



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**Tema: LABRANZA INTELIGENTE UTILIZANDO UN CONTROL AUTOMÁTICO
PARA PROFUNDIDADES VARIABLES DE CINCELES**

**Etapas: CONTROL AUTOMÁTICO DE PROFUNDIDAD DE CINCELES MEDIANTE
ACTUADORES HIDRÁULICOS**

POR:

Ezequiel Sánchez Padierna

TESIS

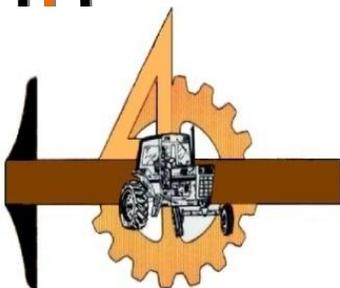
Presentada como requisito parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Control Automático de Profundidad de Cinceles Mediante Actuadores Hidráulicos

POR:

Ezequiel Sánchez Padierna

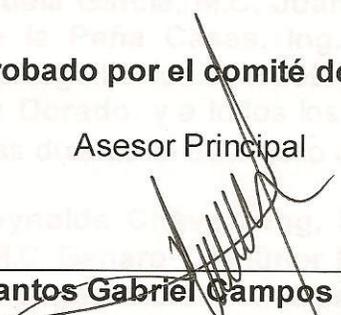
TESIS

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



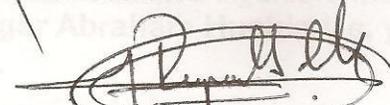
Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Co-director

asesor externo



Dr. Martin Cadena Zapata



M.C. Marco Antonio Reynolds Chávez

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de la división de Ingeniería



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez



División de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: *Por darme la vida y la oportunidad de lograr una meta más y que a lo largo del camino a pesar de ser muy largo siempre estuvo conmigo.*

A LA UAAAN: Por ser la institución que me formo profesionalmente en mi carrera y hacer de mi un hombre de bien. Gracias mi alma mater.

Al Dr. Santos Gabriel Campos Magaña por su gran apoyo y ayuda incondicional a lo largo de mi formación académica, por su tiempo y sus consejos hacia mi persona y con todos mis compañeros.... gracias profe.

Al Dr. Martín Cadena Zapata por su enseñanza y la oportunidad de compartir sus conocimientos. Por la confianza de trabajar en el Departamento de Maquinaria Agrícola.

Al M.C. Héctor Uriel Serna Fernández que más que un profesor es un buen amigo, por sus enseñanzas y apoyos brindados a lo largo de mi estancia en la UAAAN, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias.

A los profesores del departamento de Maquinaria Agrícola **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, Dr. Martín Cadena Zapata, Dr. Jesús Rodolfo Valenzuela García, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, Ing. Juan Arredondo Valdez, Ing. Tomas Gaytán Muñiz, Ing. Jorge Flores Berrueto, Ing. Rosendo González Garza, Ing. Mario Alberto Méndez Dorado,** y a todos los profesores que compartieron sus conocimientos y experiencias durante el desarrollo de mi carrera profesional.

Al M.C Marco Antonio Reynolds Chávez, Ing. Neftalí Cuervo Piña, Ing. Juan Antonio López López y M.C Genaro Demuner Molina por brindarme su apoyo y compartir conmigo sus experiencias sobre su vida profesional.

A todos mis compañeros de la generación CXIV de la carrera Ingeniero Mecánico Agrícola en especial a **Daicy Martínez Vilchis, Roger Abraham Huchin Uc, y Juan de Jesús Huchin..... Mil gracias por su amistad.**

A mis amigos, **Checo Cabrera, Armando Herrera, Pedro Pérez y Pato Orduña** que me brindaron su amistad en tiempos difíciles.

A mis maestros de la prepa en especial para **Cesar Jaramillo Duarte, Vicente Martínez y Patricia Aracely** que fueron un gran impulso para que yo triunfara en este proyecto de vida.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

José Antonio Sánchez Morales y María de la Luz Padierna Sánchez gracias a su apoyo incondicional, sus palabras, acciones y sacrificios por darme la vida y por la educación que me brindaron, a ustedes les debo todo, por ustedes soy lo que soy y me siento orgulloso de ser su hijo. Gracias papá por tus consejos y el apoyo brindado durante toda mi vida. Gracias mamá por brindarme todo tu amor, cariño y comprensión.

