

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**



**EQUIPO PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE RESISTENCIA A LA
PENETRACIÓN Y ESFUERZO A LA FALLA DEL SUELO**

Por:

Maynor Federico Jiménez Montejo

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MÉCANICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio del 2011

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**

**EQUIPO PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE RESISTENCIA A LA
PENETRACIÓN Y ESFUERZO A LA FALLA DEL SUELO.**

Por:

Maynor Federico Jiménez Montejo

Tesis

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el Comité de Tesis

Asesor principal

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal

Dr. Martin Cadena Zapata

Sinodal

Dr. Jesús Rodolfo Valenzuela García

Coordinador de la División de Ingeniería

M.C. Luís Rodríguez Gutiérrez

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2011



Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar le doy gracias **A DIOS** por haberme dado esta hermosa vida y por darme unos padres tan maravillosos, pero sobre todo esta gran oportunidad de salir y seguir adelante, por cuidarme siempre en mi camino, por tenerme bien, **GRACIAS DIOS.***

*A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO (UAAAN)** por abrirme sus puertas para poder salir adelante y terminar mi educación superior, gracias alma mater, siempre te recordare...*

*Al **DR. SANTOS GABRIEL CAMPOS MAGAÑA**, por la confianza que me brindo y por el gran apoyo que ejerció en mi, dedicación en el tiempo transcurrido para este proyecto y por su excelente conocimiento en el programa de Ing. Mecánico Agrícola.*

*Al **DR. MARTIN CADENA ZAPATA** por la oportunidad y confianza de trabajar en el departamento, por su enseñanza y respeto, muchas gracias Dr.*

*A los maestros del departamento de Maquinaria Agrícola, en especial al, **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Juan Arredondo Valdez, M.C. Jesús Rodolfo Valenzuela García, Ing. Rosendo González Garza, Ing. Tomas Gaytan Muñiz, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas** y todos los maestros que me brindaron sus conocimientos durante mi carrera a todos ellos muchas gracias, **a los Ing. Jorge Luis pacheco López, Ing. Luis Rodríguez Gutiérrez** por su amistad y apoyo durante mi carrera.*

*A todos mis **compañeros de la generación CX de la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola**, en especial para Luciano, La Calavera, Lobo, el Cochinillo, Verde, Jalisco, Ulber, Edelman, Gato, Escarabajo, Darío, Morrito, Pájaro, Kelvin, Yasmin, Edgar, Jorge, Adelfo, Nayn, Toño, Mesa, Mora, Rafa, Fausto, Hermenegildo, Burro, Marcos, Caballo, gracias por su apoyo y amistad compañeros. Pero sobre todo a **Cristóbal, Pacheco, Tallayall, tío Hugo, Wilder**, por su amistad y humildad brindada.*

DEDICATORIA

Todo este trabajo y carrera es producto de un gran sacrificio y esfuerzo de mi familia, especialmente de mi papá y mamá, para ustedes.

A mis padres:

Sr. Fidel Jiménez Méndez

Sra. Leonor Montejo Mejía

Por darme todo su apoyo brindado en esta etapa de mi vida, por sus buenos consejos, por querer siempre lo mejor para nosotros, por su trabajo, por estar siempre conmigo, a ti papa por confiar en mí, por enseñarme a vivir y salir adelante; a mi mama de igual manera, gracias por todo lo que hacen por mí, por querernos tanto. Por todo el amor que nos tienen muchísimas gracias papas y que diosito me los tenga siempre bien.

A mis hermanos (a):

Elmer Eduardo Jiménez Montejo

Juan armando Jiménez Montejo

Gelani Julisa Jiménez Montejo

A ellos por brindarme su apoyo y su cariño, por acordarse siempre de mi, que ustedes siempre estarán en mi corazón, que también gracias y que dios este con ustedes.

A mi esposa e hijo:

Lucero Carrasco Mazón
Héctor Eduardo Jiménez Carrasco

Por quererme tanto y esperarme todo este tiempo, gracias amor, a ti queridísimo hijo discúlpame por haberte dejado con tu mami, que te hice mucha falta, con todo mi amor y cariño para ti querido hijo y que diosito nos bendiga siempre.

*A los que siempre me apoyaron, mis tíos; **Elder, Fernando, Ogler, Hugo, Marilinda, Milida**, etc. A todos mis primos, a mis amigos y por supuesto a mis abuelos; a la familia **Carrasco Mazón**, también gracias.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Paginas
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE CUADRADOS.....	IV
RESUMEN.....	V
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
2.1 Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Agricultura de precisión.....	3
2.2 Variabilidad.....	8
2.2.1 Medición de la variabilidad.....	9
2.2.2 Mapa de rendimiento.....	11
2.3 Dosis variable.....	15
2.4 Mecánica de suelos.....	17
2.4.1 Resistencia al esfuerzo cortante de suelos.....	18
2.4.2 Resistencia a la penetración.....	18
2.5 Diseño de transductores.....	20
2.5.1 Puente de wheatstone.....	20
2.5.2 Galgas extensiométricas.....	21
2.6 Adquisición de datos.....	24
2.6.1 Sistema de adquisición de datos.....	24
2.6.2 DAQ BOOK200/2000.....	25

III. MATERIALES, EQUIPO Y METODOS.....	27
3.1 Materiales y equipo.....	27
3.2 Metodología.....	29
3.2.1 Desarrollo y pruebas del sensor de resistencia a la penetración.....	29
3.2.2 Consideraciones del diseño del sensor y herramienta del penetrómetro.....	29
3.2.3 Montaje de galgas extensiométricas.....	30
3.2.4 Calibración del sensor (ring).....	31
3.2.5 Pruebas en campo de resistencia a la penetración.....	32
3.3 Desarrollo y pruebas del sensor a la falla del suelo.....	33
3.3.1 Calibración del sensor de torque primera etapa.....	34
3.3.2 Consideraciones del diseño del sensor y herramienta de torque.....	34
IV. RESULTADOS.....	38
4.1 Caracterización y calibración del ring para resistencia a la penetración.....	38
4.1.1 Evaluación del sensor ring para determinar la resistencia a la penetración y localización de áreas compactadas.....	42
4.2 Sensor de esfuerzo a la falla del suelo primera etapa.....	48
4.3 Sensor de esfuerzo a la falla del suelo segunda etapa.....	51
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
VI. LITERATURA CITADA.....	56
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. Interacción entre varios elementos que integran la agricultura de precisión, fuente: Universidad del País Vasco, 2000.....	3
Figura 2.2 las tres etapas de la agricultura de precisión, fuente: AGCO.....	5
FIGURA 2.3. Mapa de preproducción.....	10
Figura 2.4. Mapas de rendimientos de diferentes años.....	10
Figura 2.5. Variabilidad de la estimación del rendimiento.....	11
Figura 2.6. A la izquierda, representación de los datos de posición y rendimiento, sin tratamiento con SIG. A la derecha, la misma parcela tras tratar los datos con un SIG.....	12
Figura 2.7. Manejo de sitio específico.....	15
Figura 2.8. Puente empleado para las mediciones de precisión de resistencias en el rango de fracciones de Ohm hasta varios mega Ohms.....	20
Figura 2.9. Galga extensiométrica uniaxial: a) alambre; b) laminilla. (Cooper, 1991).....	22
Figura 2.10. Roseta de dos elementos, a) laminillas apiladas a 90°C; b) laminillas plana a 90°C; laminilla plana delgada a 90°C. (Cooper, 1991).....	23
Figura 3.11. Convertidor analógico – digital (DAQ-BOOK 200).....	27
Figura 3.12. Configuración de las galgas en el puente de wheatstone.....	31
Figura 3.13. Tractor y carro porta sensores empleados en campo para medir la resistencia a la penetración.....	32
Figura 3.14. Herramienta del sensor de falla del suelo (torque).....	33
Figura 3.15. Barra de torsión para el sensor de cohesión y sus radios.....	34
Figura 3.16. Barra circular en torsión pura.....	35
Figura 3.17. Sensor del esfuerzo a la falla del suelo. a) cableado del sensor del tubo circular cableado en los dos lados opuestos del mismo. b) representación de las fuerzas actuando en la herramienta del de falla del suelo y el arreglo de circuitos con galgas extensiométricas en puente de wheatston.....	36

Figura 3.18. Especificaciones de galgas extensiométricas empleadas en el elemento sensor, en arreglos de puente de wheatstone.....	37
Figura 3.19. Proceso de pruebas en laboratorio del sensor de cohesión y contrapesos empleados en la calibración.....	37
Figura 4.20. Diseño del carro porta sensores con dimensiones en 3D con la herramienta del sensor (ring) y penetrómetro.....	38
Figura 4.21. Dimensiones del transductor del ring con un acero 1045 para una resistencia a la penetración de 10 KN.....	39
Figura 4.22. Sensor de resistencia a la penetración. (a) cableado del sensor del ring. (b) representación de la fuerza actuando en la herramienta para la penetración y el arreglo de circuitos con galgas extensiométricas en puente de wheatstone.....	39
Figura 4.23. Especificaciones de galgas extensiométricas empleadas en el elemento sensor, en arreglos de puente de wheatstone.....	40
Figura 4.24. Calibración de fuerzas del sensor ring con una capacidad de 10 N. a diferentes fuerzas.....	40
Figura 4.25. Ecuación de respuesta, de la fuerza, aplicada del sensor del ring con una capacidad de 10 KN.....	41
Figura 4.26. Evaluación en campo para determinar la resistencia a la penetración a diferentes profundidades y generación de mapas con sistema de información geográfica.....	42
Figura 4.27. Datos de fuerza del penetrómetro en campo a 10, 20, 30 y 40 cm de profundidad.....	43
Figura 4.28 A. Mapa de fuerza a la resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 10 cm.....	44
Figura 4.28 B. Imagen en 3d de resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 10 cm.....	44
Figura 4.29 A. Mapa de fuerza a la resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 20 cm.....	45
Figura 4.29 B. Imagen en 3d de resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 20 cm.....	45
Figura 4.30 A. Mapa de fuerza a la resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 30 cm.....	46

Figura 4.30 B. Imagen en 3d de resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 30 cm.....	46
Figura 4.31 A. Mapa de fuerza a la resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 40 cm.....	47
Figura 4.31 B. Imagen en 3d de resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 40 cm.....	47
Figura 4.32. Características del sensor de esfuerzo a la falla.....	48
Figura 4.33. Calibración de fuerzas del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.....	49
Figura 4.34. Ecuación de respuesta, fuerza, del sensor con una capacidad de 1.62 N-m.....	50
Figura 4.35. Cargas y descargas considerando pesos y distancias.....	50
Figura 4.36. Características del carro porta sensores y herramienta del sensor (torque).....	51
Figura 4.37. Prueba en laboratorio de fuerza del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m. A una posición de la fuerza de 15, 25, y 35 cm con respecto del centro del sensor.....	52
Figura 4.38. Procedimiento en cargas y descargas de los diferentes pesos del sensor de cohesión.....	52
Figura 4.39. Ecuación de respuesta de la fuerza en carga y descarga del sensor a la falla del suelo con capacidad de 1.62 N-m.....	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (Adaptado de USDA, 1998).....	8
Cuadro 4.2. Datos de calibración del sensor de cohesión en laboratorio para determinar el esfuerzo a la falla del suelo.....	49
Cuadro 4.3. Datos de calibración de fuerzas (N) en mili volts (mV) del sensor de esfuerzo a la falla del suelo, en tres posiciones diferentes respecto al centro del sensor; izquierda derecha.....	53

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); Sistema de Posicionamiento global (GPS); Computadoras, Sensores y Controladores así como Maquinaria especializada. El manejo de sitio específico, comienza por los mapas de rendimientos geoposicionados, 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 fisicoquímicos del mismo, con la finalidad de realizar, así como elaborar mapas de prescripción correspondientes para la aplicación de dosis variables de insumos.

Este trabajo es parte de un proyecto a largo plazo en el que se busca medir en forma dinámica la resistencia a la penetración del suelo a diferentes profundidades, así como también medir la resistencia al esfuerzo de falla del suelo, con la finalidad de determinar las necesidades de energía por sitio específico. Para esto se tuvo que diseñar un sensor de anillo tipo Ring de 10 kN y un penetrómetro para la resistencia a la penetración capaz de trabajar en un rango de profundidades de 0.0 a 0.40 m empleando para esto un carro porta sensores, sistema de adquisición de datos y un tractor instrumentado para estos propósitos. El equipo diseñado mostro una alta sensibilidad en la medición de fuerzas y su localización de 1.462 mV-N un coeficiente de correlación de 99.7%. Durante las pruebas de campo, se observo una alta confiabilidad de la muestra mostrando un comportamiento confiable, detectando las capas compactadas en profundidades mayores a los 20 cm en determinadas áreas del terreno en evaluación. Se diseño y calibró además un sensor para determinar la resistencia a la falla del suelo mostrando esta una sensibilidad de 0.02575 Mv-NM y un coeficiente de correlación de 99.8%.

PALABRAS CLAVE: COMPACTACIÓN, SENSOR (ring), RESISTENCIA DEL SUELO, PENETROMETRO, SENSOR DE COHESIÓN, TORQUE, GALGAS EXTENSIOMETRICAS.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión o manejo de sitio específico es la utilización de herramientas que permitan la obtención y análisis de datos geo-referenciados, 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 están vinculadas 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 muestreos de ambientes a nivel de periodo 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; Sistema de Posicionamiento Global (AgDGPS), Sensores, Sistema de Información Geográfica (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 4000, Paraguay con 4 y México con cero unidades.

1.1 Objetivo General

Diseñar y construir un bastidor que provea y soporte a un sistema de componentes electrónicos y mecánicos capaz de realizar mediciones del estado físico mecánico en suelos agrícolas.

1.2 Objetivos Específicos

1. Validar un sistema integral GPSD-SENSORES –DATA LOGGER-GIS que permita medir el estado físico- mecánico en suelos de tipo agrícola.
2. Elaborar mapa de diagnostico de resistencia al corte y penetración.
3. Diseño de un penetrómetro con una capacidad de 10000 N.
4. Adecuación de un sensor de posición y su registro en tiempo real.
5. Evaluación bajo condiciones de campo y evaluación de mapas de prescripción.

2.1 Hipótesis

Es posible medir los parámetros de resistencia del suelo a la penetración, con la evaluación de los sensores de desplazamiento y de fuerza, combinados con DGPS y GIS.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Agricultura de Precisión.

Las características del suelo y del cultivo varían en el espacio (distancia y tiempo) y en el tiempo. La agricultura de precisión es un conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola. Esta optimización se logra con la distribución de la cantidad correcta de esos insumos, dependiendo del potencial y la necesidad de cada punto de las áreas de manejo. (Figura 2.1).

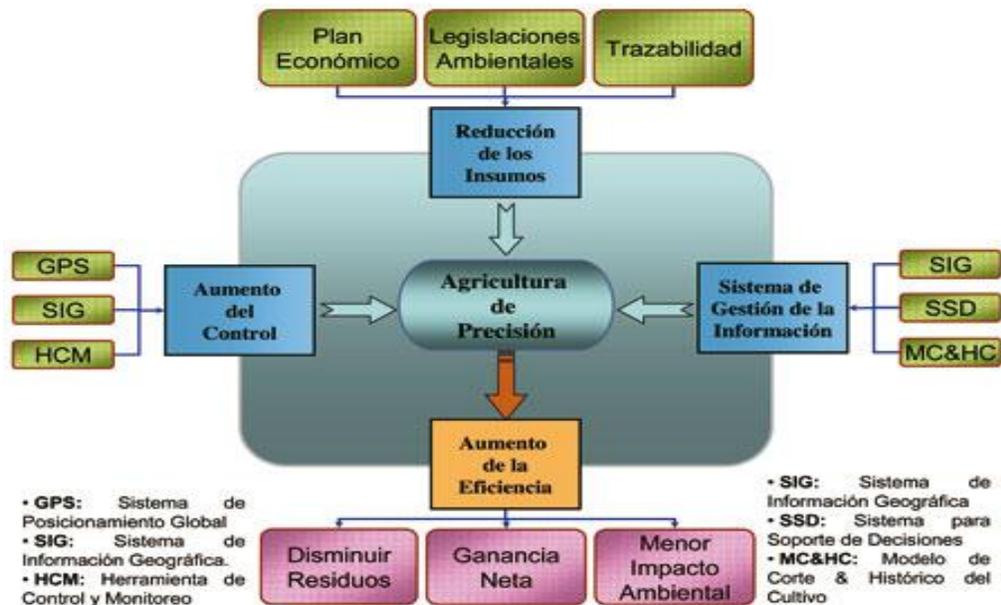


FIGURA 2.1. Interacción entre varios elementos que integran la agricultura de precisión, fuente: Universidad del País Vasco, 2000.

Se requiere para lo anterior contar con sistemas que se integren entre otros por AgDGPS (sistemas de posicionamiento Global Diferencial), sensores, SIG (sistemas de información geográfica), 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 mil

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 equipo e instrumentos automatizados para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión.

Por tal motivo durante la convocatoria interna 2009, para proyectos de investigación de la universidad fue presentado y autorizado un proyecto de investigación denominado:

DESARROLLO DE EQUIPOS, SENSORES E INSTRUMENTOS PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y LABRANZA DE CONSERVACIÓN 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 simulación de dosis variable de semillas.
4. Sistema de Dosificación Variable de Semillas en tiempo real.
5. Desarrollo de equipos para la Generación de Mapas de Conductividad Eléctrica, resistencia al corte y penetración ge referenciados.
6. Desarrollo de un Sistema Integral para el Monitoreo de Fuerzas en Equipos de Labranza.

La agricultura de precisión no consiste en medir solamente la variabilidad existen en el área sino también en la adopción de prácticas administrativas que se realizan en función de esa variabilidad. De acuerdo con Robert (1999), la observación de la existencia de la variabilidad en las propiedades o en factores determinantes de la producción en los agro-ecosistemas no es una novedad. Lo que es diferente, en realidad, es la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear esa variabilidad. Más aun, es posible geo-referenciar y aplicar los insumos con dosis variables en puntos o áreas de coordenadas geográficas conocidas.

Los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir este conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes AGCO 2005 (Allis Corporación Gleaner), (figura 2.2): 1) Recolección de datos 2) procesamiento e interpretación de la información 3) Aplicación de insumos.

En base de ello, se define un ciclo de prácticas agrícolas orientado a sustituir la recomendación habitual de insumos en base a valores promedio, como ocurre en la agricultura tradicional, por una más precisa, con manejo localizado, considerando las variaciones tradicionales en toda el área. Es una optimización del uso de los insumos que deposita en el suelo la cantidad de semilla que cada punto soporta, la cantidad de nutrientes requeridas, y además el control de malezas, plagas y enfermedades se hace solamente en los puntos que demanden tal control.

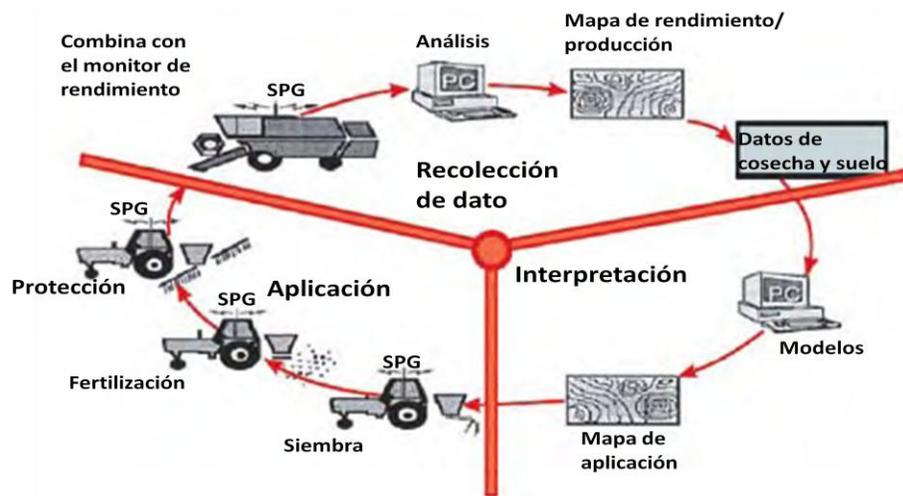


Figura 2.2 las tres etapas de la agricultura de precisión, fuente: AGCO.

La agricultura de precisión podría definirse como: *“un conjunto de prácticas agrícolas utilizadas para identificar y registrar la variabilidad de ciertos parámetros agronómicos dentro de un mismo lote. Sobre la base de dicha información se aplican dosis variables de insumos posicionándolos en el lote acorde a la*

necesidad de un nivel de productividad prefijado” definición propuesta por Maroni y Gargicevich (1996).

La agricultura de precisión (AP) es una estrategia de manejo que utiliza la tecnología de la información para captar datos de múltiples fuentes para generar decisiones asociadas a la producción e cultivos (US National Research Council, 1997).

Otra definición de la AP es un sistema de producción que se basa en la integración de la información y la producción. Está diseñado para sitios específicos y la unidad completa de producción, con objeto de incrementar en el largo plazo, la eficiencia, productividad y margen de ganancia, minimizando los indeseados impactos sobre el ambiente (US Farm Bill, 1996).

La agricultura de precisión es una aproximación a un sistema para manejar cultivos y suelos en forma selectiva de acuerdo con sus necesidades. Utiliza la experiencia de muchas disciplinas e integra las últimas herramientas por tecnológicas de información que permiten a los administradores de fincas tener una mejor comprensión y control de sus lotes. La administración es el factor esencial para alcanzar el resultado indicado en la finca, por lo cual los administradores deberán de identificar sus propias estrategias y prácticas que permitan un manejo efectivo de la variabilidad encontrada en la finca.

Tres tipos de variabilidades han sido identificados. El primer tipo es la variabilidad espacial, la cual puede ser vista como los cambios a través del lote. Un ejemplo, puede ser cuando un sector del lote genera rendimientos superiores frente a otro sector del mismo lote, inclusive frente a uno vecino. La segunda variabilidad es la temporal que se refiere a cuando los parámetros cambian a través del tiempo. Puede verse cuando un cultivo tiene una buena fase de desarrollo pero posteriormente arroja varios rendimientos. El tercer tipo es la variabilidad predictiva que explica la diferencia entre lo que el productor predice que va a suceder y lo que realmente ocurre.

