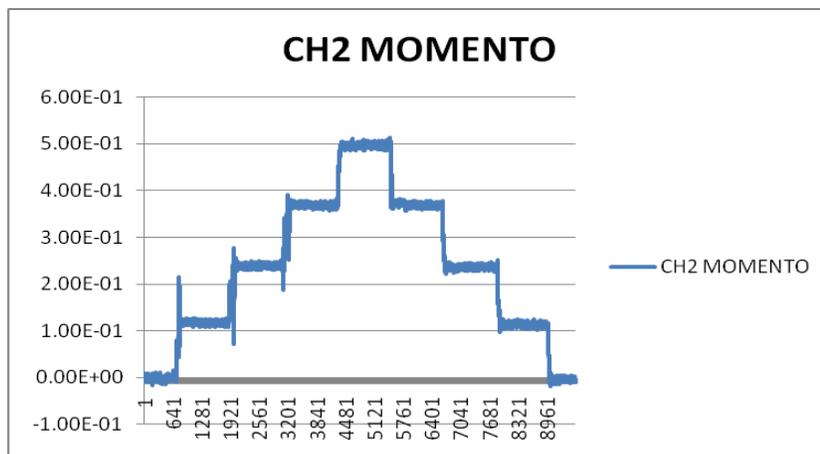


Figura C-18. Cuarta calibración del **Momento (F_y)** del anillo octagonal extendido. Primera repetición de 550 mm con respecto al centro del Octagonal.

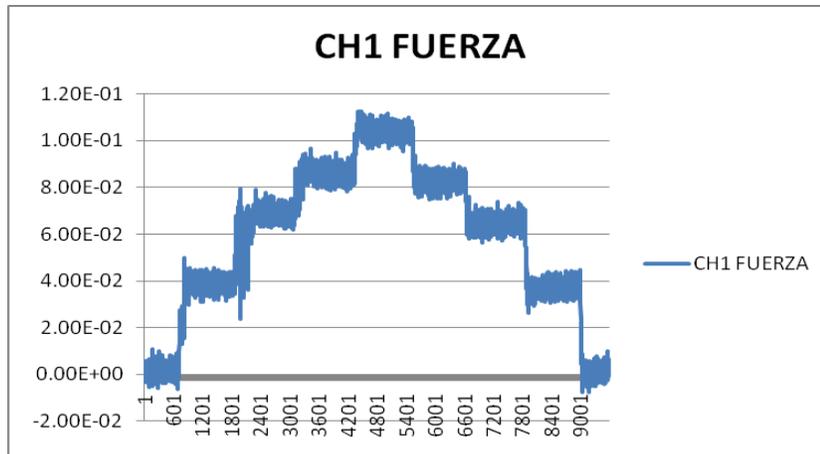


Figura C-19. Cuarta calibración de la **Fuerza (F_x)** del anillo octagonal extendido. Segunda repetición de 550 mm con respecto al centro del Octagonal.

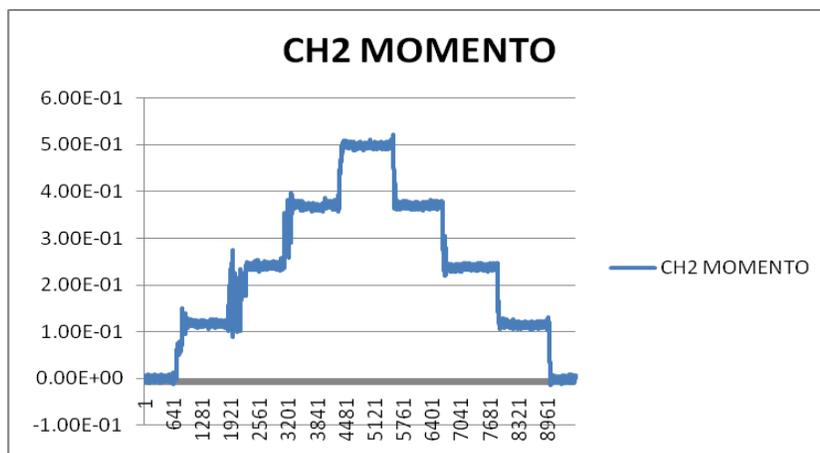


Figura C-20. Cuarta calibración del **Momento (F_y)** del anillo octagonal extendido. Segunda repetición de 550 mm con respecto al centro del Octagonal.