A MI HERMANO:

Jorge Sánchez Padierna por ser un gran hermano, por sus consejos y todo el apoyo que me brindó a lo largo de mi preparación profesional. Siempre estuviste ahí cuando te necesité y siempre te voy a estar agradecido.

A MI NOVIA:

Ana Carina Moreno Limón por su apoyo, cariño, comprensión y el amor que me has brindado a lo largo de estos años, por haber sido paciente y comprensiva gracias **Paloma**.

A MI HERMANA Y A MI CUÑADO:

Maricela Sánchez Padierna y José Luis López Hernández que me brindaron su apoyo y cariño en tiempos difíciles.

A TODOS MIS HERMANOS

Luis Miguel Sánchez Padierna, Saúl Sánchez Padierna, María Guadalupe Sánchez Padierna, Juan Gilberto Sánchez Padierna, Carlos Eduardo Sánchez Padierna y Janet del Sagrario Sánchez Padierna... estoy seguro que más de alguno seguirá mis pasos y entonces estaremos orgullosos de todos.

A MIS SOBRINAS Y SOBRINOS

Ingrid Noemí, Luz Alondra, Gustavo Alexis y Guillermo que son parte muy importante en mi vida y en la vida de todos los que nos rodean.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	III
INDICE DE CUADROS	V
RESUMEN	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.2. <i>Hipótesis</i>	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Agricultura de precisión.....	4
2.2. Labranza	6
2.3. Labranza vertical	6
2.4. Sistema de medición de fuerzas Octagonal Extendido.....	7
2.5. Sistemas de control inteligente pantalla FMX	10
2.6. Sistemas hidráulicos	11
2.7. Válvulas proporcionales	14
2.7.1. Elementos de la válvula proporcional.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Materiales, equipo e instrumentos empleados.....	17
3.2. Metodología	18
3.2.1. Localización del sitio de trabajo	18
3.2.2 Calibración de los sensores en el Octagonal Extendido	19
3.2.3 Pruebas en laboratorio.....	19
3.2.4 Pruebas en campo.....	21
3.2.5. Procesamiento y análisis de la información	22
3.2.6. Obtención de las fuerzas máximas de los actuadores	23

3.2.7. Evaluación de la respuesta de la válvula electrohidráulica	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. Pruebas en laboratorio para la calibración de Octagonal Extendido en (FX). .	26
4.2. Pruebas en laboratorio para la calibración de Octagonal Extendido en (FY). .	29
4.3. Pruebas en laboratorio para la calibración de Octagonal Extendido en (M). ...	32
4.4. Análisis de evaluaciones en campo	36
4.4.1. Pruebas en campo para la obtención de valores de la fuerza horizontal (FX), vertical (FY) y el Momento.	36
4.4.2. Diagrama de fuerzas del prototipo de labranza inteligente	39
4.5. Fuerzas transmitidas a los actuadores hidráulicos mediante pruebas en campo.....	41
4.6. Fuerza máxima que ejercen los cilindros hidráulicos al implemento	42
4.7. Tiempo de reacción de la válvula a una prescripción de 50 mm de desplazamiento de los actuadores y diferentes tipos de revoluciones por minuto (rpm) del tractor.	42
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
VI. LITERATURA CITADA.....	49
6.1. Información y documentación en internet.....	51
VII. ANEXOS.....	52
ANEXO A.1. Diagrama de conexión de mangueras de la válvula electro-hidráulica a los actuadores y al sistema hidráulico del tractor.	52
ANEXO A.2. Plano de sección transversal de la válvula electro-hidráulica	53
ANEXO A.3. Esquema del circuito	54
ANEXO B.1. Diseño en Pro Engineer de prototipo de labranza inteligente con control automático de profundidad de cinceles mediante actuadores hidráulicos. .	54
ANEXO B.2. Calculo de fuerzas soportadas por los actuadores hidráulicos.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Ejemplo de galgas extensiométricas (Omega, 2012)	9
Fig. 2.2. Puente de Wheatstone (Godwin, 1993).....	10
Fig. 2.3. Actuador hidráulico de doble efecto	11
Fig. 2.4. Partes de un actuador hidráulico	12
Fig. 2.5. Fuerza de empuje de un cilindro o pistón hidráulico.	13
Fig. 2.6. Vista del corte de un actuador y vástago trabajando	13
Fig. 2.7. Vista seccional de una válvula solenoide de embrague impulsor.	16
Fig. 3.1. Taller del departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN.	19
Fig. 3.2. Obtención de las constantes FX, FY y Momento	20
Fig. 3.3. Obtención de las fuerzas FX, FY, y Momento en campo.	21
Fig. 3.4. Vista de los actuadores hidráulicos en el prototipo de labranza inteligente ..	24
Fig. 3.5. Evaluación de los tiempos de respuesta y distancia recorrida de la válvula electrohidráulica.	25
Fig. 4.1. Proceso de calibración y registro de la fuerza horizontal (FX) aplicada al Octagonal Extendido.	26
Fig. 4.2. Gráfica que muestra la calibración de la fuerza horizontal (FX) con seis diferentes pesos, realizada bajo condiciones de laboratorio, empleando Daq-book-2000	26
Fig. 4.3. Línea ajustada, ecuación de respuesta y constante de calibración para la (FX) del Octagonal Extendido.....	28
Fig. 4.4. Proceso de calibración y registro de la fuerza vertical (FY) aplicada al Octagonal Extendido	29
Fig. 4.5. Gráfica que muestra la calibración de la fuerza Vertical (FY) con seis diferentes pesos, realizada bajo condiciones de laboratorio, empleando Daq-book-2000	29
Fig. 4.6. Línea ajustada, ecuación de respuesta y constante de calibración para la (FY) del Octagonal Extendido	31