El ejemplo básico de esta variabilidad predictiva es cuando el productor predice que una cierta productividad puede ser lograda, si determinada cantidad de fertilizante es aplicada, pero el cultivo no alcanza esto por causa del cambio climático u otro factor, cada tipo de variabilidad puede ser medida, evaluada y posiblemente influenciada, dependiendo con cual significativa es.

En el cuadro (2.1), se presentan las principales etapas o pasos para la aplicación de AP (Agricultura de Precisión), las tecnologías involucradas y las actividades realizadas.

En AP existen dos aproximaciones para la aplicación en variables de insumos. La primera de ellas se basa en el muestreo y mapeo de los factores de producción a ser manejados en forma diferencial (fertilidad del suelo, malezas, etc.) y la posterior elaboración de mapas de prescripción para la aplicación variable de los insumos (fertilizantes, herbicidas, etc.). La segunda aproximación es el sensoriamiento directo del suelo y/o cultivo para la aplicación inmediata de los insumos en forma variable. El uso de una u otra dependerá del nivel tecnológico disponible y del costo de operación involucrado.

Cuadro 2.1. Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (Adaptado de USDA, 1998).

ETAPA	TECNOLOGIA INVOLUCRADA	ACTIVIDADES
Recolección e ingreso de datos.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de posicionamiento global (GPS). sistemas de información geográfica (SIG). • Instrumentos topográficos. • Sensores remotos. • Sensores directos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de la topografía del suelo. • Muestreo de suelos en grilla. Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. • Monitoreo de rendimientos. • Medición directa de propiedades del suelo y cultivos. • Sensoria-miento remoto de suelos y cultivos. • Digitalización de mapas.
Análisis, procesamiento e interpretación de la información.	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de SIG. • Sistemas expertos. • Programas estadísticos. • Experiencia del operador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de dependencia espacial. • Confección de mapas de evaluación. • Confección de mapas de prescripción. • Otras.
Aplicación diferencial de insumos.	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología de dosis variables. • Pulverización asistida por GPS. • Programas computacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación variable de nutrientes. • Aplicación variable de plaguicidas. • Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas. • Otras.

2.2 Variabilidad

Los mapas de rendimientos permiten cuantificar la variabilidad de rendimiento existente durante la cosecha de un cultivo dentro del lote, quedando gravada espacialmente. La variabilidad de los lotes es uno de los factores que pueden

justificar la realización de dosis variables en la siembra, fertilización, pulverización, etc. y gracias al GPS y algunas herramientas de la agricultura de precisión, entre ellas el monitor de rendimiento, podemos conocer el área que ocupa cada sitio y cuantificar sus diferencias de rendimiento.

Comprender la variabilidad es una de las claves de la Agricultura de precisión. Se han identificado tres formas principales de variabilidad a tener en cuenta: espacial, temporal y en la estimación.

- La variabilidad espacial, es la que se da a lo largo y ancho del terreno. Esta variabilidad se puede reflejar mediante mapas de suelo. Si esta variabilidad es significativa, es el agricultor el que debe tomar las decisiones, aunque lo normal es contrastar este mapa con los de rendimiento.
- La variabilidad temporal se pone de manifiesto al comparar mapas de rendimientos de un año a otro, y su significado también debe ser deducido, aunque se pueden obtener mapas de tendencias que muestren las características fundamentales.
- La variabilidad en la estimación, es la diferencia de lo estimado, con respecto a lo obtenido. Para un correcto aporte de inputs, se deben hacer ciertas aseveraciones, para obtener el rendimiento estimado. Si ese rendimiento no se obtiene, las aseveraciones que se hicieron en un primer momento, deberán ser mejoradas.

Antes de entrar a tomar decisiones respecto a estas variabilidades, se deben comprender, por lo tanto previamente como medirlas.

2.2.1 Medición de la Variabilidad

La variabilidad espacial: esta se puede medir mediante la obtención de datos sobre factores con localización precisa. Los mapas de rendimientos se producen

realizando un seguimiento del rendimiento a la cosechadora, o maquina recolectora, tal que se conoce la cantidad cosechada en un determinado tiempo. Un DGPS (GPS Diferencial) se utiliza para obtener la localización de la posición de los rendimientos que se están obteniendo. Un sistema similar se utiliza para el muestreo del suelo, excepto si las muestras se recogen a mano, y se envían posteriormente al laboratorio para su análisis, en este último caso se utiliza un GPS para el posicionamiento del lugar de la toma de muestras (figura 2.3).

Estos datos se filtran y se representan como mapas que muestran la variabilidad espacial.

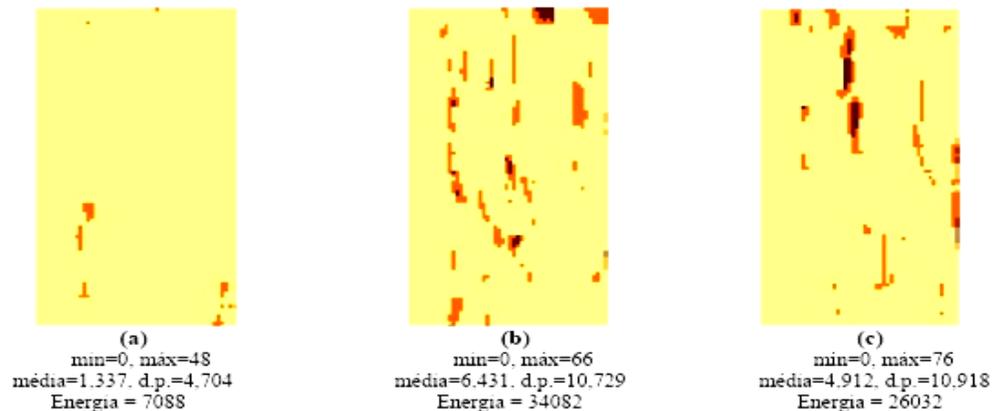


FIGURA 2.3. Mapa de preproducción.

La variabilidad temporal: se obtiene mediante la información y comparación de mapas que han sido obtenidos a lo largo del tiempo. (Figura 2.4).

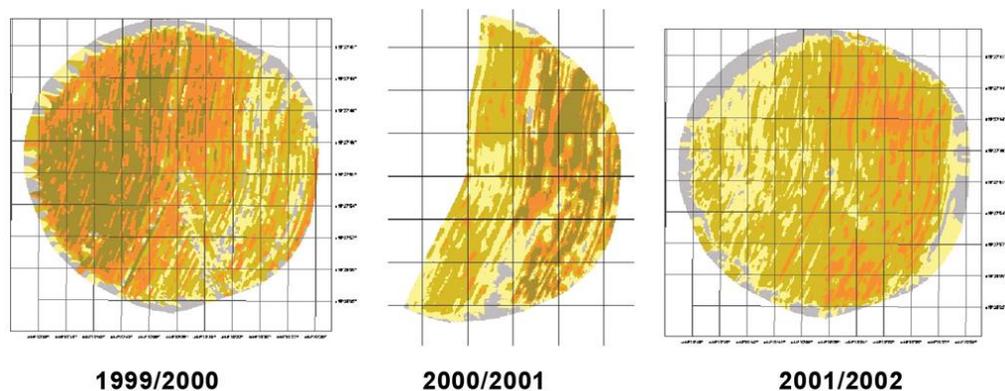


Figura 2.4. Mapas de rendimientos de diferentes años.

La variabilidad en la estimación: esta variabilidad se obtiene midiendo la diferencia entre los valores para el cultivo, y los valores conseguidos. Los valores que más se utilizan son los de área de producción, el rendimiento y calidad. La calidad es difícil de predecir, hasta los estudios tardíos de la producción, mediante la medida de la clorofila, y la realización de un mapa de clorofila. (Figura 2.5).

La mayoría de los trabajos publicados relacionados a sistemas de determinación de producción de productos agrícolas para la elaboración de mapas de rendimiento están en el área de granos, donde empresas como JOHN DEERE (1998), CASE (1999) y AGCO (1999), desarrollaron sensores de flujo de masa específicos, para determinar la producción y la humedad de granos y software para manejar estos datos y generar los mapas de rendimiento.

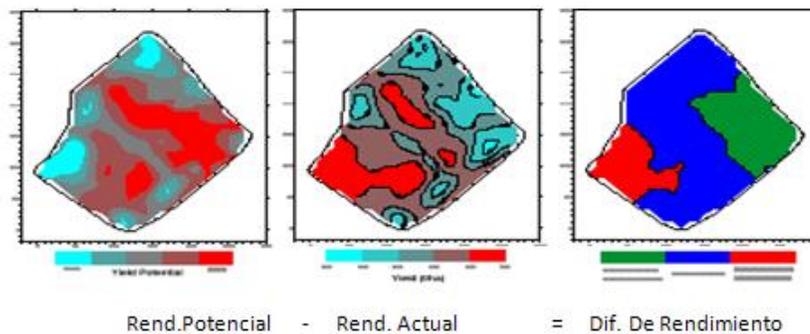


Figura 2.5. Variabilidad de la estimación del rendimiento.

2.2.2 Mapa de Rendimiento

La practica más importante, quizá, son los mapas de rendimientos. Para ella son necesarias una serie de tecnologías, tenemos como ejemplo una cosechadora de cereal.

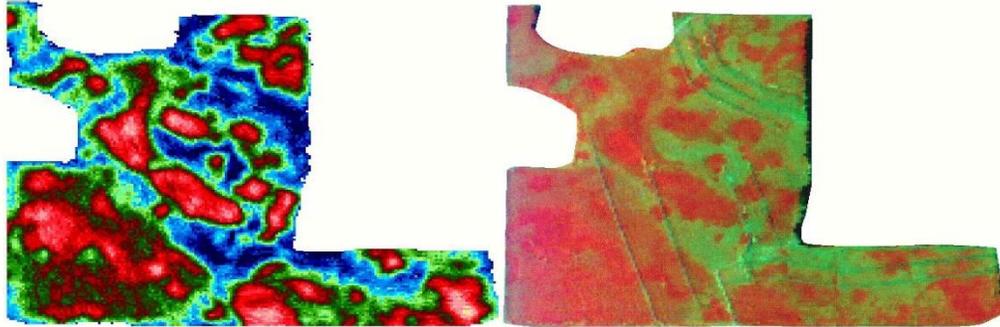


Figura 2.6. A la izquierda, representación de los datos de posición y rendimiento, sin tratamiento con SIG. A la derecha, la misma parcela tras tratar los datos con un SIG.

Será necesario un receptor GPS montado sobre la cosechadora, el cual obtendrá segundo a segundo la información de la posición en el campo, a medida de que la cosechadora avanza por el campo. Además, esta cosechadora debe tener dos sensores, uno para medir el flujo de grano, y otro para medir la humedad del grano cosechado. A medida que la maquina avanza, un ordenador recoge la información que le llega del GPS, con un intervalo de 1.2 segundos registrando la latitud y la longitud y de los dos sensores.

Normalmente la información se almacena en memoria PCMCIA la cual puede extraerse de este ordenador, y pasar su información posteriormente al ordenador de la oficina.

Si se realizase una representación de esta información, se obtendría la parte izquierda de la figura 2.6, la cual como se ve es difícil de interpretar. Por lo tanto es necesario un software que permita una mejor lectura o interpretación de los datos, estos programas informáticos son los SIG (Sistemas de Información Geográfica). Así la figura antes mencionada, aparecerá suavizada, como en la parte derecha de la figura 2.6.

Norton y Swinton, (2001), describe una metodología de manejo integral utilizando herramientas de obtención de datos geo-referenciados de rendimiento (mapas anteriores de trigo y maíz del lote), muestreos de suelo dirigidos, análisis y

siembra de maíz con densidad y fertilización variable de acuerdo a prescripciones geo-referenciadas. Que incluye la Identificación de zonas de rendimientos diferentes dentro del lote a través de mapas anteriores, maíz y trigo; Realización de un muestreo representativo de cada una de las zonas, con muestras compuestas geo-referenciadas con sub muestras de cada uno de los lugares seleccionados; Análisis de la correlación rendimiento/característica química-físicas de suelo; Priorización de los datos de rendimiento de los mapas anteriores, como dato de peso en la estimación de rendimiento sitio específico del maíz del presente año; Definición de 4 ambientes de rendimiento en maíz (- de 90 qq/ha), (90 a 105), (105 – 120) y (+ de 120), como dato para el cálculo de fertilización. Teniendo como criterio que donde más rindió en los mapas anteriores se estima que se expresará con un mayor potencial de rendimiento y por ende serán necesario mayor necesidad de nutrientes; Análisis de respuestas variables de cada dosis de fertilizante en cada ambiente para luego realizar un análisis económico para determinar la conveniencia o no del uso de este tipo de tecnología de siembra variable con sembradora inteligente donde los ambientes lo justifiquen.

Andrade (2005) construyo un bastidor porta-sensores para medir el estado físico-mecánico del suelo, en el presentan 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.

En relación al diseño de sensores de fuerzas Marín (2003), Diseñó y construyó dos dinamómetros de tipo axial, con capacidad de 45 y 70 KN, los cuales permiten registrar las fuerzas de reacción del suelo en la interacción del tractor, implemento y suelo. Gallegos (2004) 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.

Hinojosa. (2003), Determino la magnitud de las fuerzas de reacción del suelo que actúan sobre los diferentes implementos integrales, así como su dirección y posición en una línea de acción. Graham et al. (1990) Desarrolló 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. Godwin y Spoor citado por Campos (2000) indican que uno de los aspectos más importante 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. Vásquez J, Johnny; Rivera, Arturo (2004).

Andrade *et al.* (2001, 2002) citado por: Gallegos (2004) han reportado resultados de diversos análisis donde se relacionan las condiciones físicas del suelo con la reacción mecánica del suelo durante operaciones de labranza. Godwin *et al.* (1987) encontraron que la fuerza de tracción es mínima donde el ángulo de inclinación vertical está entre 0,380 y 0,524 rad, siendo esta la resistencia. Gill et al. (1982), quienes también encontraron que la penetración de los discos es mayor si se aumenta el peso de éstos, y que la velocidad de operación no afecta la profundidad de trabajo en suelos. Mello y Magalhães (1995) en un trabajo realizado sobre un suelo arcilloso, encontraron que la velocidad de operación no afectó la fuerza de tracción, y que dicha fuerza crece al aumentar el ángulo horizontal y el área de suelo removido, sin incidir significativamente en la resistencia específica.

Spoor y Godwin (1978), afirmaron que la movilización del suelo depende de la profundidad de trabajo, del tamaño del cincel (largo y ancho), además de la humedad y densidad del suelo. Magalhães y Souza (1990) Para el análisis de las fuerzas horizontal (F_h) y vertical (F_v) utilizó un anillo octogonal extendido, el cual permite la medición de estas fuerzas y la localización de la fuerza resultante.

2.3 Dosis Variable

Una de las herramientas que interesa a asesores y productores, en particular, es la dosis variable que actualmente apuntan a mejorar el manejo de los insumos, lo que dependerá del cultivo y del fertilizante que se utilice. Ejemplo de esto son los ensayos que buscan curvas de respuesta a la fertilización, que se realizan con nitrógeno y en gramíneas (maíz y trigo básicamente). Por ello, variar las dosis en estos cultivos y con éxito va a depender de los conocimientos que tengamos sobre rendimientos en los diferentes ambientes, el porcentaje de variabilidad del lote y del objetivo que persiga el asesor o productor. Algunos buscan obtener respuestas agronómicas en vez de una respuesta meramente económica. En la figura 2.7 se muestra una de las herramientas que se utilizan para el manejo de sitio específico.



Figura 2.7. Manejo de sitio específico

Cuando se busca solamente rentabilidad, esta no siempre es la mejor para el suelo. Habría que tener en cuenta que la dosis variable se debería hacer con datos precisos de rendimiento, recomendaciones y sabiendo si se quiere lograr un resultado agronómico o económico. Hacer dosis variable sin tener en claro un objetivo podría llevar a fracaso de la tecnología.

En el caso de que haya variabilidad de rendimientos en el campo, es posible conocer la superficie que ocupa el sitio con mayor o menor potencialidad de rendimiento y se puede caracterizar por medio de análisis físicos o químicos de suelo. Luego comienza el proceso de dosis de fertilización recomendar, por ejemplo, y existen varias maneras de realizar recomendaciones. Una de ellas, es el método de balance (que es simple pero más preciso si varían mucho las condiciones de los ambientes), o haciendo correr modelos de simulación para cada sitio (que le da más posición al dato). Luego, se aplica la cantidad de fertilizante que los modelos indiquen con la maquinaria de dosis variable y en cada sitio específico. El objetivo es apuntar a un manejo más eficiente de los insumos, dejando de lado la dosis uniforme. Por ejemplo, donde hay recomendaciones zonales de aplicar 100 kg de nitrógeno/ha para el cultivo de maíz, ahora se puede determinar en qué parte de lote se fertiliza con 30 o 150 kg de N/ha y, de esta manera, se maneja la variabilidad de campo, “muchas personas hacen dosis variable aplicando menos fertilizantes en algún lugar y más en otros sin tener datos precisos sobre el potencial del rendimiento del cultivo u lo que puede aportar el suelo al cultivo. Es decir que realizan dosis variable de manera imprecisa”.

Los pasos a seguir para llegar a buenos resultados en dosis variable de semillas y fertilizantes. Contar con información geo referenciada es un paso importante en la aplicación variable de insumos, nos permite determinar la variabilidad presente en el lote. Para ello, existen diferentes herramientas que nos puedan llevar a una mejor definición de los ambientes homogéneos presentes en el lote como son: carta de suelos, fotografía de reas, imágenes satelitales, entre otras. Una de las herramientas más destacadas, es el mapa de rendimiento, debido a que el mismo, nos permite saber, no solo la variabilidad presente en el lote, sino también su cuantificación. En forma metafórica es como una radiografía del lote. Esta información tan valiosa se puede conseguir mediante un monitor de rendimientos montado en una cosechadora y el mismo conectado a un GPS.

2.4 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 orgánica de los contribuyentes 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 cincelos, subsuelos, cultivadores, etc., las fuerzas significativas son las componentes de tiro (paralelo a la dirección de avance) y la fuerza de sección o verticales (que son perpendiculares a la dirección de avance). Otros elementos presentan un tercer componente dado que su simetría 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 un ángulo de acciones 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 desarrollo de instrumentos que nos detecten en forma precisa las magnitudes de las fuerzas de reacción del suelo así como la dirección del suelo, y dirección de la misma.

2.4.1 Resistencia al Esfuerzo Cortante del Suelo

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 condición de esfuerzos normales y cortantes en el plano de falla, los esfuerzos normales proporcionan una parte de la resistencia al esfuerzo cortante debido a la fricción. La evolución de dicha resistencia es importante en la mayoría de los problemas de estabilidad de masa de suelo y diseño de estructuras.

2.4.2 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. Esta nos da una idea de la dureza de ese suelo para las condiciones específicas que se encuentra en un determinado momento.

Aún que 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 a la que opone al suelo a una acción diferente producida bien por un neumático arrastrado o motriz, o una determinada herramienta de trabajo.

Kepner et al., (1978), describe que las reacciones de los suelos debido a fuerzas aplicadas por implementos de labranza 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 ponen 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 del corte por la fricción interna y la acción cohesiva de las películas de humedad.

Cerisola (2003), dice que el Penetrómetro es el aparato que permite obtener el valor de la resistencia a la penetración del suelo. Esta es la fuerza por la 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).

Payan, y Sánchez (2003), señalan que la penetrómetros 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 Penetrómetro como equipo de medición de la resistencia del suelo, es la versatilidad para hacer en campo directamente, pudiéndose en poco tiempo realizar un gran número de lecturas, esta característica le permite ser una herramienta de diagnóstico inicial sobre las condiciones físicas del suelo.

2.5 Diseño de Transductores

2.5.1 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 (2.8), el puente tiene cuatro ramas resistivas, junto con una frecuencia de (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 potencial entre los puntos c y d. Se dice que el puente está balanceado (o en equilibrio) cuando la diferencia de potencial 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 está en equilibrio.

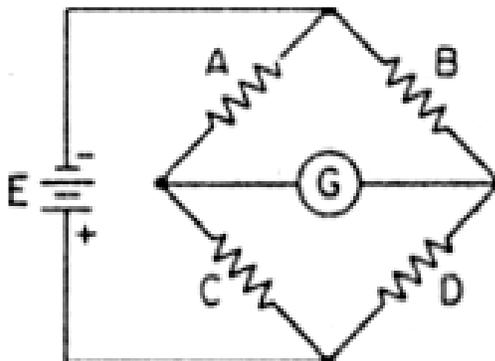


Figura 2.8. Puente empleado para las mediciones de precisión de resistencias en el rango de fracciones de Ohm hasta varios MegaOhms.

2.5.2 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 de 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.

La sensibilidad de una galga extensiométrica se describe en términos de una característica llamado 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 proporcionando en el empaque de la galga.

Para la configuración de las galgas 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.

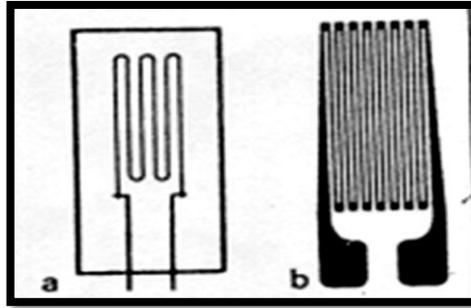


Figura 2.9. Galga extensiométrica uniaxial: a) alambre; b) laminilla. (Cooper, 1991).

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 galgas de múltiples elementos o rosetas.

Las rosetas de dos elementos suelen utilizarse en transductores de fuerza. Las galgas se conectan en un circuito puente de 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.