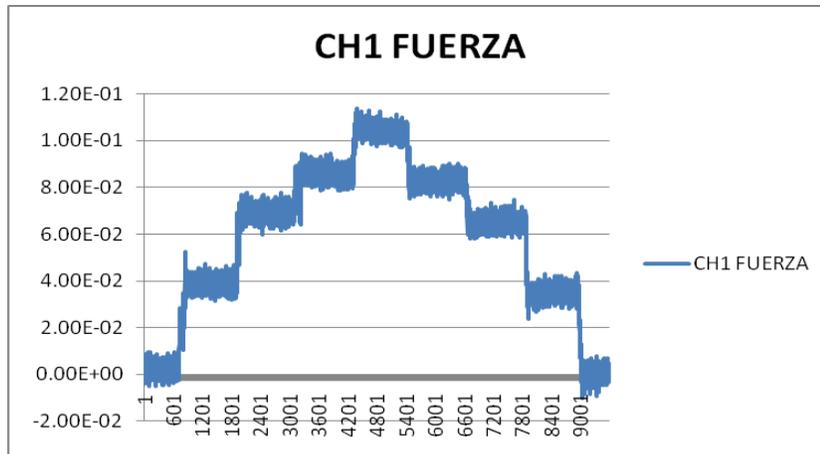


Figura C-21. Cuarta calibración de la **Fuerza (F_x)** del octagonal extendido. Tercera repetición de 550 mm con respecto al centro del octagonal.

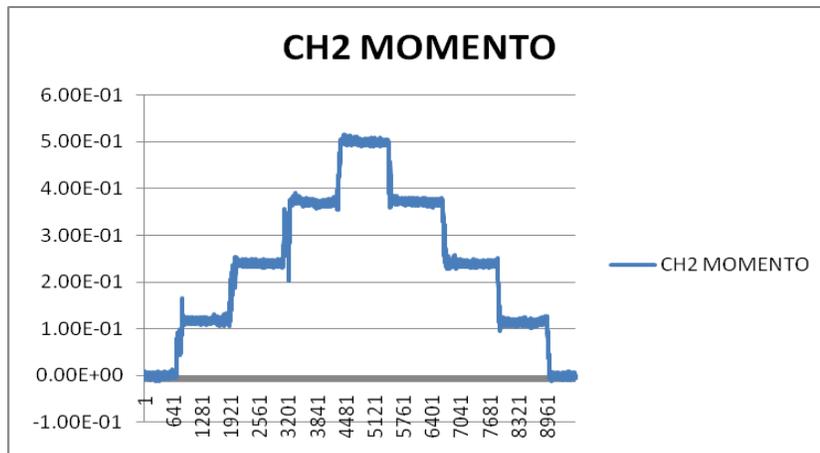


Figura C-22. Cuarta calibración del **Momento (F_y)** del anillo octagonal extendido. Tercera repetición de 550 mm con respecto al centro del Octagonal.

Cuadro C-24 Calibración del Anillo Octagonal Extendido tanto para fuerza y como para momento.

N° Contrapesos	Fuerza (N)	Fuerza (mv)	Momento (mv)
1	446.4	29.3	73.3
	446.4	28.2	79.6
	446.4	28.2	79.5
2	892.7	65.5	156.2
	892.7	63.6	155.5
	892.7	63.1	154.6
3	1339.1	90.5	243.1
	1339.1	89	241.1
	1339.1	89.7	235.8
4	1726.6	110.6	327.1
	1726.6	109.9	322.5
	1726.6	109.7	283.1

Cuadro C-25 Calibración del Anillo Octagonal Extendido tanto para fuerza y como para momento.

N° Contrapesos	Fuerza (N)	Fuerza (mv)	Momento (mv)
1	446.4	28.6	90.1
	446.4	39.1	96.6
	446.4	37.7	94.9
2	892.7	63.7	183.8
	892.7	73	185.4
	892.7	72.9	183.3
3	1339.1	83.2	289
	1339.1	93.6	289.6
	1339.1	93.2	280.7
4	1726.6	102.8	289
	1726.6	113.1	400.4
	1726.6	112.4	396.9

Cuadro C-26 Calibración del Anillo Octagonal Extendido tanto para fuerza y como para momento.