Fig. 4.7. Proceso de Calibración y registro del Momento (M) aplicado al Octagonal Extendido.	32
Fig. 4.8. Gráfica que muestra la calibración del Momento (M) con seis diferentes pesos realizada bajo condiciones de laboratorio, empleando Daq-book-2000	32
Fig. 4.9. Línea ajustada, ecuación de respuesta y constante de calibración para el (M) del Octagonal Extendido.....	35
Fig. 4.10. Proceso de obtención de datos para las fuerzas (FX), (FY) y (M).....	36
Fig. 4.11. Gráfica con registro de la fuerza horizontal (FX) en campo y analizada con el programa Matlab.....	37
Fig. 4.12. Gráfica con registro de la fuerza vertical (FY) en campo y analizada con el programa Matlab.	38
Fig. 4.13 Gráfica con registro del momento (M) en campo y analizada con el programa Matlab	39
Fig. 4.14. Fuerzas que actúan en el prototipo de labranza inteligente. (a) Vista lateral mostrando cilindros. (b) Isométrico lateral mostrando cinceles y Octagonal Extendido. (C) Isométrico posterior mostrando acoplamiento de cinceles a las barras articuladas.	41
Fig. 4.15. Prototipo de labranza inteligente con válvula electrohidráulica.....	43
Fig. 4.16. Prototipo de labranza inteligente para la medición de pulsos arrojados y distancia recorrida por los actuadores hidráulicos	45
Fig. 4.17. Recorrido de la parte articulada con respecto a la parte fija del prototipo de labranza inteligente.	47

INDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1.	Datos obtenidos en Newton Vs mili Volts durante el proceso de calibración (FX).....	27
Cuadro 4.2.	Análisis de varianza de la línea de regresión lineal para la variable (FX), empleando el paquete estadístico Minitab V15.....	27
Cuadro 4.3.	Datos obtenidos en Newton Vs mili Volts durante el proceso de calibración de (FY).....	30
Cuadro 4.4.	Análisis de varianza de la línea de regresión lineal para la variable (FY), empleando el paquete estadístico Minitab.....	30
Cuadro 4.5.	Datos obtenidos en Newton * metro Vs mili Volts durante el proceso de calibración del (M) a una distancia de 0.67 m.....	33
Cuadro 4.6.	Datos obtenidos en Newton * metro Vs mili Volts durante el proceso de calibración del (M) a una distancia de 0.47m.....	34
Cuadro 4.7.	Análisis de varianza de la línea de regresión lineal para la variable (M), empleando el paquete estadístico Minitab.....	34
Cuadro 4.8.	Análisis de (FX) registrados en campo.....	37
Cuadro 4.9.	Análisis de (FY) registrados en campo.....	38
Cuadro 4.10.	Análisis de (M) registrada en campo.....	39
Cuadro 4.11.	Fuerza transmitida de los cinceles a los actuadores hidráulicos durante la prueba de campo, a diferentes profundidades.....	41
Cuadro 4.12.	Tiempo de respuesta en 50 mm de desplazamiento de los actuadores, utilizando la válvula proporcional manipulada por el controlador FMX y diferentes (rpm) del tractor.....	42