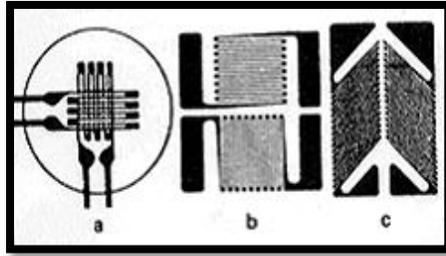


Figura 2.9 (a)

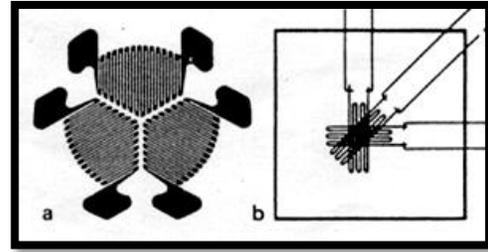


figura 2.9 (b)

Figura 2.10. Roseta de dos elementos, a) laminillas apiladas a 90°C ; b) laminillas plana a 90°C ; laminilla plana delgada a 90°C . (Cooper, 1991).

Mojica (2000), otro tipo son las galgas extensiométricas soldadas que consiste 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, esta 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 con el material, variando así su resistencia. (moo. 1999). Por lo tanto para los transductores de fuerzas se necesita un elemento elástico que traduzca a la fuerza en deformación. El material

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

2.6 Adquisición de Datos

2.6.1 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 (c d) y corriente alterna (c a), frecuencia o resistencia; suelen hallarse en las áreas de prueba de componentes electrónicos, estudios ambientales y trabajos de control de calidad; b) señal 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 directos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referencial a la magnitud o naturaleza de la cantidad.

Un sistema de adquisición de datos analógicos 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.

Instrumento de registro de datos. Para obtener un registro permanentes 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 sistemas 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 requieren un amplio ancho de banda o cuando se pueda tolerar poca exactitud. Los sistemas digitales se aplican cuando el proceso físico que se estudio varía poco (ancho de banda angosta) 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 limites preestablecidos y llevan acabo cálculos y toman decisiones sobre la señal de entrada. Los sistemas digitales en general son más complejos que los analógicos, tanto en termino de volumen y complejidad de los datos de entrada que pueden manejar.

2.6.2 DAQ BOOK200/2000

El DaqBook200/2000 es un dispositivo de adquisición de datos donde podemos observar las diferentes entradas analógicas de medida, entradas de frecuencia, y entradas digitales. El DaqBook200/2000 están equipadas con una función de señal con una capacidad, 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 DaqBook200/2000 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 DaqBook se pueden conectar a un PC a través de un concentrador o conmutador Ethernet, capaz de ser sincronizada y de la transferencia de datos continua a toda velocidad en el PC.

III. MATERIALES, EQUIPO Y METODOS

3.1 Materiales y Equipo

Los materiales y equipo que se utilizaron en la realización de este trabajo fueron distintos tanto para la resistencia a la penetración como para la resistencia a la falla, los cuales se describen a continuación:

- ❖ Penetrómetro digital, con sensor de anillo de una capacidad de 10,000 N y un cono con área perimetral de 0.000871257 m^2 .
- ❖ Convertidor analógico – digital (DAC).

Se utilizo la unidad de DaqBook 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 para 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 3.11. Convertidor analógico – digital (DAQ-BOOK 200).

- ❖ Computadora.

Se utilizó una computadora de escritorio del departamento de maquinaria agrícola (marca Dell con un procesador genuine Intel, con una memoria RAM de 512 MB, y una capacidad en el disco duro de 34.1).

❖ Software (programa).

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 guarden en un archivo por medio de la computadora para después ser analizados.

❖ Galgas extensiométricas.

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 tanto en el interior y exterior del anillo, y en el caso del sensor de cohesión fueron puestas en el exterior del tubo, empleando el procedimiento para su montaje el descrito por Sakurai (1996). Para el monitoreo de los momentos y las fuerzas se empleó el diseño de anillo octagonal extendido descrito por Campos *et al.*, (2000).

Se emplearon arreglos de puente de Wheatstone completo para realizar las mediciones en el cambio de resistencia en las galgas, permitiendo medir galgas estáticas y dinámicas.

❖ Tractor: para este trabajo se utilizó un tractor John Deere de 106 hp con sistema hidráulico de centro abierto con bombas de engranes a 66.62 litros por minuto y una Velocidad nominal del motor de 2100 rpm.

❖ Pistón hidráulico para la fuerza del penetrómetro: se diseñó un cilindro hidráulico y un pistón para este trabajo con una capacidad de 10 KN.

3.2 Metodología

3.2.1 Desarrollo y Pruebas del Sensor de Resistencia a la Penetración

Se diseñó un sensor de resistencia a la penetración con una capacidad de trabajo de 10 kN a una altura máxima de la barra de acoplamiento del carro porta-sensores de 0.80 m. este sensor se integro por un transductor de fuerzas tipo anillo y una herramienta de penetración tipo cono. El tamaño de las puntas y la velocidad con que se introducen en el suelo han sido normalizadas por la ASAE, (1992).

La evaluación de esta herramienta se hizo, previa calibración, bajo condiciones de campo en un terreno de 32x250 m. esta parcela se dividió en 32 sub parcelas de 6x30 m. para cada parcela se realizo la prueba de resistencia a la penetración en el centro de la misma a 4 diferentes profundidades: 10, 20, 30 y 40 cm. en esta evaluación se registraron 5,000 datos a cada profundidad.

3.2.2. Consideraciones del Diseño del Sensor y Herramienta del Penetrómetro.

Para el diseño del sensor de Anillo para medir la resistencia a la penetración se empleo el programa y el método desarrollado por Campos (1993) el cual considera las siguientes variables:

- F = Fuerza (N)
- r = Radio (m)
- b = Ancho (m)
- t = Espesor (m)
- K = Constante
- Ultimo esfuerzo del acero a ser empleado (Nm^{-2}).

Para el diseño del ring se empleo la siguiente ecuación de esfuerzo flexionante.

$$\sigma = \frac{6 Fr}{b t^2} \dots\dots\dots\text{Ecuación 3.1}$$

La ecuación empleada para determinar la deformación del ring de acuerdo a las dimensiones anteriores así como su factor de seguridad es la siguiente:

$$\epsilon_{90^\circ} = 1.09 \frac{Fr}{Ebt^2} \dots\dots\dots\text{Ecuación 3.2}$$

$$\sigma_l = 1.09 \frac{Fr}{bt^2} \dots\dots\dots\text{Ecuación 3.3}$$

$$Fs = \frac{\sigma_p}{\sigma_l} \dots\dots\dots\text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

F = Fuerza (N)

r = Radio del ring (m)

E = Modulo de elasticidad del acero (Pa)

b = Ancho del ring (m)

t = Espesor (m)

σ_l = Esfuerzo calculado

σ_p = Ultimo esfuerzo normalizado (1045)

Fs = Factor de seguridad

3.2.3. Montaje de Galgas Extensiométricas

El tipo de galgas extensiométricas montadas en el anillo del ring fueron de 120 Ω , de la empresa KYOWA, empleando el procedimiento para su montaje el descrito por Sakurai (1996). Para el monitoreo de fuerzas se empleo el diseño del ring descrito por Cook y Ravinovich (1963), con una capacidad de 10 KN de fuerza.

Se empleo un arreglo del puente de Wheatstone completo para realizar la medición en el cambio de resistencia en las galgas, permitiendo medir cargas estáticas y dinámicas. Las configuraciones de las galgas se muestran a continuación en el puente de wheatstone (figura 3.2).

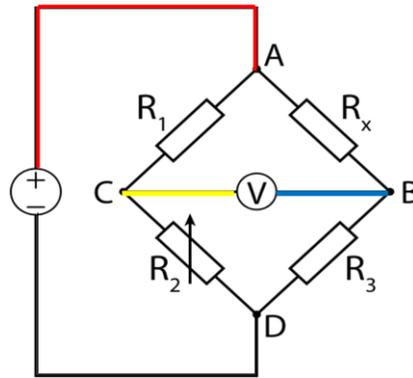


Figura 3.12. Configuración de las galgas en el puente de wheatstone.

3.2.4 Calibración del Sensor (RING)

Antes de realizarse las pruebas por primera vez se requirió a calibrar el equipo, esto es determinar la relación voltaje – fuerza para el sensor que a continuación se describe:

- ✓ Se instaló el equipo de adquisición de datos en laboratorio activando el programa Daq View.
- ✓ Se colocaron el sensor de fuerzas en un marco metálico, un gato hidráulico con capacidad de 2 Toneladas y el ring con capacidad de 10 KN. Para la calibración del sensor de fuerzas Se aplicó un voltaje de excitación de 5.5 Volts y 4.5 Volts en la ganancia en la escala del acondicionador de señales DBK-43A en el sistema.

Para la calibración del sensor se realizaron 5 corridas, a una frecuencia de muestreo de 20 Hz para un total de 4,500 datos. Las cargas aplicadas para su calibración fueron en escalas de 1000 N cada una. Las curvas generadas fueron

obtenidas con la aplicación de cargas con el gato hidráulico de 2 toneladas y con el sensor octagonal extendido con capacidad de 5000 N. Se re graficaron los datos obtenidos en términos de (N) versus (mV) para posteriormente generar las ecuaciones de calibración. Para esto se utilizo el programa MINITAB realizando el análisis de regresión correspondiente.

3.2.5 Pruebas de Campo de Resistencia a la Penetración

Una vez lograda la calibración se procedió a realizar las pruebas en condiciones de campo dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), empleando el carro porta sensores y el tractor acondicionado para este propósito (figura 3.13).



Figura 3.13. Tractor y carro porta sensores empleados en campo para medir la resistencia a la penetración.

La evaluación en campo consistió en determinar las magnitudes de las fuerzas de penetración del suelo a 4 profundidades diferentes 10, 20, 30, y 40 cm. En una parcela con las siguientes dimensiones 35 x 250m. La parcela fue dividida en 6 filas (de la fila 0 hasta la fila 5) con las dimensiones entre cada punto de 10m x 4m.

3.3 Desarrollo y Pruebas del Sensor a la Falla de Suelo

Para el esfuerzo de falla del suelo se diseñó un sensor de torsión con una capacidad de 1.62 N-m a una altura máxima de la barra de acoplamiento del carro porta –sensores de 0.70 m. este sensor se integro por un transductor de fuerzas, por un motor hidráulico con una capacidad de 2000 rpm y de 200 a 1.000 en libras de torque, una válvula reguladora de flujo y una herramienta de falla de suelo como se muestra en la figura (3.14).

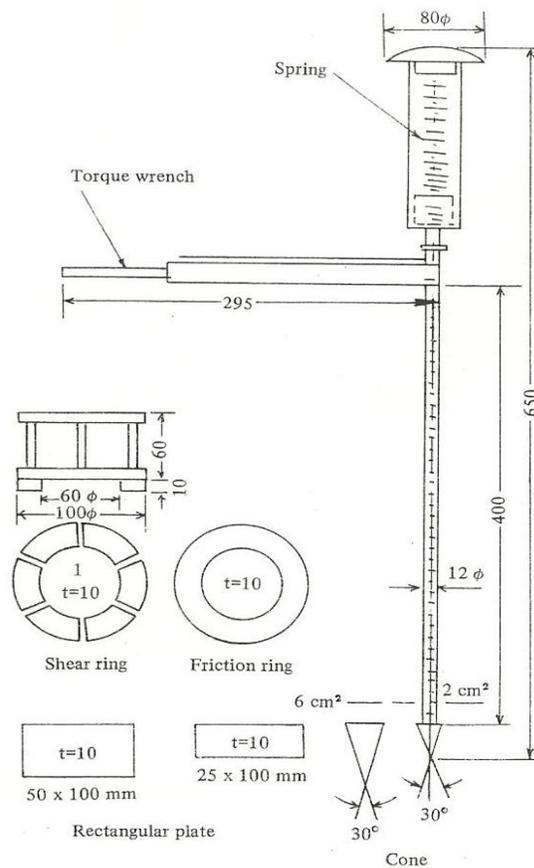


Figura 3.14. Herramienta del sensor de falla del suelo (torque).

La calibración de esta herramienta se hizo en una primera etapa bajo condiciones de laboratorio. Para lo cual se empleo una barra de torsión como se muestra en la figura (3.15).



Figura 3.15. Barra de torsión para el sensor de cohesión y sus radios.

3.3.1 Calibración del Sensor de Torque, Primera Etapa

Para la calibración Se realizaron 14 corridas con los siguientes pesos: 250, 500 y 1000 gr con tres distancias diferentes 15, 25 y 35 cm partiendo del centro de la barra del sensor. En esta evaluación se registraron 5,000 datos para cada arreglo, siguiendo la secuencia siguiente:

Al llegar a los 200 datos de registro en el Daq-Book se aplicaba las pesas, a los 1,400 datos se retira las pesas a los 1,600 se le vuelve a aplicar a los 2,800 se las quitamos a los 3,000 se la aplicamos y a los 4,200 se la retiramos hasta llegar a los 5,000 datos considerando el cambio de posiciones.

3.3.2 Consideraciones del Diseño del Sensor y Herramienta del Torque

Para el diseño del sensor de torsión se considero las ecuaciones de una barra hueca sometida a una torsión pura (Timoshenko, 1979), como se muestra en la figura (3.16).

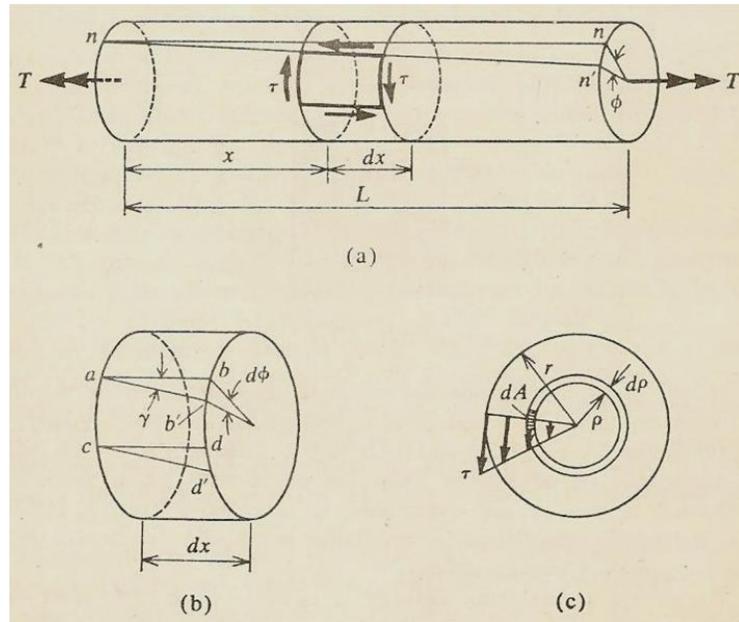


Figura 3.16. Barra circular en torsión pura.

Donde se utilizaron las ecuaciones siguientes:

$$\theta = \frac{T L}{G J} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.5}$$

$$J = \frac{\pi}{2} (r_2^4 - r_1^4) = \frac{\pi}{32} (d_2^4 - d_1^4) \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.6}$$

$$\gamma = r \theta = \frac{r \theta}{2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

θ = Angulo de torsión

T = Momento torsionante

L = Lungitud

G = Modulo de elasticidad de cortadura

J = Momento polar de inercia, constante de torsión

θ = Angulo de torsión por unidad de longitud

γ = Deformación de cortadura

r_i = Radio interior

r_e = Radio exterior

La ecuación empleada para determinar la resistencia a la falla de suelo de acuerdo a las dimensiones anteriores así como su factor de seguridad es la siguiente:

$$C = \frac{3T}{2\pi (r_1^3 - r_2^3)} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.7}$$

Donde:

C = Cohesión (kPa)

T = Torque (Nm)

r_1 = Diametro del anillo exterior (m)

r_2 = Diametro del anillo interior (m)

En la figura (3.17), se muestra el cableado y los arreglos de las galgas en puente de wheatstone para medir el esfuerzo a la falla del suelo producido por la localización de la fuerza.

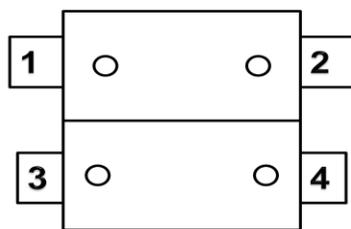


Figura (3.17) a

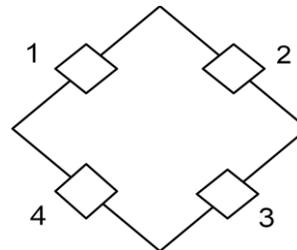


figura (3.17) b

Figura 3.17. Sensor del esfuerzo a la falla del suelo. a) cableado del sensor del tubo circular cableado en los dos lados opuestos del mismo. b) representación de las fuerzas actuando en la herramienta del de falla del suelo y el arreglo de circuitos con galgas extensiométricas en puente de wheatston.

En la figura (3.18), se muestran 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 los 50 MΩ.

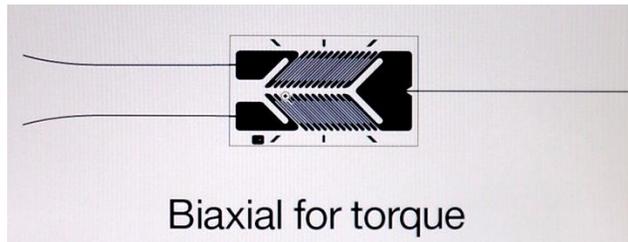


Figura 3.18. Especificaciones de galgas extensiométricas empleadas en el elemento sensor, en arreglos de puente de wheatstone.



Figura 3.19. Proceso de pruebas en laboratorio del sensor de cohesión y contrapesos empleados en la calibración.

IV. RESULTADOS

4.1 Caracterización y Calibración del Ring Para Resistencia a la Penetración y Torque.

En la figura (4.20), se muestra el carro porta sensores y herramienta del sensor de resistencia a la penetración.

1. Carro porta sensores.
2. Cilindro hidráulico.
3. Sensor (ring).
4. Penetrómetro.

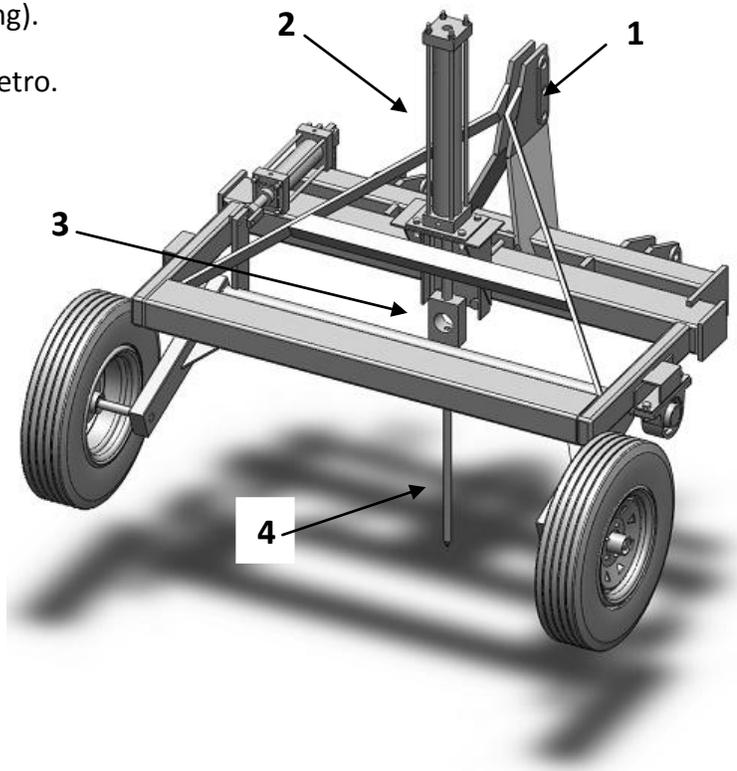


Figura 4.20. Diseño del carro porta sensores con dimensiones en 3D con la herramienta del sensor (ring) y penetrómetro. En SolidWorks Premium 2010

En la figura (4.21), se muestran las características del diseño del ring. Con una capacidad de 10 KN. Para medir los requerimientos de energía en forma dinámica en labranza primaria y para posteriormente georeferenciarlos, empleando el

sistema de información geográfica (SIG), para luego obtener los mapas de diagnósticos.

$$A = 100 \text{ mm}$$

$$B = 50 \text{ mm}$$

$$T = 150 \text{ mm}$$

$$\theta = 50 \text{ mm}$$

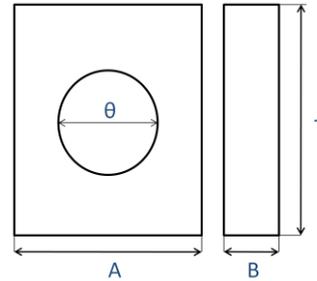


Figura 4.21. Dimensiones del transductor del ring con un acero 1045 para una resistencia a la penetración de 10 KN.

En la figura (4.22), se muestra el cableado y los arreglos de las galgas en puente de wheatstone para medir la fuerza de resistencia a la penetración producida por la localización de la fuerza.

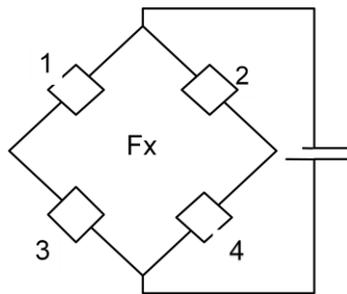


Figura 4.22 (a)

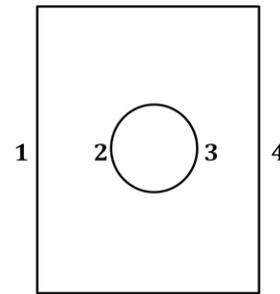


Figura 4.22 (b)

Figura 4.22. Sensor de resistencia a la penetración. (a) cableado del sensor del ring. (b) representación de la fuerza actuando en la herramienta para la penetración y el arreglo de circuitos con galgas extensiométricas que están representadas con los números en puente de wheatstone.

En la figura (4.23), se muestran 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 los 50MΩ.