N° Contrapesos	Fuerza (N)	Fuerza (mv)	Momento (mv)
1	446.4	40.3	116.6
	446.4	37	117.6
	446.4	36.9	111.5
2	892.7	69.4	231
	892.7	66.3	230.9
	892.7	68.7	232.9
3	1339.1	84.5	358.7
	1339.1	85.1	360.8
	1339.1	85.5	360.8
4	1726.6	103.2	490.4
	1726.6	104.2	496.7
	1726.6	104.1	499.5

Anexo D. Datos obtenidos bajo condiciones de campo

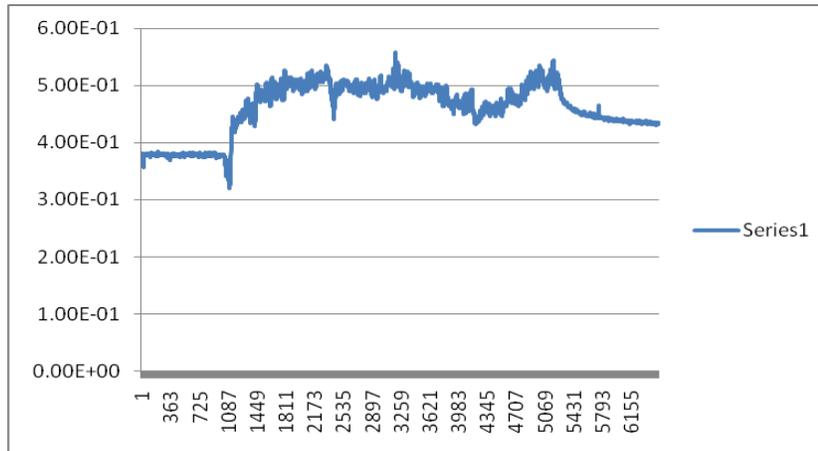


Figura D-1 Pruebas en campo **Fuerza (F_x)** a 250 mm de profundidad.

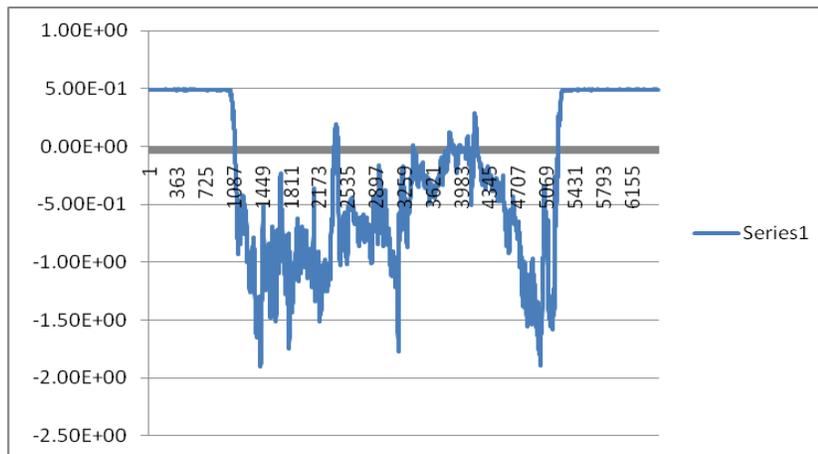


Figura D-2- Prueba en campo **Momento (F_y)** a 250 mm de profundidad.

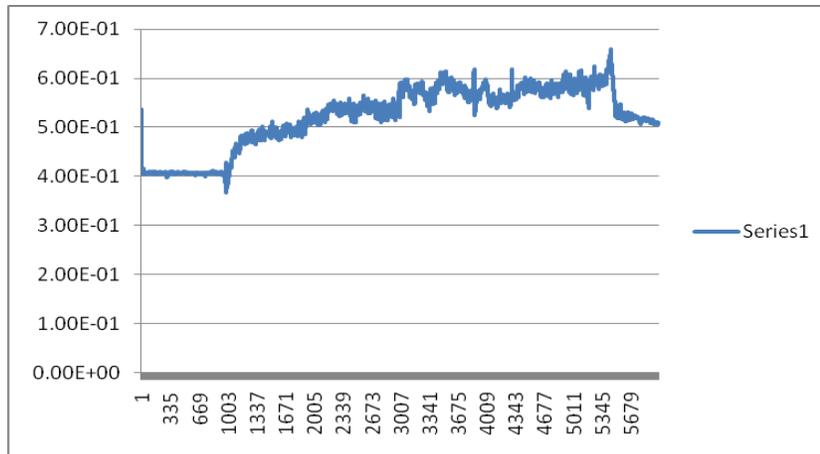


Figura D-3- Prueba en campo fuerza a 250 mm de profundidad.