Cuadro 4.13.	Número de pulsos contabilizados para alcanzar 50 mm de altura enviados por la válvula proporcional manipulada con el FMX y con diferentes (RPM) del tractor.....	44
Cuadro 4.14.	Respuesta de recorrido en 50 mm de altura de la válvula proporcional con diferentes (RPM) del tractor.....	46

RESUMEN

El presente trabajo forma parte del proyecto “**Labranza Inteligente**” llevado a cabo en el departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN, que contempla entre sus objetivos: Construir un prototipo de herramienta de labranza vertical con control automático de profundidad, manipulado mediante el registro de información satelital, mapas de diagnóstico y prescripción de los niveles de energía por sitio específico. El propósito de esta investigación tuvo como objetivos: 1) La calibración y verificación del Octagonal Extendido, para medir las fuerzas de reacción: horizontales (FX), verticales (FY) y el momento (M), que ejerce el suelo sobre los actuadores hidráulicos bajo condiciones reales de operación 2) Se calculó la fuerza máxima que ejercen los actuadores hidráulicos al implemento y se llevó a cabo una comparación de ambas fuerzas, con la finalidad de determinar si los actuadores hidráulicos soportarían las fuerzas de reacción ejercidas por el suelo 3) Se evaluó el tiempo de respuesta y error de la válvula proporcional electrohidráulica, con la finalidad de verificar su funcionamiento con respecto a factores como: rpm del motor del tractor, pulsos enviados por la válvula electrohidráulica, tiempo de respuesta y errores de distancia recorrida en las diferentes pruebas. En los resultados obtenidos del comportamiento del Octagonal Extendido, las curvas de respuestas de calibración presentaron coeficientes de correlación de 99.8%, 99.6% y 99.6% para las fuerzas (FX, FY y Momento) respectivamente. La fuerza total de reacción del suelo obtenida en campo fue de 24.5 kN en comparación de 87.3 kN que soportan los actuadores hidráulicos. Para el tiempo de respuesta en la prescripción de un desplazamiento realizado por la válvula proporcional y manipulada en forma automática por el controlador FMX no se encontró diferencia significativa entre las diferentes rpm del motor con respecto a los diferentes parámetros evaluados. Para un cambio de posición o recorrido automático en los actuadores hidráulicos, se obtuvo un error de 17.1 %, mostrando un comportamiento similar en diferentes prescripciones.

Palabras clave: Control automático de profundidad, Actuadores hidráulicos, Fuerzas de reacción suelo-implemento, Válvula proporcional electrohidráulica y uso de controladores.

I. INTRODUCCIÓN

La Agricultura de precisión o manejo de sitio específico, es la utilización de herramientas que permiten 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 (López., 2012).

A nivel mundial las oportunidades y riesgos actuales en la producción de alimentos están vinculados 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; deficiencias de nutrientes que limitan la producción de cultivos y forrajes; así como, altos índices de contaminación ambiental entre otros. Gutiérrez (2012).

La creciente caída de la rentabilidad de la producción de granos básicos es una característica que describe los sistemas productivos de nuestro país, donde la preparación de los suelos destaca como la actividad que consume más energía o combustible y por lo tanto, la que representa los mayores costos. El uso excesivo de la maquinaria agrícola es un indicador de la ausencia de tecnología y conocimiento, representada por la poca información en el establecimiento de los sitios, y por tanto, erróneas decisiones en su manejo. Reynolds (2012).