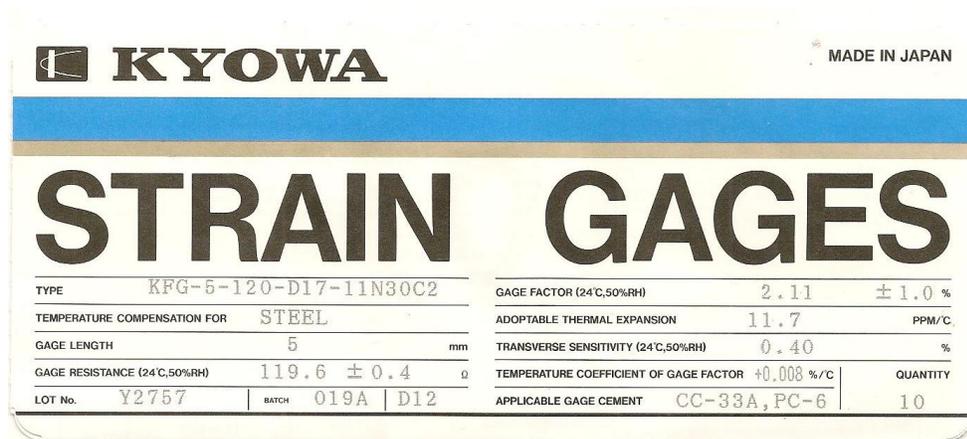


Figura 4.23. Especificaciones de galgas extensiométricas empleadas en el elemento sensor, en arreglos de puente de wheatstone.

En la figura (4.24), se muestra el ejemplo de la grafica de los datos obtenidos en la calibración del sensor ring, para las fuerzas aplicadas en Newton en el plano horizontal de acuerdo con los arreglos del puente de wheatstone mostrados en la figura (4.19).

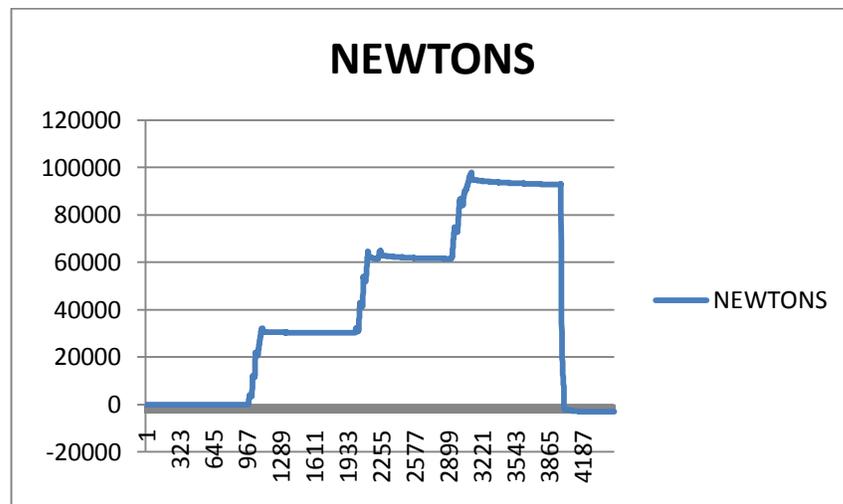


Figura 4.24. Calibración de fuerzas del sensor ring con una capacidad de 10 N. a diferentes fuerzas.

En el ANEXO A (4.1), se muestran Los resultados de las fuerzas para determinar la ecuación de calibración del sensor de ring empleado en el penetrómetro hidráulico.

En la figura (4.25), se muestra la curva de regresión obtenida mediante los datos de calibración, bajo condiciones controladas empleando el paquete del programa estadístico de Minitab. En él se aprecia un alto coeficiente de correlación (R-.Sq) de más del 99.7% entre las cargas aplicadas (N) y los valores obtenidos en (mV). Esta linealidad de respuesta del sensor, nos da una alta confiabilidad de los datos a obtener bajo condiciones de campo.

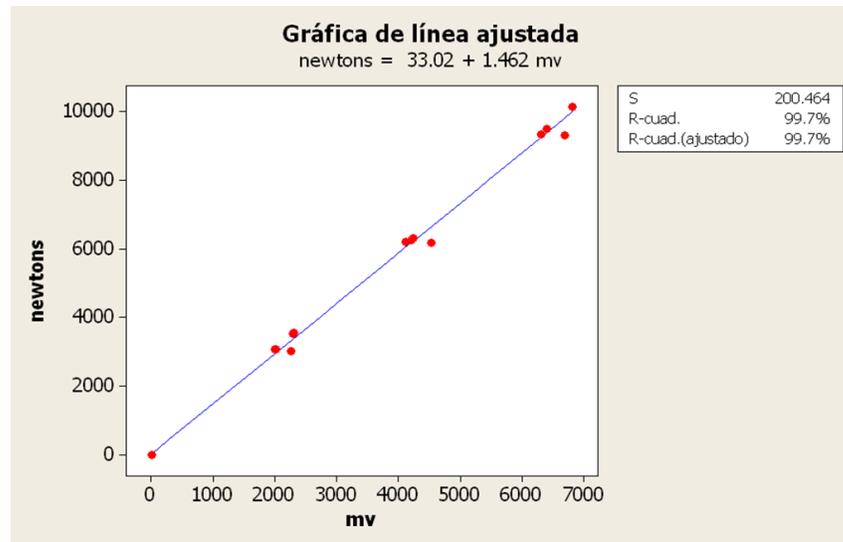


Figura 4.25. Ecuación de respuesta de la fuerza, aplicada del sensor del ring con una capacidad de 10 KN.

En la grafica se muestra que el coeficiente de relación que es el 99.7% de los puntos se ajustan a la línea esto nos quiere decir que se encuentra arriba del rango requerido mínimo del 99.5%, con el ajuste que obtuvo tenemos una constante de calibración de 1.462 mV.

4.1.1 Evaluación del Sensor Ring Para Determinar la Resistencia a la Penetración y Localización de Áreas Compactadas del Suelo.

En la figura (4.26), se muestran las fotografías de la evaluación de resistencia a la penetración bajo condiciones en campo abierto. En la figura (4.27), se puede apreciar la variación de la demanda de fuerza para la resistencia a la penetración del suelo cuando se trabaja con la herramienta a las diferentes profundidades 10, 20, 30, y 40 cm.

En estas profundidades se logra apreciar fácilmente que a partir de los 20 cm el suelo empieza a ser más compacto, haciendo de manifiesto esto, que cuando la herramienta se encuentra trabajando a las 30 y 40 cm de profundidad las capas del suelo se encuentran más compactadas, esto quiere decir que a estas profundidades no se ha trabajado y dándonos cuenta en los mapas obtenidos donde se muestran la demanda de fuerzas, se pone de manifiesto la importancia y la determinación por zonas de la demanda de energía y la localización de áreas compactadas que se aprecian en los mapas de rendimiento.



Figura 4.26. Evaluación encampo para determinar la resistencia a la penetración a diferentes profundidades y generación de mapas con sistema de información geográfica.

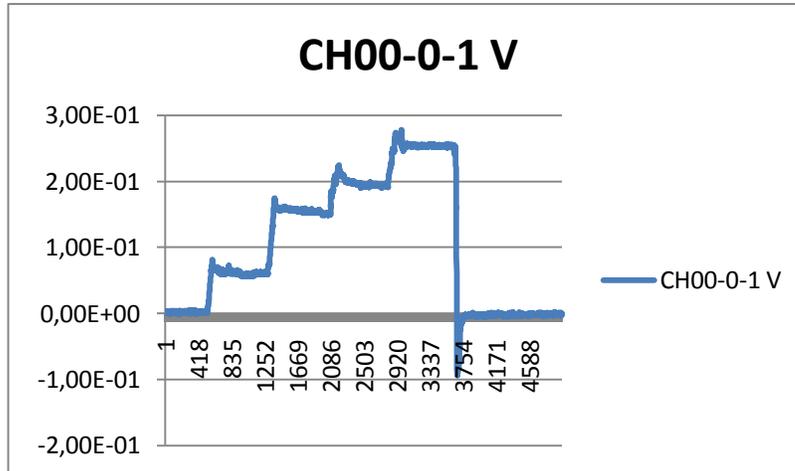


Figura 4.27. Datos de fuerza del penetrómetro en campo a 10, 20, 30 y 40 cm de profundidad.

En el anexo B (4.2). Se muestra la tabla de datos obtenidos en un predio de 32x230 m. de largo a las profundidades hasta de 10, 20, 30 y 40 cm. En las figuras (4.25 A, 4.25 B; 4.26 A, 4.26 B; 4.27 A, 4.27 B; 4.28 A, 4.28 B), se muestran los gráficos a cuatro diferentes profundidades de las resistencias a la penetración generados con el programa GS+ a 10 niveles, empleando interpolaciones de 1 metro con el método de inverso de la distancia.

En la figura (4.28), se aprecia que el mínimo y el máximo valor de resistencia a la penetración obtenido en el predio a una profundidad de 10 cm fue de: 243 y de 2234 kPa respectivamente.

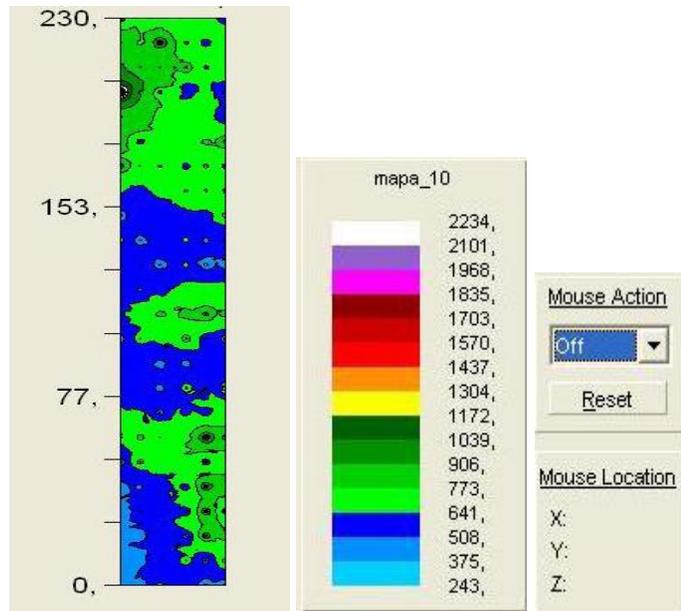


Figura 4.28 A. Mapa de fuerza a la resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 10 cm.

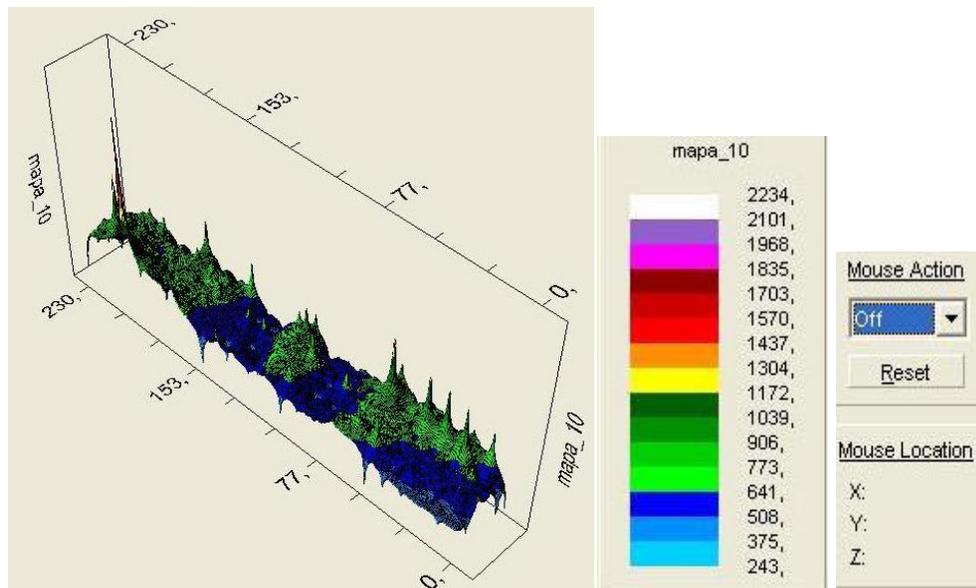


Figura 4.28 B. Imagen en 3d de resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 10 cm.

En la figura (4.29), se aprecia que el mínimo y el máximo valor de resistencia a la penetración obtenido en el predio a una profundidad de 20 cm fue de: 381 y de 4023 kPa respectivamente.

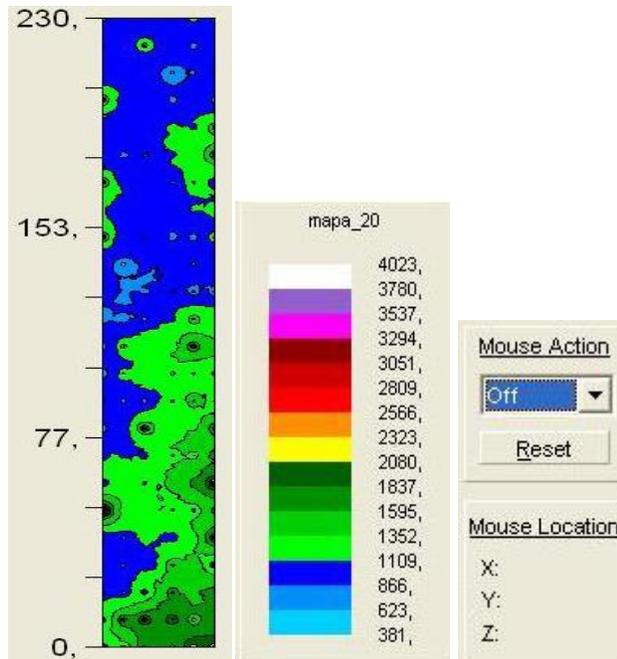


Figura 4.29 A. Mapa de fuerza a la resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 20 cm.

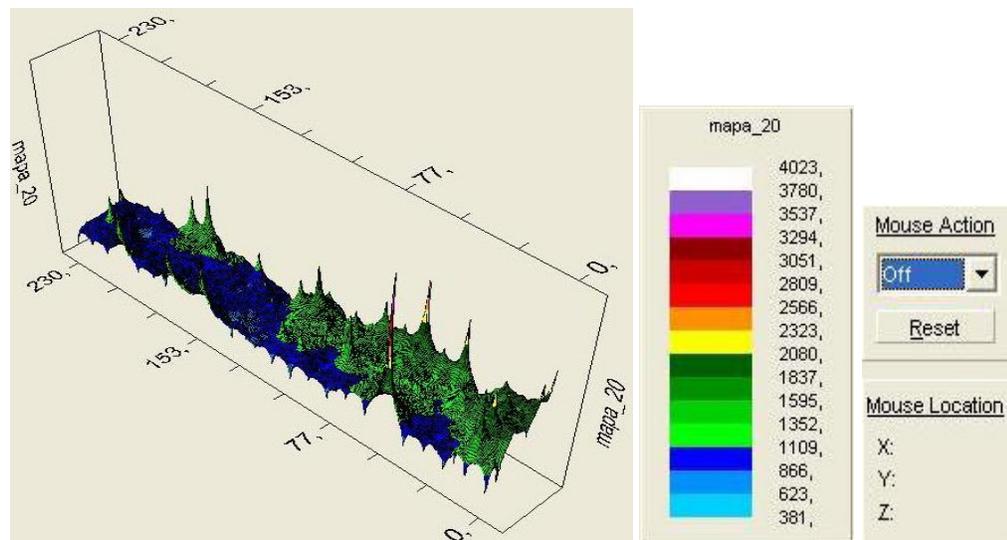


Figura 4.29 B. Imagen en 3d de resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 20 cm.

En la figura (4.30), se aprecia que el mínimo y el máximo valor de resistencia a la penetración obtenido en el predio a una profundidad de 10 cm fue de: 496 y de 4706 kPa respectivamente.

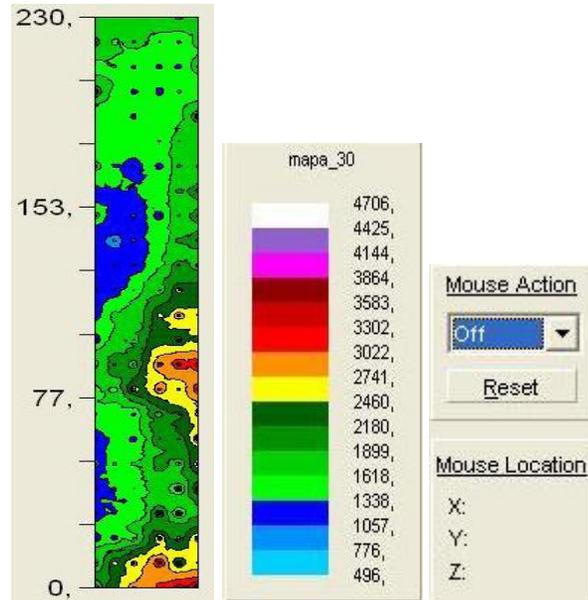


Figura 4.30 A. Mapa de fuerza a la resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 30 cm.

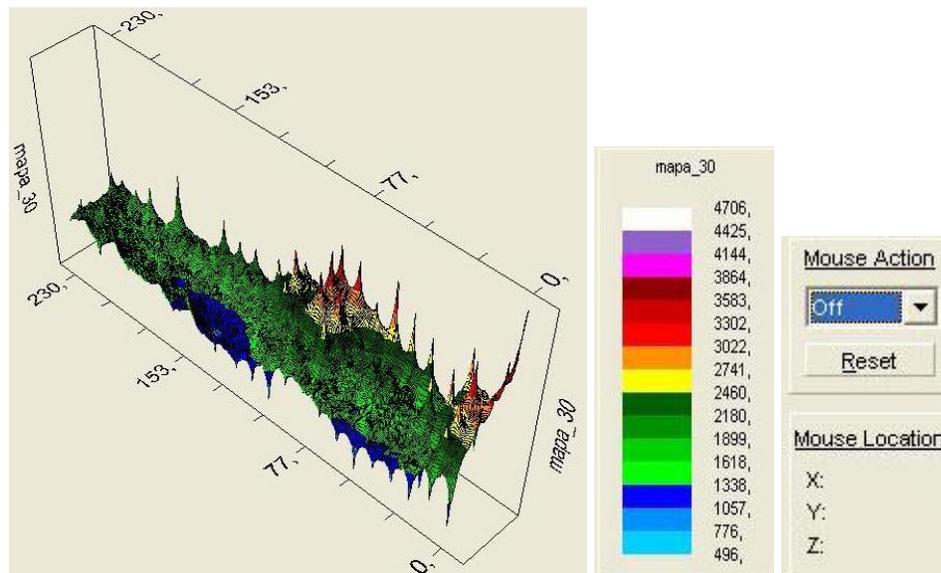


Figura 4.30 B. Imagen en 3d de resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 30 cm.

En la figura (4.31), se aprecia que el mínimo y el máximo valor de resistencia a la penetración obtenido en el predio a una profundidad de 10 cm fue de: 364 y de 4497 kPa respectivamente.

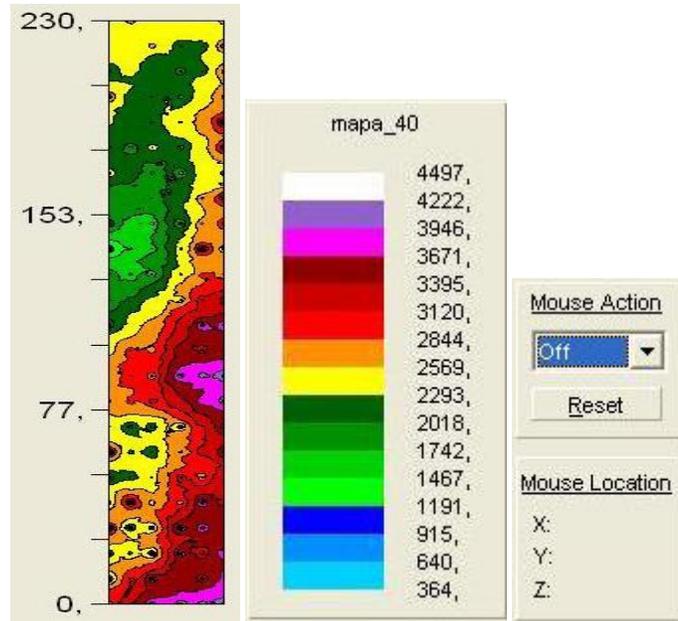


Figura 4.31 A. Mapa de fuerza a la resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 40 cm.

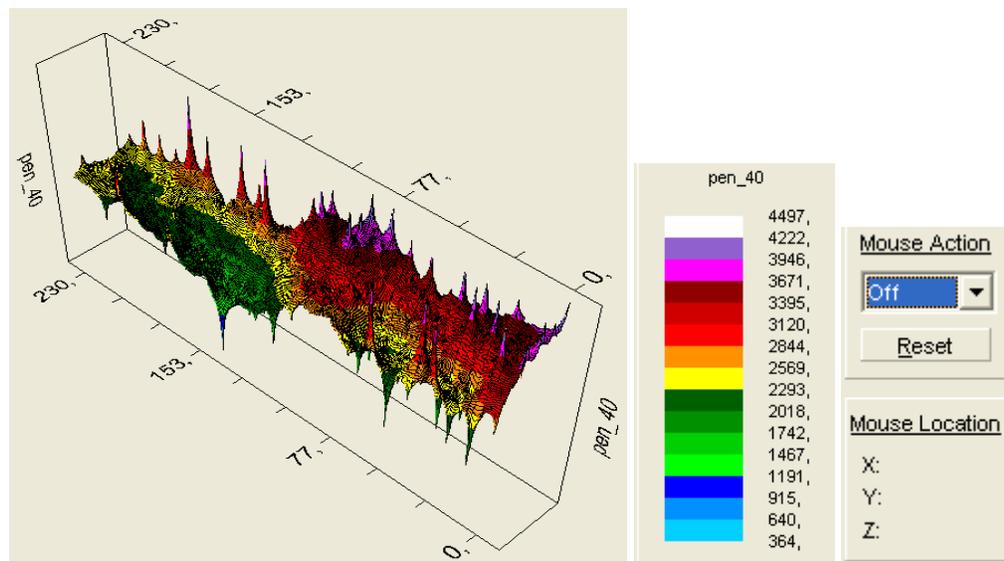


Figura 4.31 B. Imagen en 3d de resistencia a la penetración en campo a una profundidad de 40 cm.