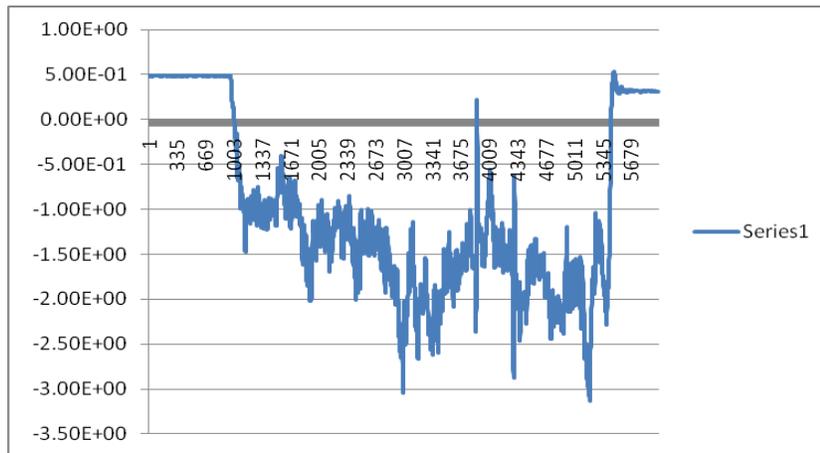


Figura D-4 Prueba en campo Momento a 250 mm de profundidad.

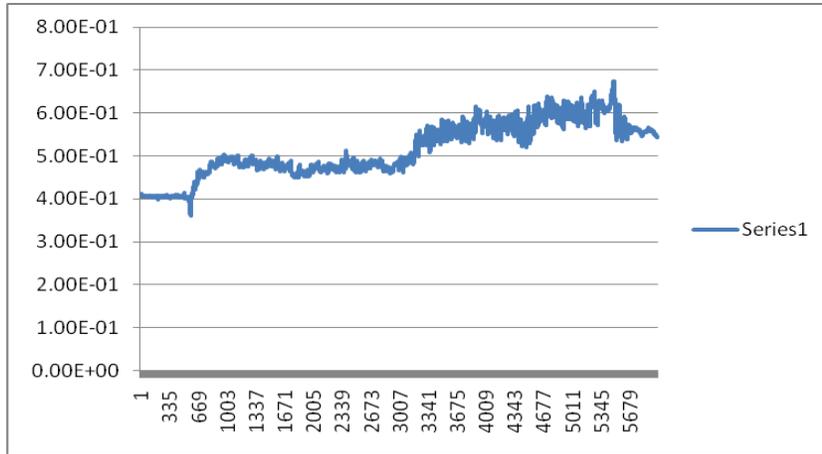


Figura D-5 Prueba en campo **Fuerza (Fx)** a 300 mm de profundidad.

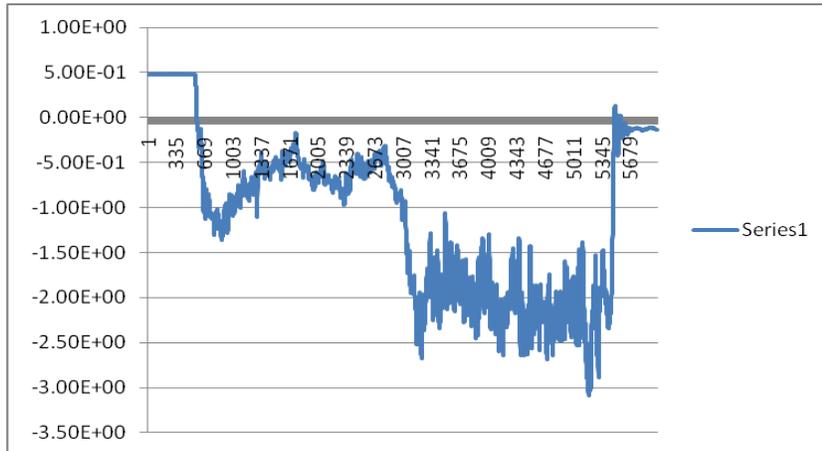


Figura D-6- Prueba en campo **Momento (Fy)** a 300 mm de profundidad.

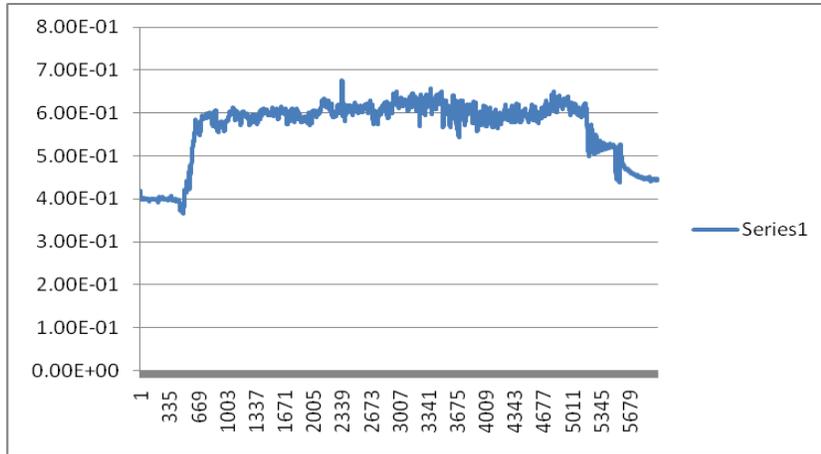


Figura D-7 Prueba en campo **fuerza (Fx)** a 300 mm de profundidad.

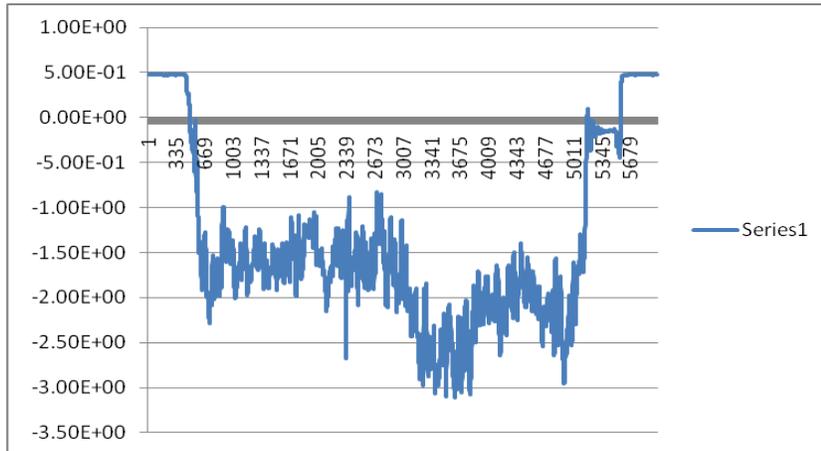


Figura D-8 prueba en campo **Momento (Fy)** a 300 mm de profundidad.

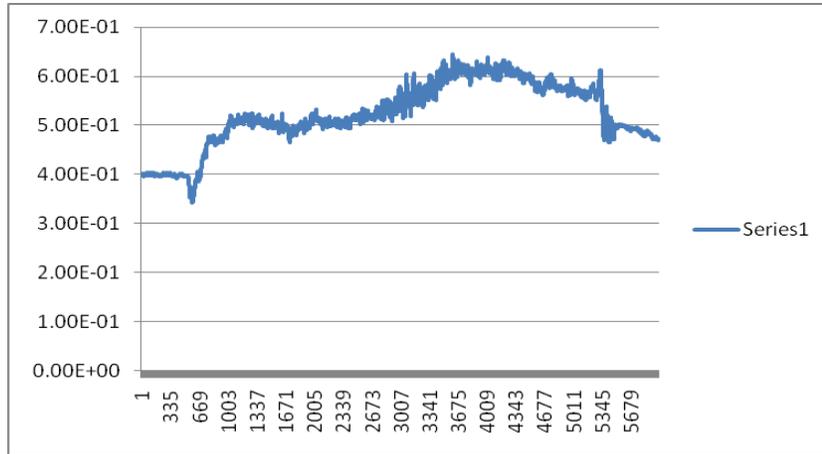


Figura D-9. Prueba en campo **Fuerza (Fx)** a 350 de profundidad.