En los mapas se muestra que en las filas 25-0, 25-1, 25-2, 25-3, 25-4, en las coordenadas X-Y se encuentra la mayor parte del suelo compactado con una fuerza mínima de compactación de 3120 (kPa) de una color rojo y una máxima fuerza de 4417 kPa de color Blanco lo cual significa que aquí se necesita más labores de labranza para disminuir la compactación mientras que en los puntos restantes disminuye la fuerza a la resistencia de penetración la cual disminuyen los requerimientos de laboreo del suelo.

4.2 Sensor de Esfuerzo a la Falla del Suelo, Primera Etapa.

Para la medición del esfuerzo cortante del suelo se evaluó un sensor de torsión con las siguientes características:



Figura 4.32. Características del sensor de esfuerzo a la falla.

Los resultados obtenidos de la sensibilidad del sensor evaluado y empleando pesos de 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, y 1750 gramos cada uno a tres diferentes distancias 15, 25, y 35 cm partiendo del centro de la barra del sensor, fijados los instrumentos utilizados se muestran en la figura (4.33).

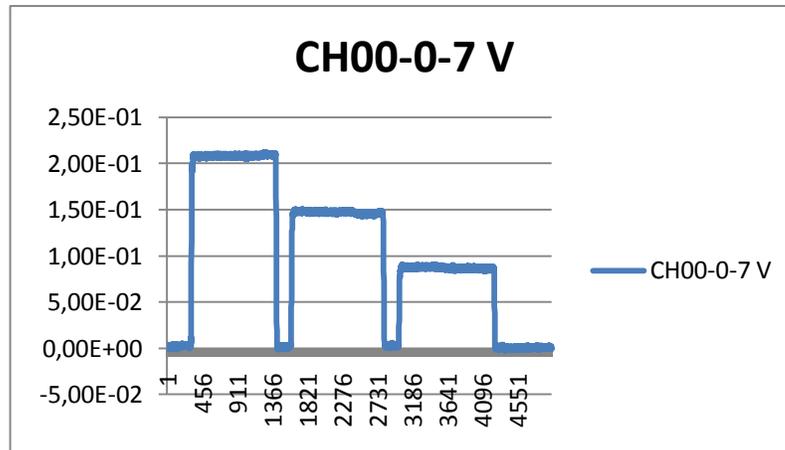


Figura 4.33. Calibración del de fuerzas del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

Cuadro 4.2. Datos de Calibración del sensor de cohesión en laboratorio para determinar el esfuerzo a la falla del suelo.

Distancia (m)	Peso (gr)	(Peso)*(9.81) N	(N)*(D) Nm	mV
0.175	1.64	16.168	2.829	91.2
0.275	1.64	16.168	4.446	138
0.375	1.64	16.168	6.063	200
0.175	0.73	7.234	1.266	44.4
0.275	0.73	7.234	1.989	66.9
0.375	0.73	7.234	2.713	94.9
0.175	0.24	2.393	0.418	18.9
0.275	0.24	2.393	0.658	27.8
0.375	0.24	2.393	0.897	35.9
0.175	0.49	4.841	0.847	27
0.275	0.49	4.841	1.331	43.5
0.375	0.49	4.841	1.815	64.9
0.175	1.40	13.775	2.410	72.5
0.275	1.40	13.775	3.788	124
0.375	1.40	13.775	5.165	174
0.175	0.91	8.933	1.563	50.8
0.275	0.91	8.933	2.456	78.7
0.375	0.91	8.933	3.350	115
0.175	1.15	11.327	1.982	60.2
0.275	1.15	11.327	3.115	90
0.375	1.15	11.327	4.247	137

En la figura (4.34), se muestra la curva de respuesta de los (mV) obtenidos en las cargas y descargas del sensor. En esta se puede apreciar 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.

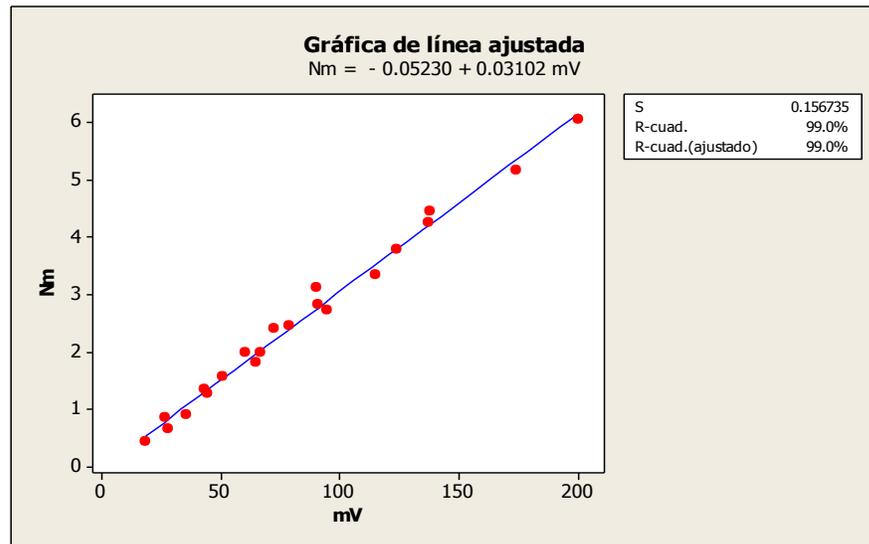


Figura 4.34. Ecuación de respuesta, fuerza, del sensor con una capacidad de 1.62 N-m.

Considerando las cargas y descargas en una posición de derecha-izquierda como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4.35. Cargas y descargas considerando pesos y distancias.

4.3. Sensor de Esfuerzo a la Falla del Suelo, Segunda Etapa

En la figura (4.36), se muestran las características del carro porta-sensores y herramienta del sensor a la falla del suelo (torque).

1. Carro porta sensores.
2. Motor reductor.
3. Sensor.
4. Torque

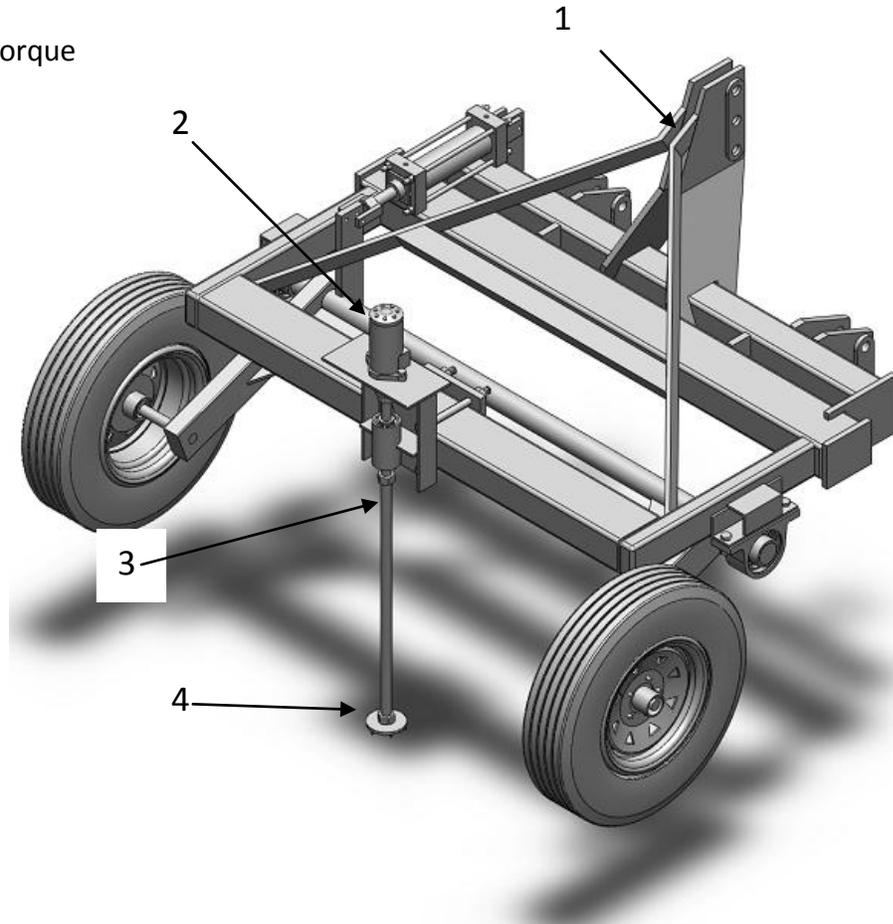


Figura 4.36. Características del carro porta sensores y herramienta del sensor (torque). En SolidWorks Premium 2010

En la figura (4.37), se muestran ejemplos de las graficas de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio del sensor de cohesión modificado cuyas especificaciones están descritas en el capítulo de metodología figura (3.13), para

las fuerzas aplicadas en el plano horizontal de acuerdo con los arreglos de cargas y distancias mostrados en la figura (4.38).

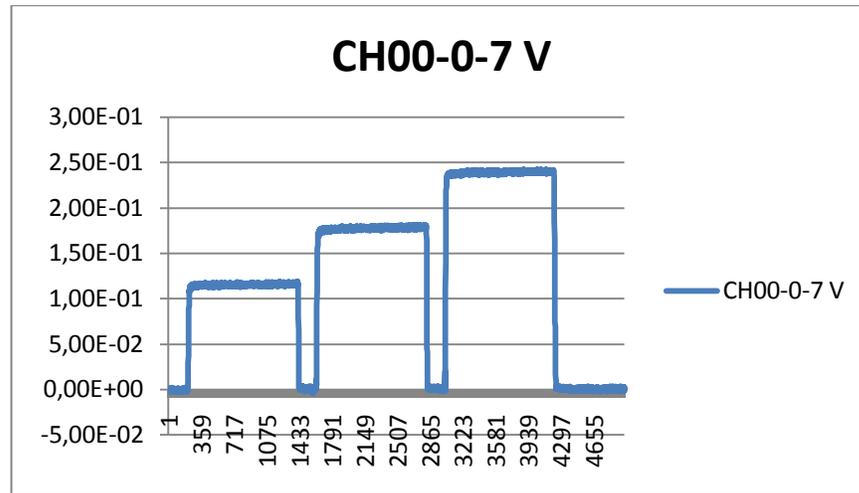


Figura 4.37. Prueba en laboratorio de fuerza del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m. A una posición de la fuerza de 15, 25, y 35 cm con respecto del centro del sensor.



Figura 4.38. Procedimiento en cargas y descargas de los diferentes pesos del sensor de cohesión.

En el cuadro (4.3), se muestran las medidas de las fuerzas (f_x), en carga y descarga, obtenidos con tres diferentes posiciones de las cargas con respecto al centro del tubo del sensor de cohesión. En esta se muestra la alta sensibilidad del sensor a los cambios de posición de la fuerza.

Cuadro 4.3. Datos de calibración de fuerzas (N) en mili volts (mV) del sensor de esfuerzo a la falla del suelo, en tres posiciones diferentes respecto al centro del sensor; izquierda derecha.

Distancia (m)	Peso (gr)	Peso(9.81) N	(N*D) Nm	mV
0.175	1.64	16.168	2.829	114
0.275	1.64	16.168	4.446	178
0.375	1.64	16.168	6.063	239
0.175	0.73	7.234	1.266	44.9
0.275	0.73	7.234	1.989	76.7
0.375	0.73	7.234	2.713	107
0.175	0.24	2.393	0.418	21.7
0.275	0.24	2.393	0.658	32.6
0.375	0.24	2.393	0.897	44.2
0.175	0.49	4.841	0.847	35.5
0.275	0.49	4.841	1.331	54.2
0.375	0.49	4.841	1.815	73
0.175	1.40	13.775	2.410	93.1
0.275	1.40	13.775	3.788	147
0.375	1.40	13.775	5.165	202
0.175	0.91	8.933	1.563	63.5
0.275	0.91	8.933	2.456	99.2
0.375	0.91	8.933	3.350	135
0.175	1.15	11.327	1.982	79.4
0.275	1.15	11.327	3.115	124
0.375	1.15	11.327	4.247	171

En la figura (4.39), se muestra la curva de regresión obtenida mediante los datos de pruebas, bajo condiciones controladas empleando el paquete del programa estadístico de Minitab. En él se aprecia un alto coeficiente de correlación (R-.Sq) de más del 99.7% entre las cargas aplicadas (N) y los valores obtenidos en (mV). Esta linealidad de respuesta del sensor, nos da una alta confiabilidad de los datos a obtener bajo condiciones de campo.

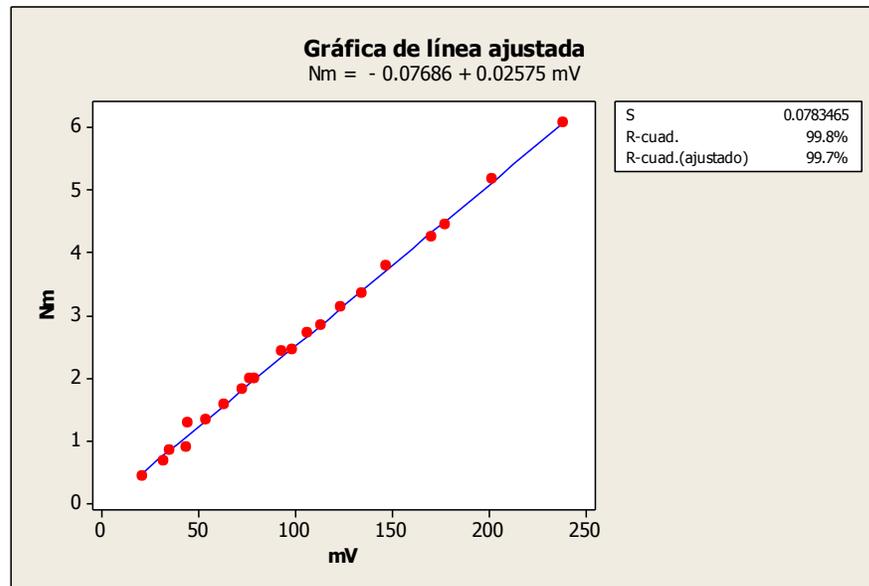


Figura 4.39. Ecuación de respuesta de la fuerza en carga y descarga del sensor a la falla del suelo con capacidad de 1.62 N-m.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ Se desarrollo un sensor integrado por un ring y una herramienta de penetración tipo cono con una alta linealidad en su respuesta de penetración (fuerza). Mostrando una alta sensibilidad de 1.642Mv-N y confiabilidad, con coeficientes de correlación de más del 97% de los puntos que se ajustan a la línea, esto nos quiere decir que se encuentra por arriba del mínimo 95.0%.

- ❖ Los resultados obtenidos en la evaluación en campo del penetrómetro muestran la profundidad y los puntos donde se localizan las áreas compactadas del suelo evaluado, dando una mayor confiabilidad al agricultor. Estos datos obtenidos se pueden apreciar en los mapas de prescripción.

- ❖ También se desarrollo un sensor de fuerza a la falla de suelo y herramienta de torque, los resultados obtenidos en laboratorio muestran un alto nivel de sensibilidad 0.0257 mv-Nm y confiabilidad, con un coeficiente de correlación de más del 99.8% de los puntos que se ajustan a la línea de respuesta.

VI. LITERATURA CITADA

1. Andrade Sánchez Pedro. (2005) Construcción de un bastidor porta-sensores para medir el estado físico-mecánico del suelo. XV Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz Ver. México.
2. 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.
3. Gallegos Ramírez José Manuel (2004) Diseño y Evaluación de un Software Para Micro controladores PIC, para la digitalización de la señal de un Penetrómetro.
4. Gill, W.R., A.C Bailey, and C.A. Reaves. 1982. Harrow disk curvature. Influence on soil penetration. Trans. ASAE 25:1180-1180.
5. Godwin, R.J.; Reynolds, A. J.; O'Dogherty; Al-Ghazal, A. A. 1993. A triaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements. J. Agric. Engng. Res. 55:189-205.
6. Hinojosa García Manuel (2003) Desarrollo de un transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales en tractores categoría II Basado en el diseño Octagonal extendido. Tesis de licenciatura sin publicar. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN. Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.
7. kms.progopinia.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=433 - 24k - Doerge T.A. (1999). Agricultura de Precisión y Manejo Sitio Específico.
8. Magalhães, P.S.G., e W.R. Souza. 1990. Subsolador: Influencia de parámetros geométricos no mecanismo de forças. 2:1033. XIX Congressos Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, São Paulo, Brasil, Julio de 1990. Sociedad Brasileira de Ingeniería Agrícola, Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil.
9. Marín Omaña Leticia. (2003) Desarrollo de un Transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales a tractores categoría II. "Basado en el diseño de vigas sometidas a esfuerzos flexionantes y Torsionantes". Tesis de

licenciatura sin publicar. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN Buena vista, Saltillo; Coahuila, México.

10. Mello y Magalhães P.S.G (1995) Evaluación de Implementos de Labranza a Diferentes Velocidades de Operación y Contenidos de Agua del Suelo.

11. Norton G. W and S.M Swinton. 2001. Precisión agriculture: Global prospects and enviromental implications. Forthcoming in G.H Peters and P. Pingali, eds. Tomorro's Agriclture: Incentives, institutions, infrastructure and innovations: proceeding of the 24th international conference of agricultural Economits, 200. Lond: Ashgate.

Tesis de licenciatura sin publicar. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.

12. Velázquez Roblero, Nelson. 2010, Equipo para la generación de mapas de índice de cono y resistencia al corte del suelo. Tesis; Ingeniero Mecánico Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). División de Ingeniería; Departamento de Maquinaria Agrícola. Saltillo, Coahuila, México.

www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072007000100007&script=sci_arttext - 46k

—

ANEXOS

Anexo A. Detalles Calibración del Sensor Ring para su uso con Penetrómetro en Laboratorio.

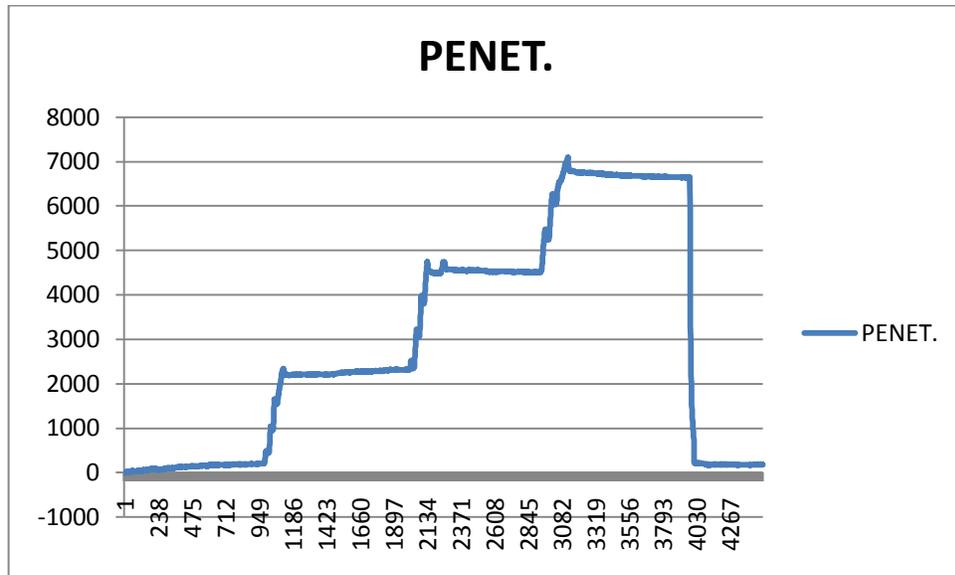


Figura A-1. Calibración de fuerza del ring con capacidad de 10 KN.

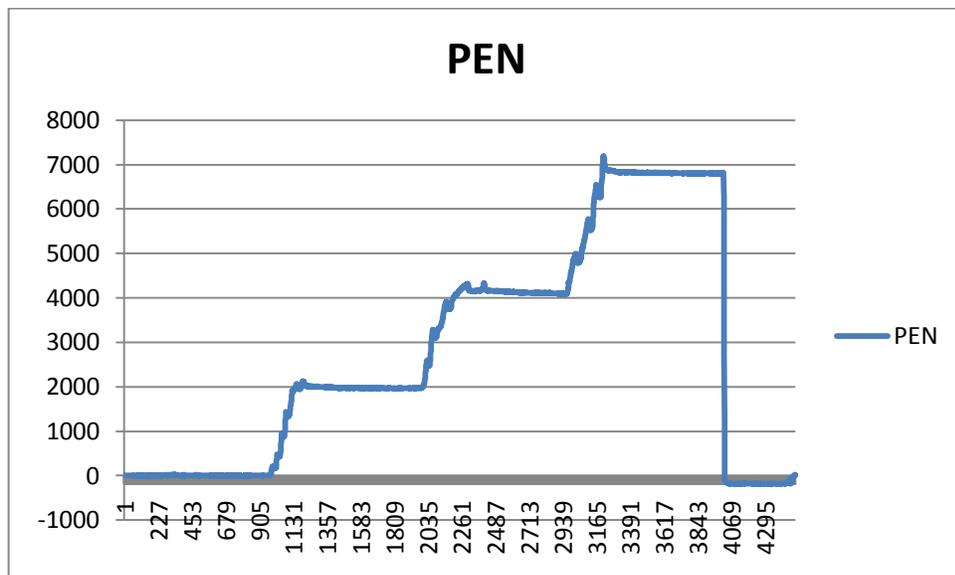


Figura A-2. Calibración de fuerza del ring con capacidad de 10 KN.