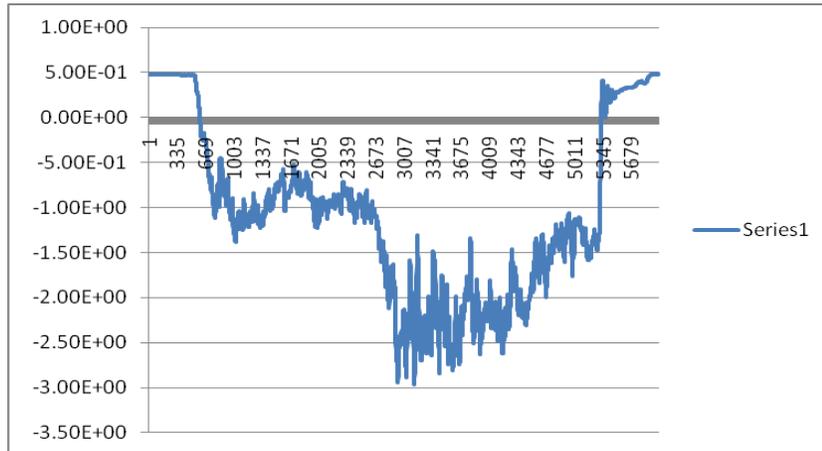


Figura D-10 Prueba en campo **Momento (Fy)** a 350 de profundidad.

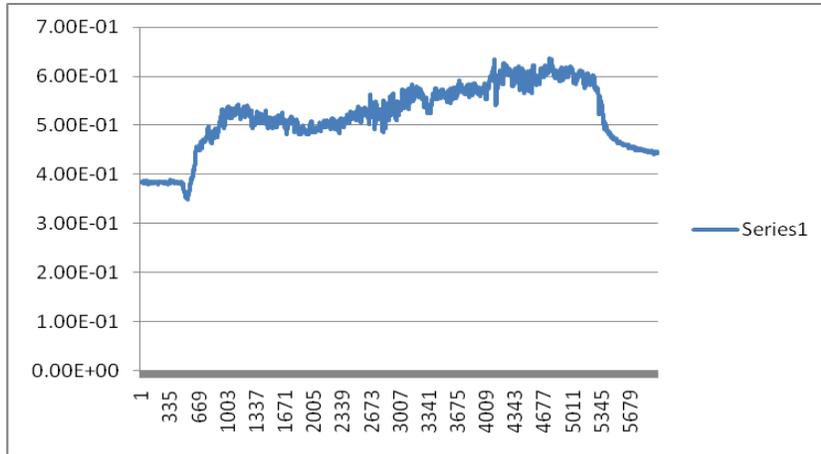


Figura D-11 Prueba en campo **Fuerza (Fx)** a 350 de profundidad.

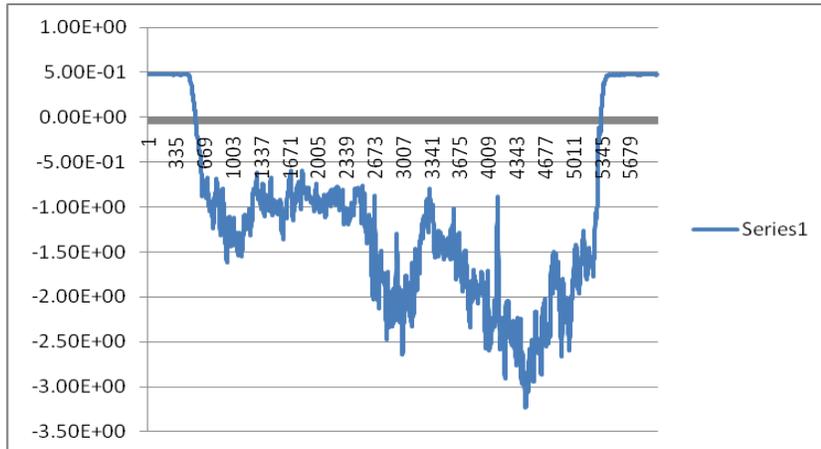
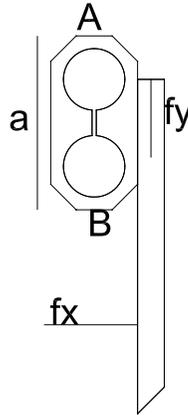


Figura D-12 Prueba en campo **Momento (Fy)** a 350 mm de profundidad.

ANEXO E. Análisis de momentos en las posiciones de las galgas extensiométricas.



$$\sum (MA + MB) + F(X + a) + F.X$$

$$MA + MB = 2 F.X + F.a$$

$$X = (MA + MB - F.a) \cdot (2F)^{-1} \text{ Ecuación 4.1}$$

Donde:

M= momento en (A y B).

F= fuerza en (X).

a= distancia entre galgas externas.

$$MA - MB = F(X + a) - F.X.$$

$$MA - MB = F.a$$

$$F = (MA - MB) \cdot a^{-1}.$$