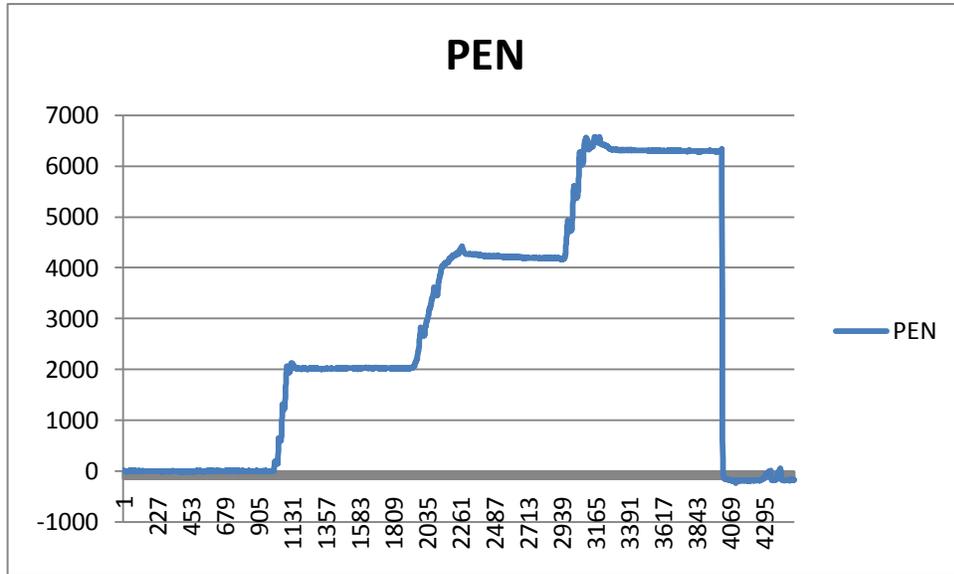


Figura A-3. Calibración de fuerza del ring con capacidad de 10 KN.

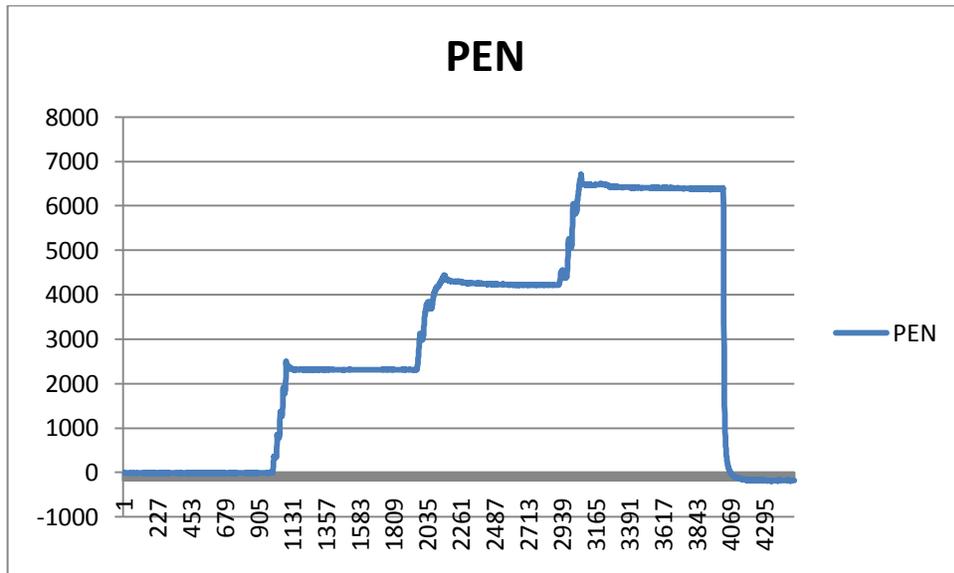


Figura A-4. Calibración de fuerza del ring con capacidad de 10 KN.

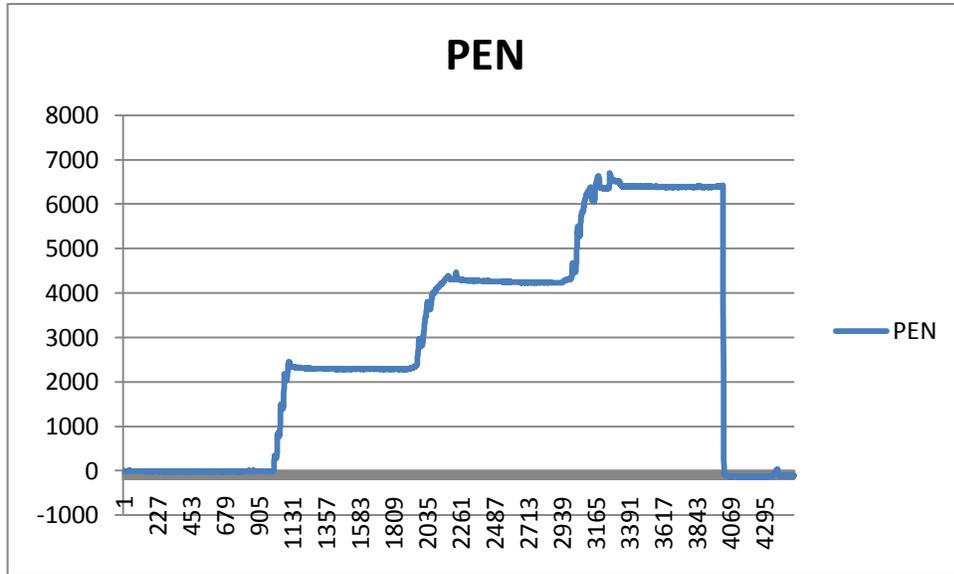


Figura A-5. Calibración de fuerza del ring con capacidad de 10 KN.

Cuadro 4.1 Datos de calibración de fuerzas (N) en mili volts (mV) del sensor ring sometido a 3 diferentes fuerzas.

	DATOS	FUERZAS (N)		
1	500	30307	61918	93291
2	1100	30732	62188	101517
3	1900	30800	62696	93370
4	3000	35530	63279	95019
5	4500	35293	63247	95036
		Fuerza 1 (mV)	Fuerza 2 (mV)	Fuerza 3 (mV)
1	500	2261	4529	6686
2	1100	2000	4118	6817
3	1900	2017	4212	6304
4	3000	2312	4232	6403
5	4500	2288	4233	6391

Anexo B (4.2). Datos Obtenidos del Penetrómetro con el Sensor Ring en Pruebas de Campo.

Cuadro B-1. Datos obtenidos de las pruebas en campo con el penetrómetro a cuatro diferentes profundidades 10, 20, 30 y 40 cm en mV en 25 puntos de referencia, primera fila.

Punto de referencia	Profundidades (mV)			
	10 cm	20cm	30cm	40 cm
250	17.9	189	351	334
240	72	121	174	272
230	63	134	252	299
220	30.1	36.3	132	253
210	57.2	199	230	241
200	49.4	129	246	255
190	75.8	228	287	293
180	46.8	130	220	296
170	50	153	276	334
160	46.5	76.1	276	334
150	16.6	67.6	157	245
140	66.8	113	211	306
130	60.1	94.3	175	277
120	23.8	31	91.7	181
110	35.6	68.8	175	148
100	73.7	113	173	250
90	42.7	87.6	188	294
80	38.6	58	112	141
70	80.7	172	124	278
60	29.5	142	217	334
50	31.7	43.5	95.7	223
40	58.4	87.6	158	233
30	58.3	77.2	137	245
20	33.3	51.6	135	201

Cuadro B-2. Datos obtenidos de las pruebas en campo con el penetrómetro a cuatro diferentes profundidades 10, 20, 30 y 40 cm en mV en 25 puntos de referencia, segunda fila.

Punto de referencia	Profundidades (mV)			
	10 cm	20cm	30cm	40 cm
251	17.7	184	288	316
241	18.9	70	90	186
231	73.2	108	221	214
221	111	116	81.6	152
211	75.1	98.9	88	164
201	58.6	87	224	257
191	113	133	131	255
181	38.3	75.8	124	230
171	47.9	89.9	168	299
161	37.7	130	283	317
151	109	196	276	310
141	118	225	240	277
131	2.4	7.6	13.1	203
121	30.2	60.4	67.4	293
111	32.4	59.5	67.4	128
101	119	147	0	317
91	73.5	89.1	89.7	215
81	90.6	125	146	236
71	32.7	64.7	78.4	148
61	95.8	99.5	76.9	140
51	83.6	89.1	73.9	147
41	45.2	38.1	49.4	150
31	29.6	28.4	29.9	97.7
21	37.5	45.8	72.3	191

Cuadro B-3. Datos obtenidos de las pruebas en campo con el penetrómetro a cuatro diferentes profundidades 10, 20, 30 y 40 cm en mV, en 25 puntos de referencia, tercera fila.

Punto de referencia	Profundidades (mV)			
	10 cm	20cm	30cm	40 cm
252	49	105	249	334
242	62.4	164	290	273
232	21.4	150	254	334
222	29	135	237	334
212	36.3	60.3	134	183
202	55.6	70.8	165	267
192	52.2	121	172	216
182	211	300	222	219
172	98.9	239	268	334
162	23.8	53.1	259	334
152	55.5	152	263	334
142	92.8	298	342	334
132	20.8	43	101	206
122	29.6	48.8	121	163
112	36.3	56.8	149	161
102	59.5	85	155	193
92	54.3	94.9	217	222
82	95.5	107	96.7	116
72	121	220	118	132
62	94.9	105	127	171
52	87	102	92.8	140
42	24.1	68.4	71.7	145
32	55.5	63.8	50.1	129
22	66.2	97.7	196	224

Cuadro B-4. Datos obtenidos de las pruebas en campo con el penetrómetro a cuatro diferentes profundidades 10, 20, 30 y 40 cm en mV, en 25 puntos de referencia, cuarta fila.

Punto de referencia	Profundidades (mV)			
	10 cm	20cm	30cm	40 cm
253	59.8	146	245	0
243	49.6	195	246	0
233	48.4	56.8	74.5	105
223	39.4	75.7	109	120
213	39.2	82.5	123	162
203	57.4	82.7	134	157
193	46.2	71.1	78.9	137
183	19.4	74.3	120	121
173	31	185	239	253
163	26.1	42.7	91.9	163
153	49.1	81.3	112	187
143	68.5	86.2	118	200
133	42.1	49.6	91.9	175
123	21.4	60.3	66.1	93.1
113	45.5	66.7	65.8	102
103	44.4	60.3	61.9	82.4
93	54.2	72.3	88.5	124
83	42.7	60.3	65.9	116
73	46.8	86.7	120	196
63	51.1	70.7	82.1	143
53	35.2	62.3	85.9	172
43	56	74.9	87.6	158
33	110	133	157	217
23	57.8	72.2	132	186

Cuadro B-5. Datos obtenidos de las pruebas en campo con el penetrómetro a cuatro diferentes profundidades 10, 20, 30 y 40 cm en mV, en 25 puntos de referencia, quinta fila.

Punto de referencia	Profundidades (mV)			
	10 cm	20cm	30cm	40 cm
254	26.9	56.5	180	254
244	25.5	174	215	244
234	27.5	45	56.9	146
224	51	52.6	92.3	98.7
214	31.3	48.5	96.74	0
204	75.5	89.9	135	143
194	69.3	84.2	108	155
184	53.6	74	98	115
174	42.9	70	89.4	222
164	40.6	50	179	237
154	61.3	104	138	239
144	50.7	125	144	172
134	30.4	45.5	72.6	158
124	49	61.3	75.1	97
114	22.1	23.2	37.2	103
104	42.3	57.7	87.9	106
94	39.2	70.8	96	136
84	58.6	71.6	93.4	172
74	34.96	41.2	103	111
64	66.8	75.8	111	150
54	65.8	75.8	112	152
44	53.6	69.3	123	185
34	49.3	72.3	107	179
24	50.8	75.7	138	208

Cuadro B-6. Datos obtenidos de las pruebas en campo con el penetrómetro a cuatro diferentes profundidades 10, 20, 30 y 40 cm en MV, en 25 puntos de referencia, sexta fila.

Punto de referencia	Profundidades (mV)			
	10 cm	20cm	30cm	40 cm
255	37.8	55.5	60.3	187
245	30.4	61.2	78.4	98.3
235	34.6	51	54	120
225	31.4	60.9	63.5	0
215	26.7	45.9	64.7	150
205	18.2	30.4	38	77.7
195	47	56.8	65.8	0
185	56.3	67	90.6	166
175	39.5	46.4	109	215
165	36.2	59.2	102	198
155	23.5	40.4	48.4	163
145	47	48	63.6	98.3
135	38	58	67.8	124
125	50	73.7	95.5	157
115	58.7	71.9	89.1	99
105	14.3	167	175	207
95	49	84.7	89.6	138
85	87.3	155	165	214
75	59.8	70.5	108	174
65	52.8	62.4	104	175
55	173	169	226	261
45	68.8	60.7	93.4	135
35	56	59.7	179	181
25	28.1	48.4	119	177

Anexo C. Detalles de Cada Dato de Calibración del Sensor de Cohesión (primera etapa). Con Diferentes Cargas a Diferentes Posiciones.

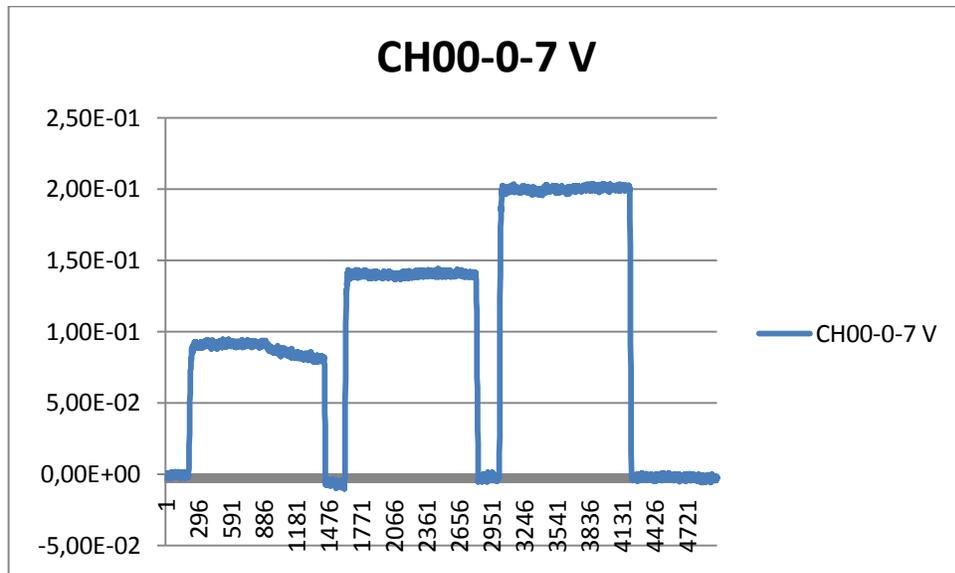


Figura C-1. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

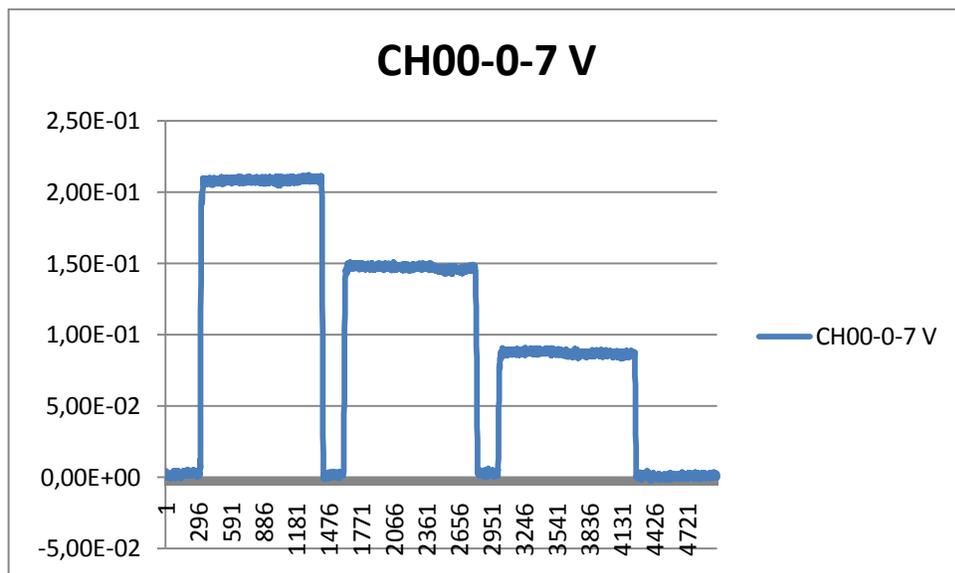


Figura C-2. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

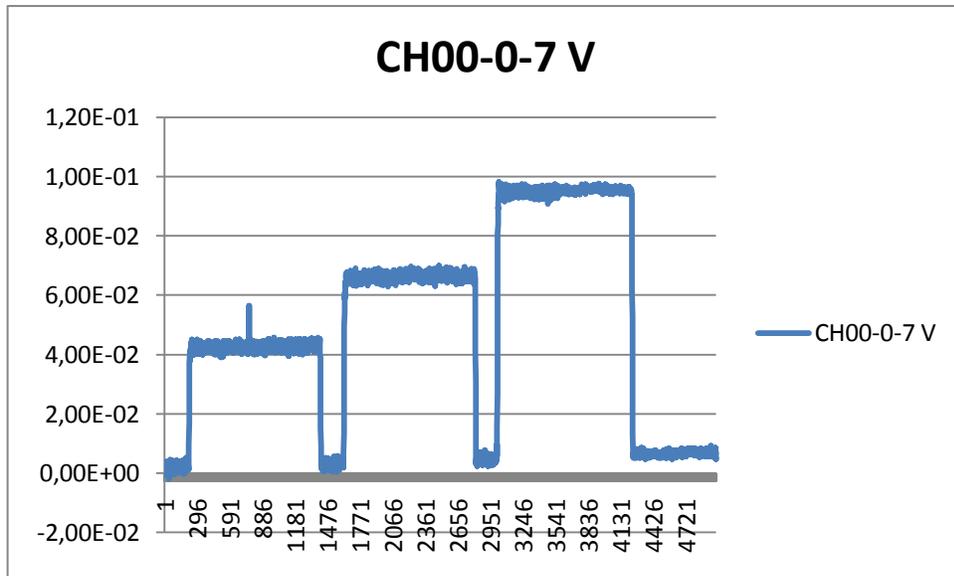


Figura C-3. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

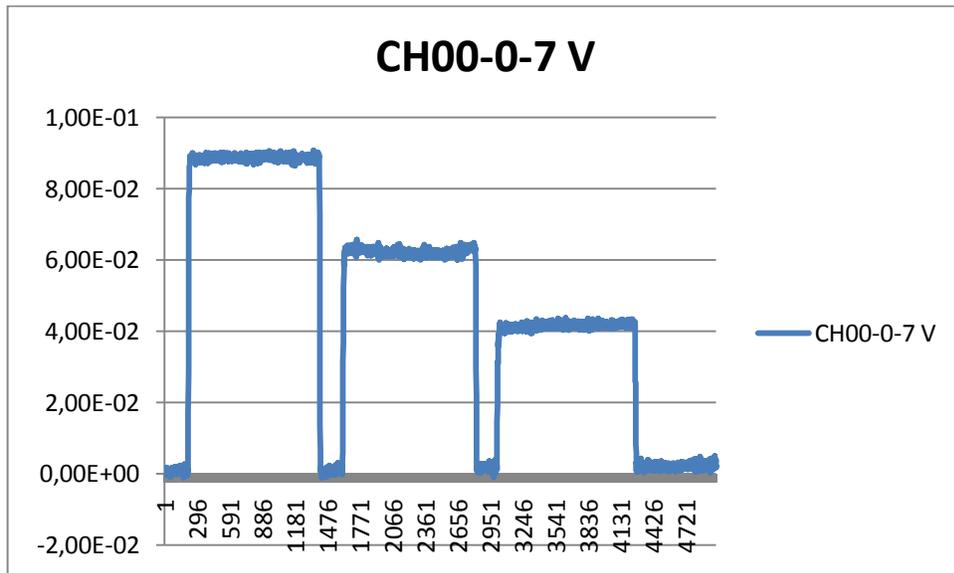


Figura C-4. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

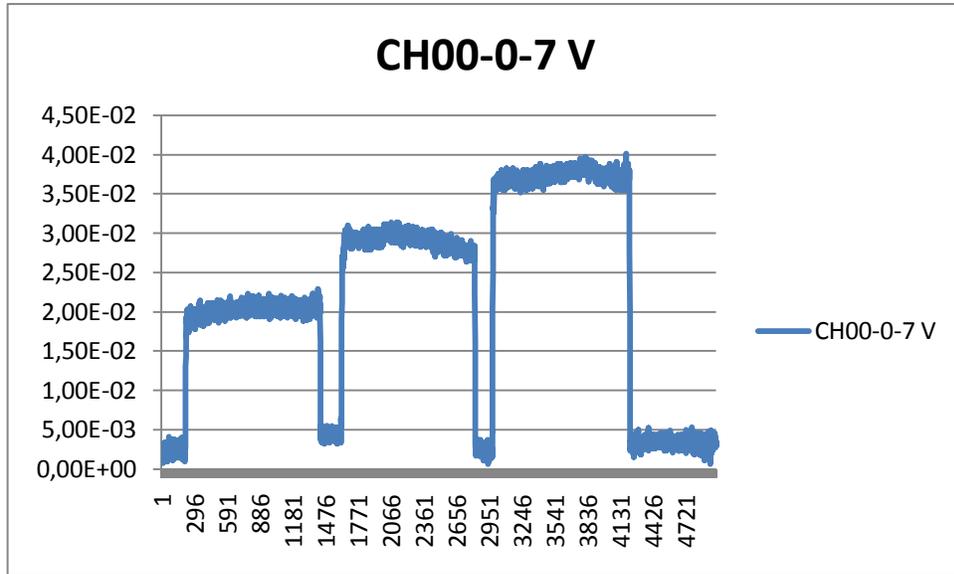


Figura C-5. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

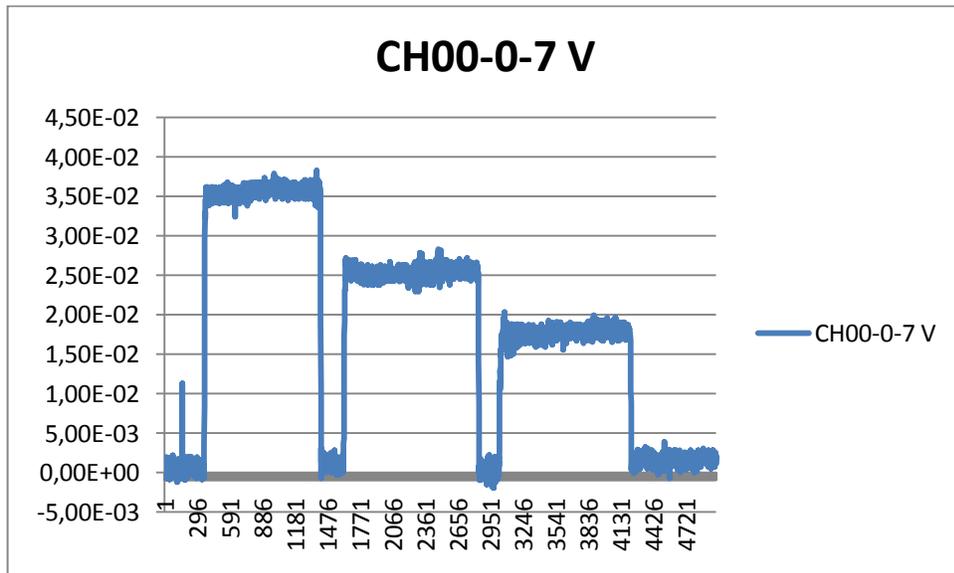


Figura C-6. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

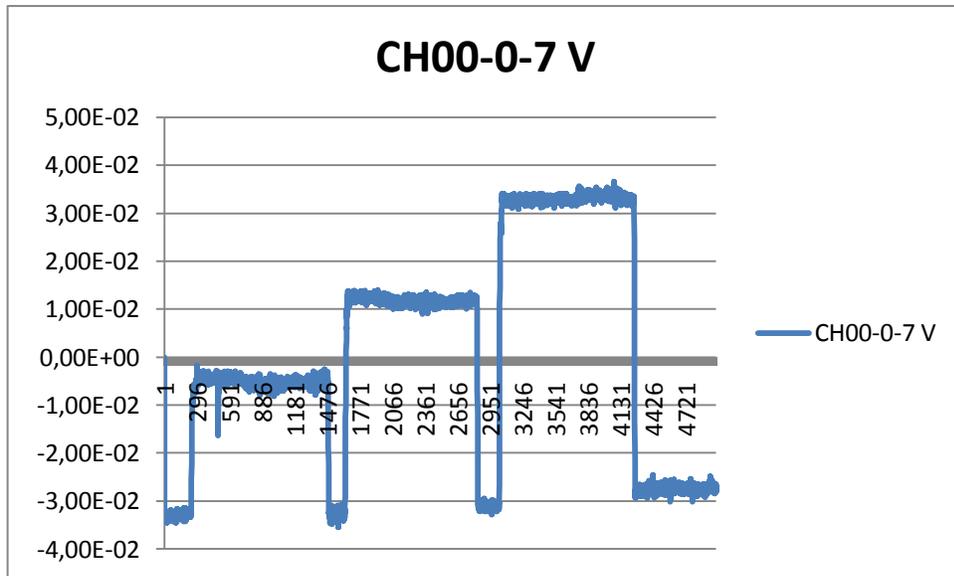


Figura C-7. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

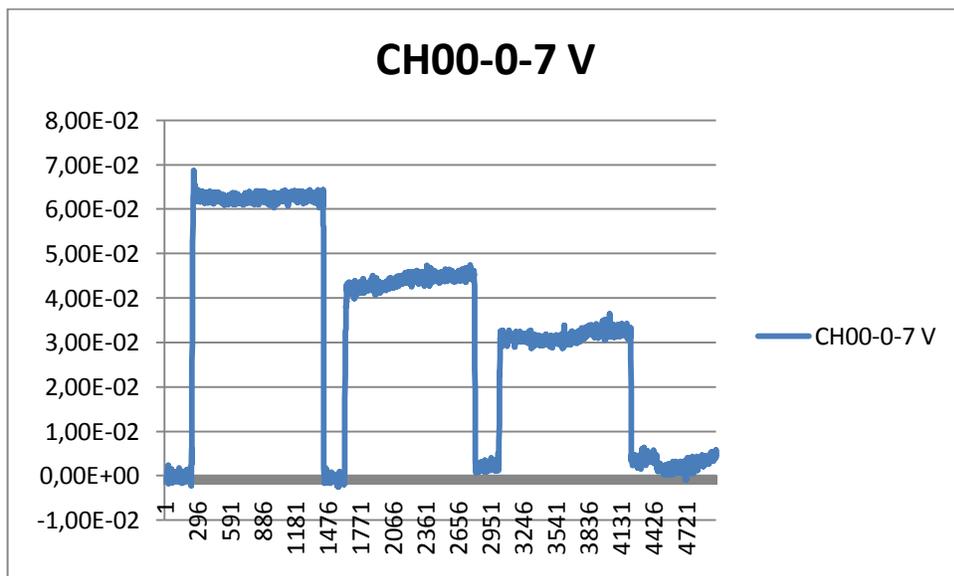


Figura C-8. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

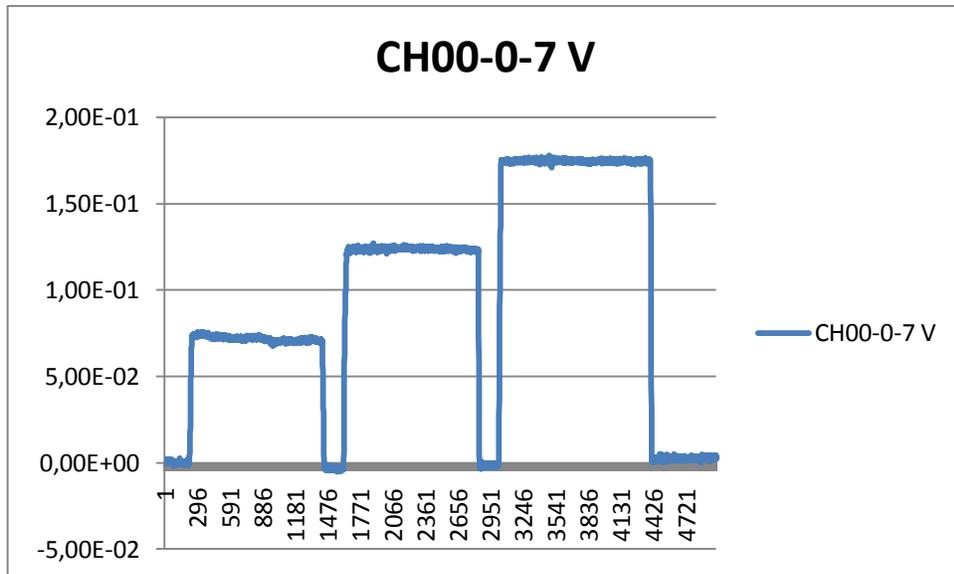


Figura C-9. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

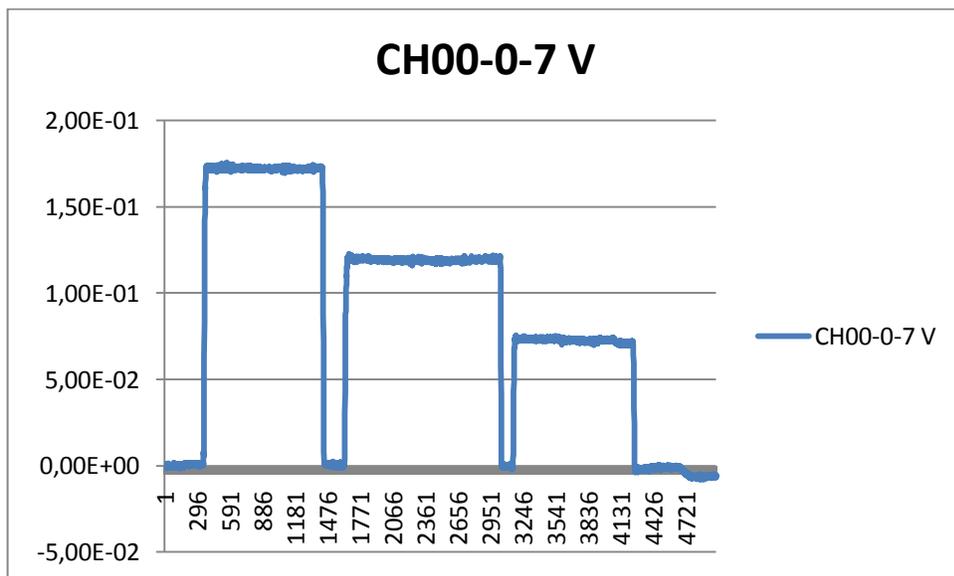


Figura C-10. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

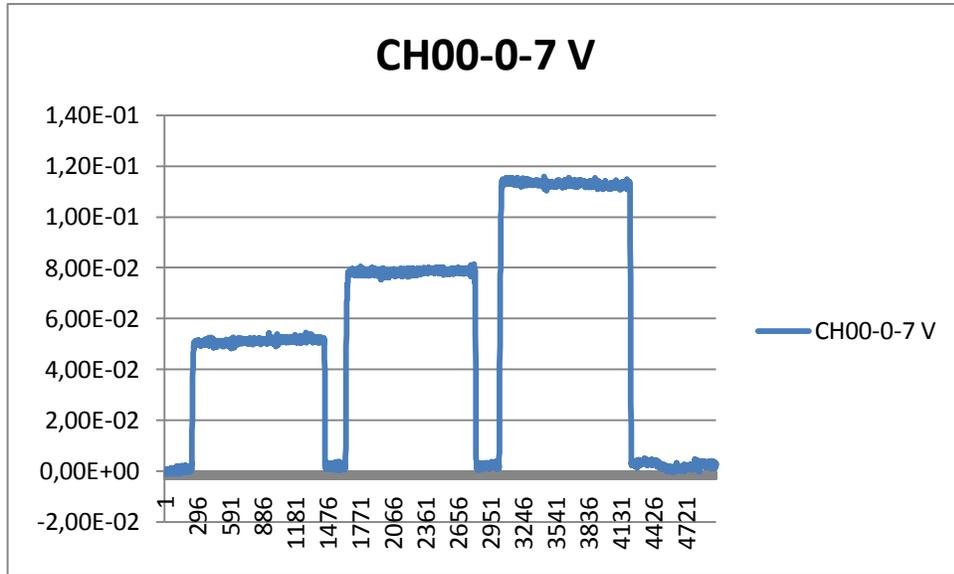


Figura C-11. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

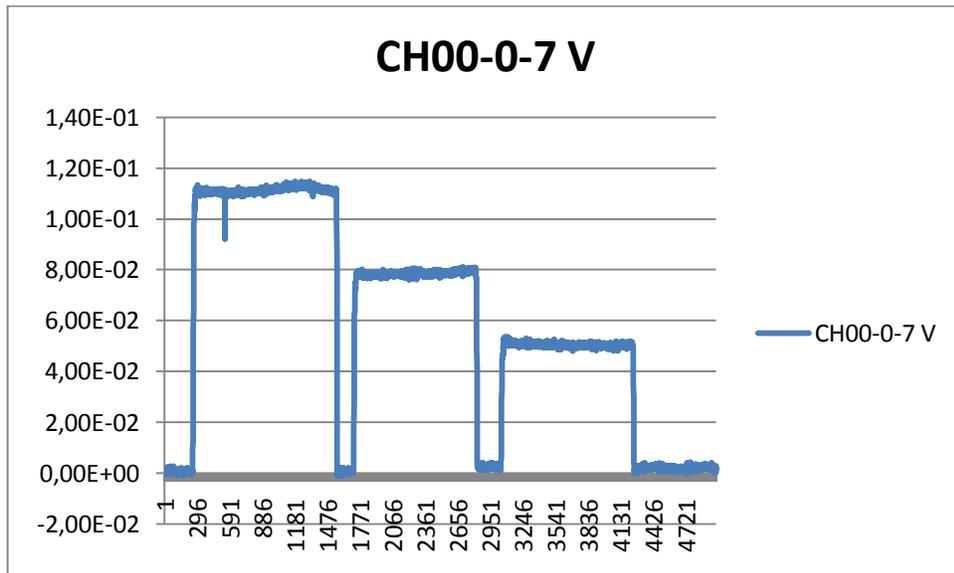


Figura C-12. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

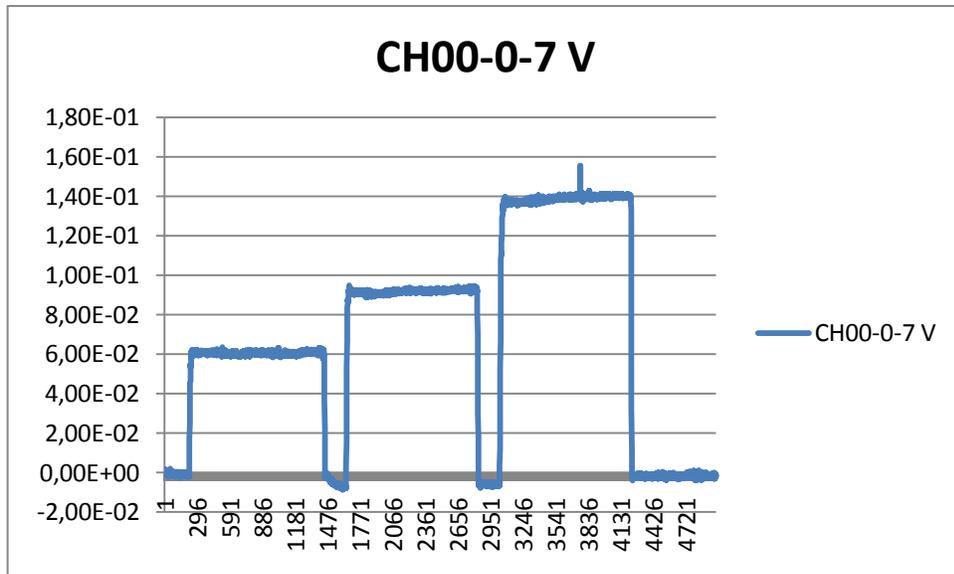


Figura C-13. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

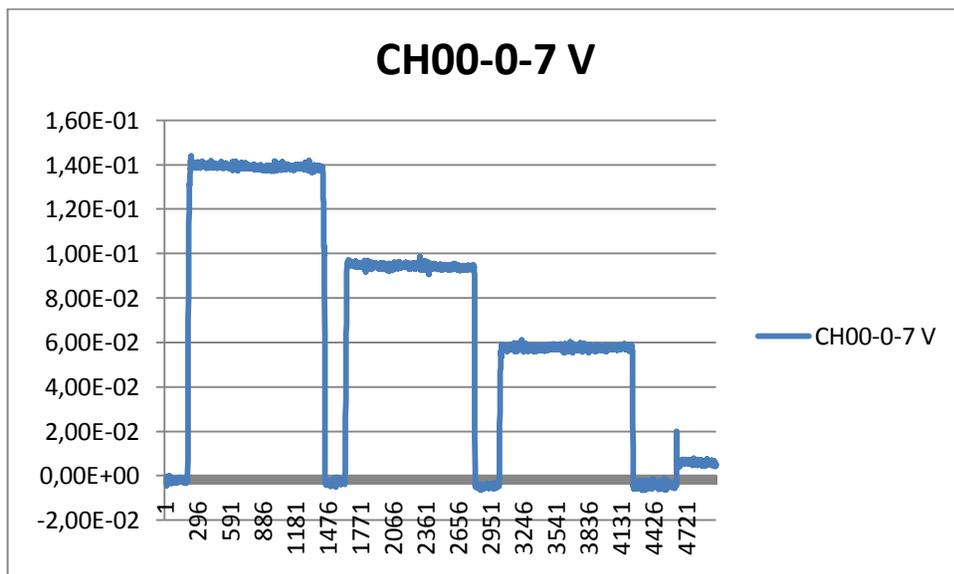


Figura C-14. Calibración del sensor de cohesión con capacidad de 1.62 N-m a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

Anexo D. Detalles de Cada Dato de Calibración del Sensor de Cohesión con Capacidad de 1.62 N-m Segunda Etapa. Cambiando las Posiciones con Cargas Diferentes.

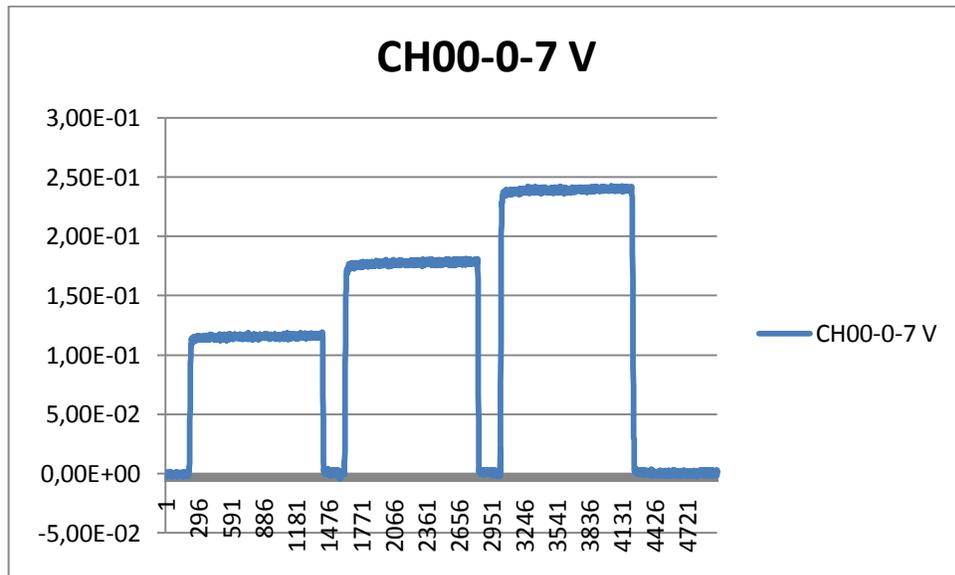


Figura D-1. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m**. a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

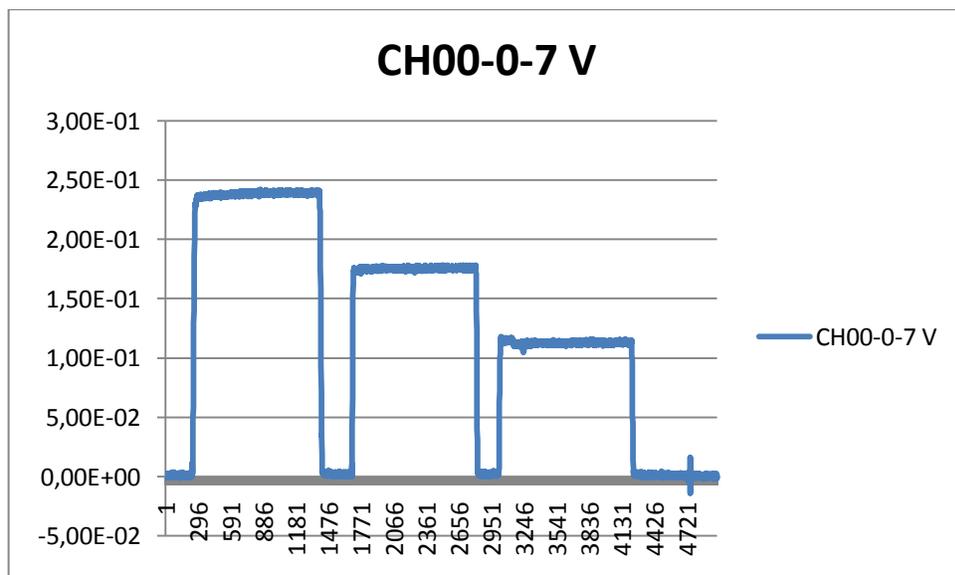


Figura D-2. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m**. a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

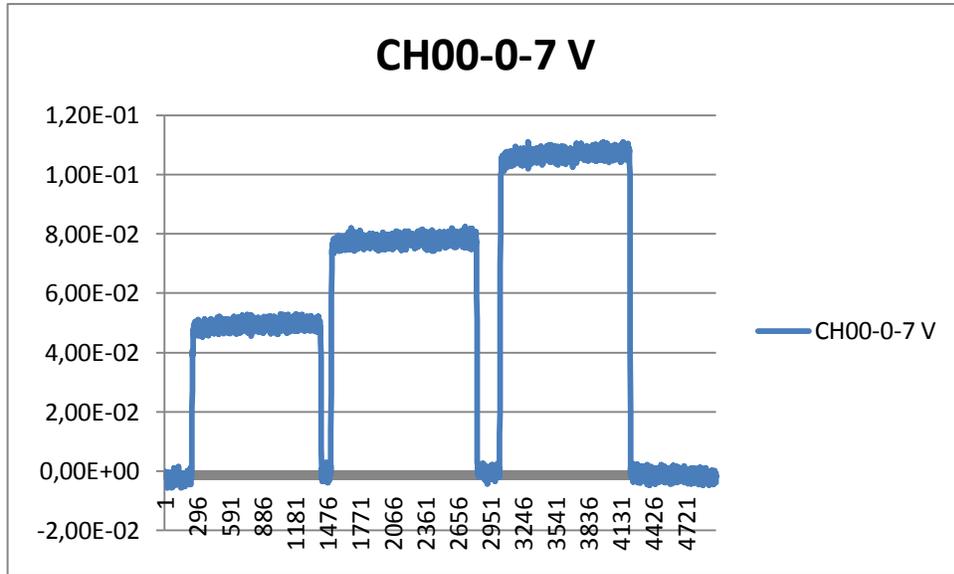


Figura D-3. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m**. a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

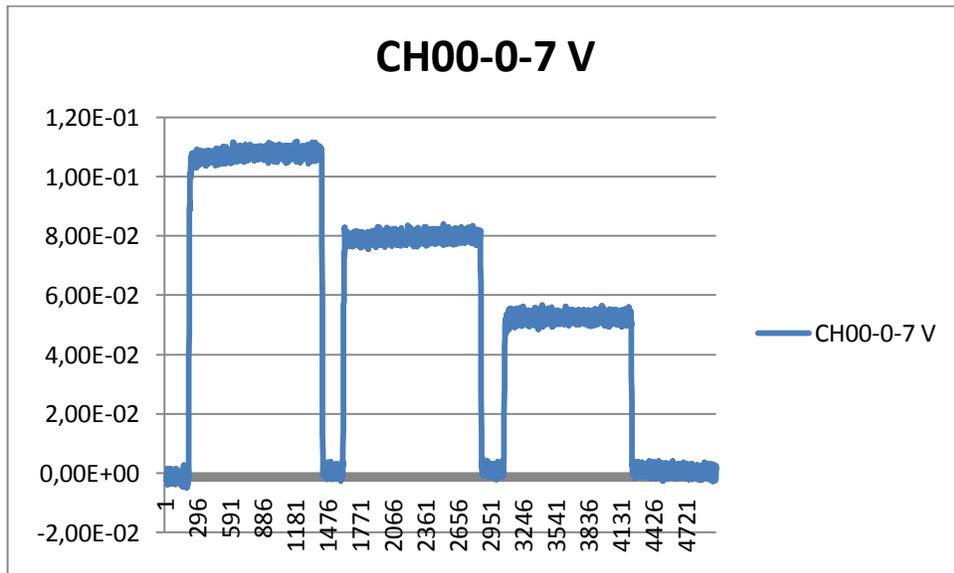


Figura D-4. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m**. a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

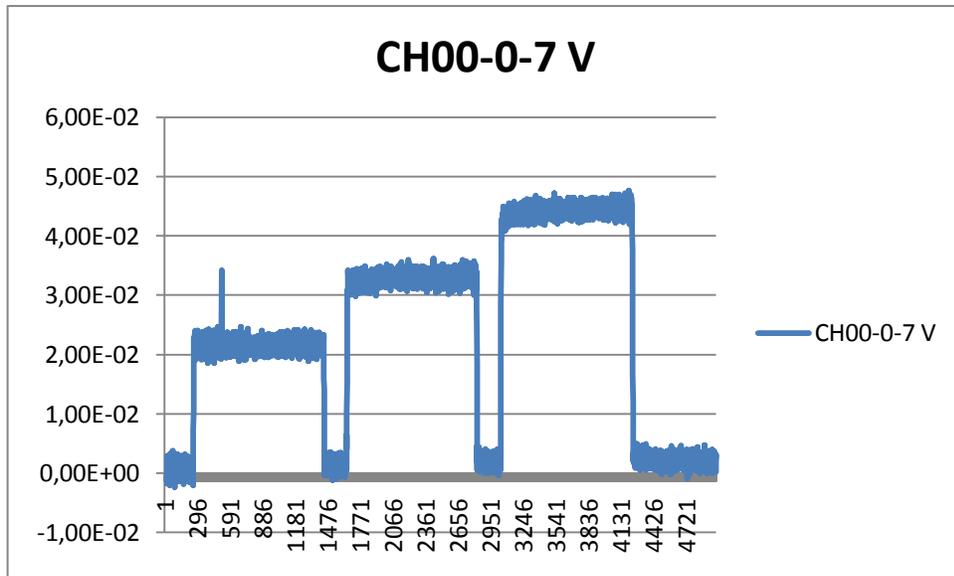


Figura D-5. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m.** a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

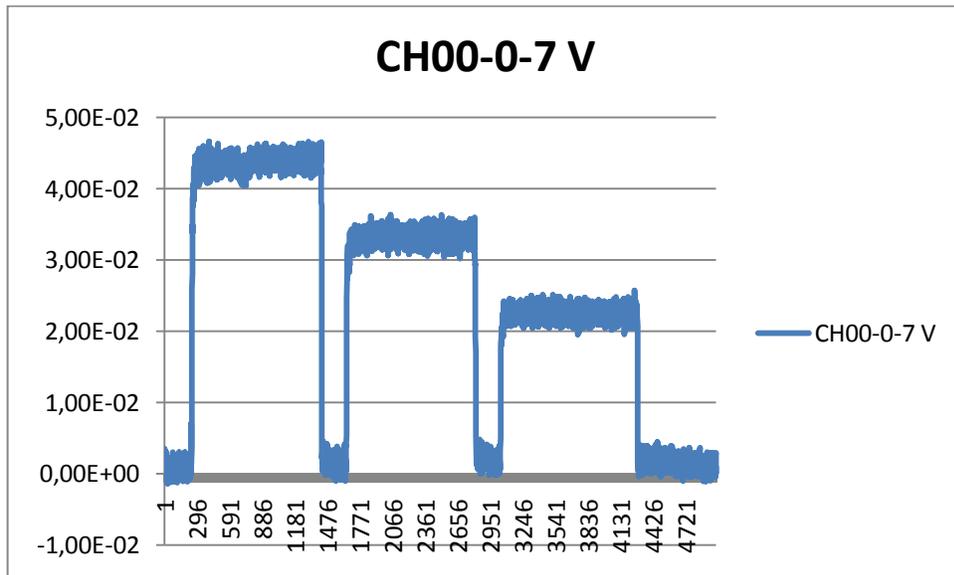


Figura D-6. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m.** a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

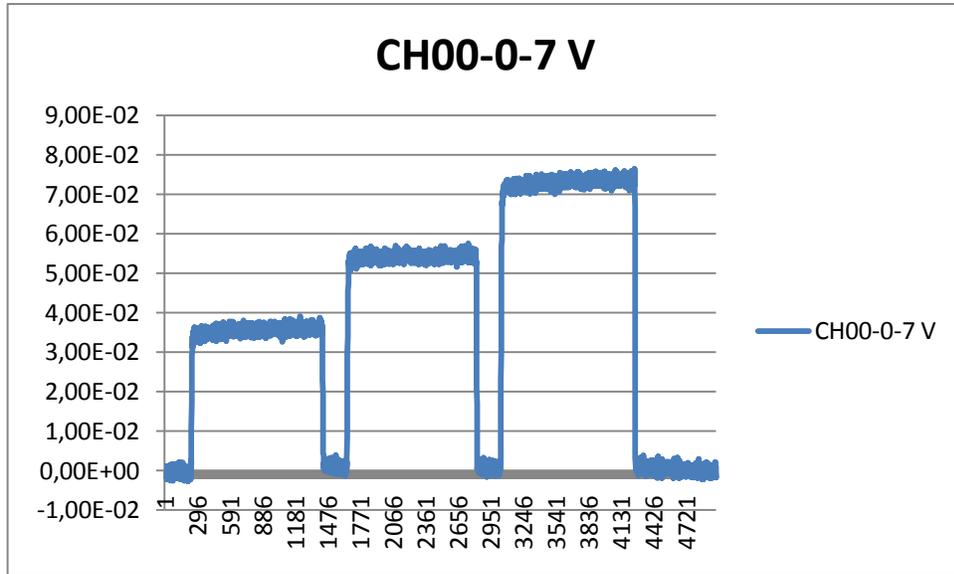


Figura D-7. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m.** a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

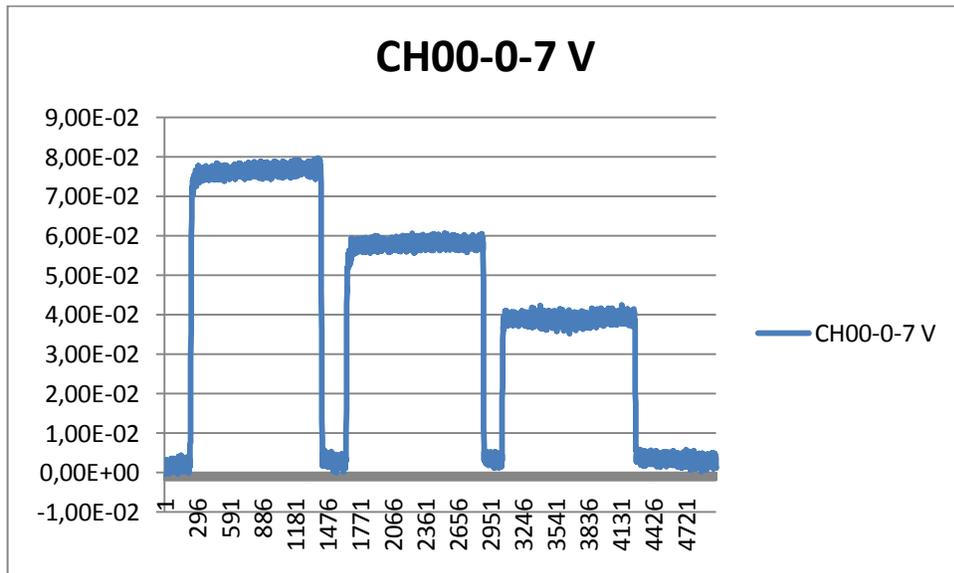


Figura D-8. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m.** a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

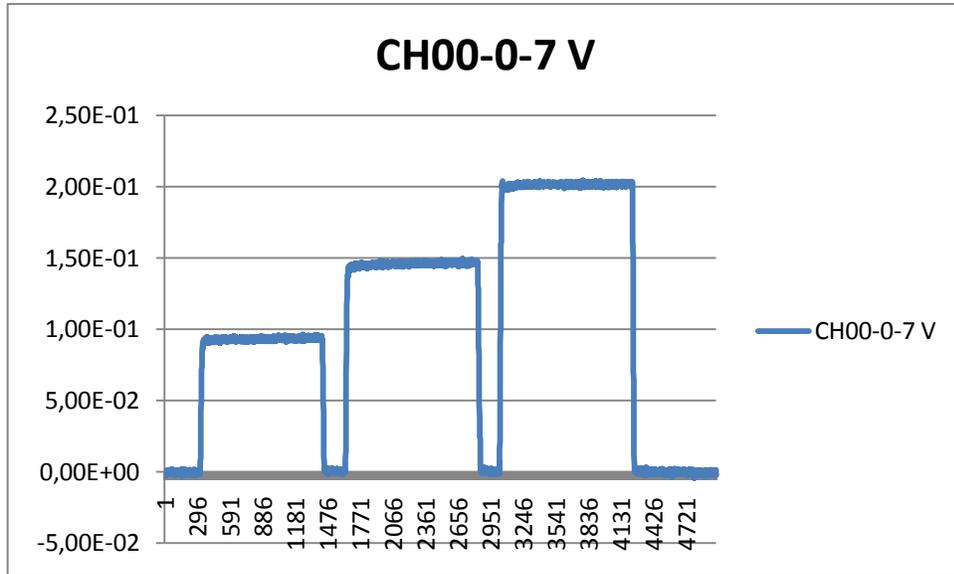


Figura D-9. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m.** a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

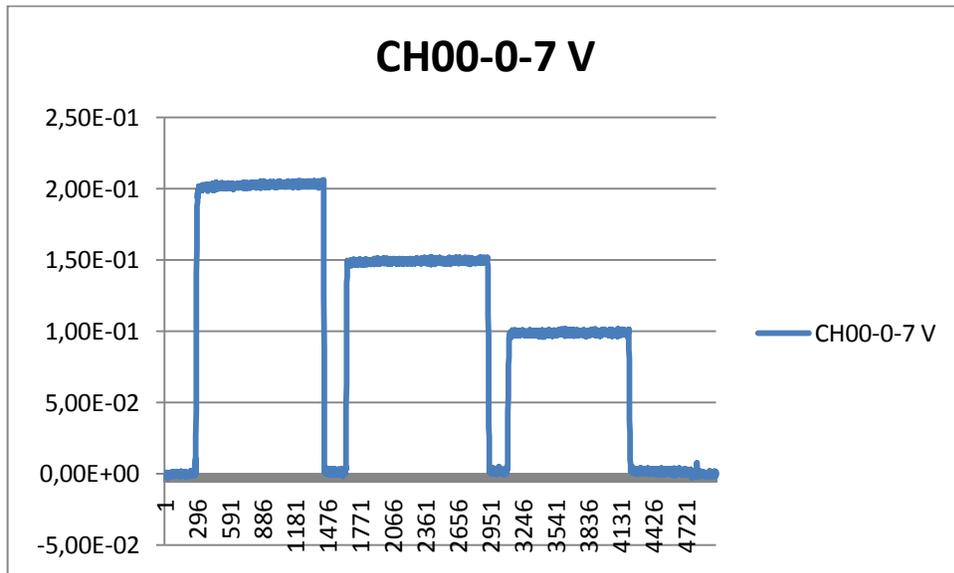


Figura D-10. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m.** a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

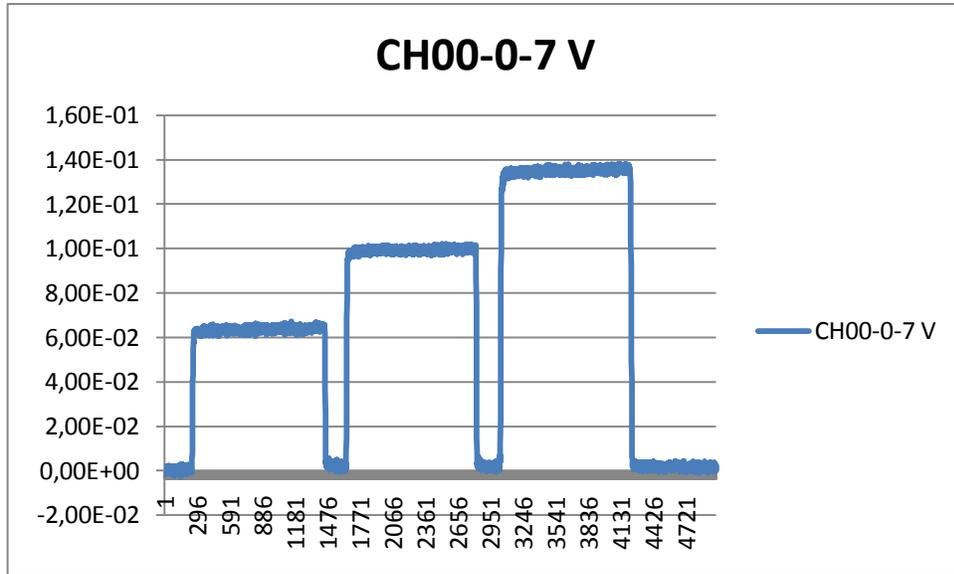


Figura D-11. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m**. a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

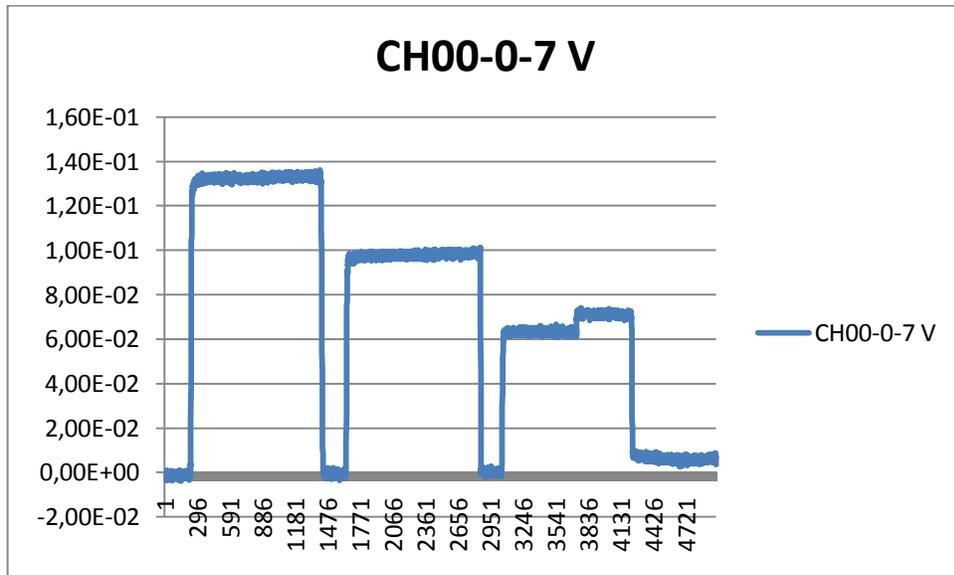


Figura D-12. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m**. a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

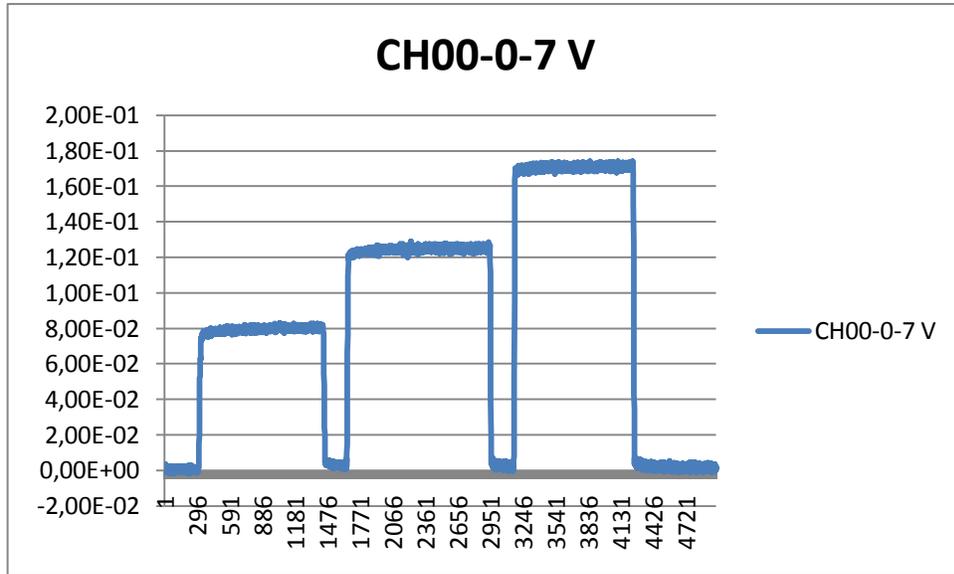


Figura D-13. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m**. a un desplazamiento en los pesos de izquierda-derecha.

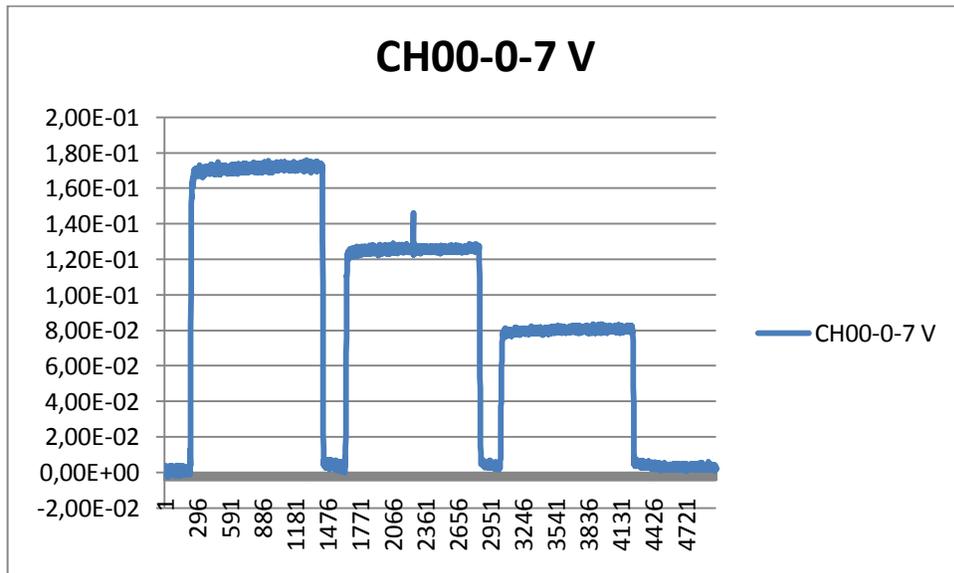


Figura D-14. Calibración del sensor de cohesión con una capacidad de **1.62 N-m**. a un desplazamiento en los pesos de derecha-izquierda.

Anexo E. Datos de Calibración del sensor de cohesión en laboratorio para determinar el esfuerzo a la falla del suelo, primera etapa.

DISTANCIA (m)	PESO (gr)	(peso)*(9.81) Newtons	(N)*(D) Nm	mV
0,375	1,6482	16,168842	6,06331575	207
0,275	1,6482	16,168842	4,44643155	147
0,175	1,6482	16,168842	2,82954735	86,9
0,375	0,7375	7,234875	2,71307813	89
0,275	0,7375	7,234875	1,98959063	61,5
0,175	0,7375	7,234875	1,26610313	41,8
0,375	0,244	2,39364	0,897615	35,7
0,275	0,244	2,39364	0,658251	25,7
0,175	0,244	2,39364	0,418887	17,6
0,375	0,4935	4,841235	1,81546313	63,5
0,275	0,4935	4,841235	1,33133963	43,9
0,175	0,4935	4,841235	0,84721613	31,4
0,375	1,4042	13,775202	5,16570075	171
0,275	1,4042	13,775202	3,78818055	118
0,175	1,4042	13,775202	2,41066035	72,8
0,375	0,9107	8,933967	3,35023763	112
0,275	0,9107	8,933967	2,45684093	78,2
0,175	0,9107	8,933967	1,56344423	50,7
0,375	1,1547	11,327607	4,24785263	139
0,275	1,1547	11,327607	3,11509193	95
0,175	1,1547	11,327607	1,98233123	57,9

Anexo F. Datos de calibración de fuerzas (N) en mili volts (mV) del sensor de esfuerzo a la falla del suelo, en tres posiciones diferentes respecto al centro del sensor; izquierda derecha.

DISTANCIA	PESO (gr)	(Peso)*(9.81) N	(N)*(Dist.) Nm	mV
0,375	1,6482	16,168842	6,06331575	237
0,275	1,6482	16,168842	4,44643155	175
0,175	1,6482	16,168842	2,82954735	112
0,375	0,7375	7,234875	2,71307813	106
0,275	0,7375	7,234875	1,98959063	80,1
0,175	0,7375	7,234875	1,26610313	51,5
0,375	0,244	2,39364	0,897615	44,4
0,275	0,244	2,39364	0,658251	32,9
0,175	0,244	2,39364	0,418887	21,2
0,375	0,4935	4,841235	1,81546313	76,4
0,275	0,4935	4,841235	1,33133963	59
0,175	0,4935	4,841235	0,84721613	37,7
0,375	1,4042	13,775202	5,16570075	202
0,275	1,4042	13,775202	3,78818055	150
0,175	1,4042	13,775202	2,41066035	99,9
0,375	0,9107	8,933967	3,35023763	133
0,275	0,9107	8,933967	2,45684093	98,1
0,175	0,9107	8,933967	1,56344423	62,3
0,375	1,1547	11,327607	4,24785263	170
0,275	1,1547	11,327607	3,11509193	125
0,175	1,1547	11,327607	1,98233123	81,2