Una forma de contrarrestar estos efectos y corregir algunas de sus causas es mediante el manejo óptimo en la aplicación de insumos en la agricultura. Para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con muestreo de ambientes a nivel de predio para determinar los factores limitantes de la producción; así como su localización precisa para poder de ahí realizar las prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos. Se requiere para lo anterior contar con sistemas que se integren entre otros por Geo-posicionador Diferencial con aplicación en la Agricultura (AgDGPS), Sensores de ambientes, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas de Control; así como, equipos de dosificación variables de insumos. López (2012).

A nivel mundial como un indicador existen alrededor de 20 países que han incorporado estos sistemas inteligentes y automatizados en la aplicación de insumos agrícolas, entre los que destacan Estados Unidos con 30,000 unidades de producción, Argentina con 1200, Brasil con 250, Reino Unido con 400, Paraguay con 4 y México con Cero unidades.

Debido a los altos costos de preparación o laboreo de suelo, la reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícola es un tema de gran importancia, pues contribuye al éxito económico de los mismos; para las labores de establecimiento de cultivos, actualmente se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible, esto es un factor que limita la actividad agrícola, pues reduce el costo beneficio del sistema de producción, no obstante, si se implementan cambios tecnológicos apropiados en los sistemas de producción de alimentos, se estima que se puede reducir hasta 50% el uso de energía fósil en los mismos (Pimentel et al., 2008).

Actualmente en la “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” se encuentra en proceso de integración de un Laboratorio con maquinaria, equipos e instrumentos automatizados para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión (López., 2012). Por tal motivo; durante la convocatoria interna 2012, para proyectos de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, fue presentado y autorizado un proyecto de investigación denominado:

USO DE LABRANZA VERTICAL Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN LA OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA DE LABOREO PRIMARIO DEL SUELO.

Cuyos objetivos planteados fueron:

1. Construir un modelo de simulación de profundidad de herramientas de labranza soportada en registros y base de datos de diagnóstico de sitio específico.
2. Construir un prototipo de herramienta de labranza vertical con control automático de profundidad manipulado mediante registro de información

satelital, mapas de diagnóstico y de prescripción de los niveles de energía por predio específico.

3. Evaluar el sistema de forma integral con productores en predios comerciales y contrastar el ahorro de energía en la producción de granos en dos sitios de alta productividad en el estado de Coahuila.

El presente trabajo de tesis se circunscribe en el objetivo específico número 2, con los siguientes objetivos específicos:

1.1. Objetivos específicos

- a) Calibrar y verificar un Octagonal Extendido o transductor para obtener la constante de conversión a unidades de fuerza (Newton).
- b) Determinar las fuerzas que actúan en los cilindros hidráulicos bajo condiciones de campo a diferentes profundidades.
- c) Evaluar y verificar en función del tiempo, la respuesta y error de la válvula electrohidráulica proporcional a la señal del controlador (FMX).

1.2. Hipótesis

El conocimiento de los tiempos de respuesta de la válvula electrohidráulica a la señal del controlador (FMX), así como el desplazamiento de los actuadores hidráulicos permitirá corregir el error de profundidad de los cinceles de acuerdo a las prescripciones generadas sin verse afectados por las fuerzas de reacción del suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Agricultura de precisión

Agricultura de precisión: Tiene como propósito hacer el mejor uso de insumos (productos agroquímicos, combustibles, semillas, etc.). Busca evitar una utilización excesiva en áreas de poco potencial y defectuosa en las de mayor productividad. Se basa en preparar mapas de aptitud y de rendimiento. Los primeros, de naturaleza estática, describen el potencial del campo en función de la topografía y la calidad del suelo (textura, profundidad, contenido de materia orgánica, nutrientes, etc). Los segundos se obtienen durante la cosecha mediante instrumental conectado a satélites que registra el rendimiento en grano de los lotes de manera instantánea y muy precisa. Con esa información, se puede controlar la dosificación de fertilizantes y hacer en virtud del potencial de los suelos y la geografía.

<http://www.cienciahoy.org.ar/ln/hoy68/formasdelabranza.htm>

Bongiovanni *et al.*, (2006) menciona que la agricultura de precisión está basada en la existencia de la variabilidad en campos la cual ha requerido de tecnología tal como un sistema de posición global (Global Positioning System (GPS), siglas en inglés) sensores, satélites, e imágenes satelitales y sistema de información geográfica (Geographic Information Systems (GIS), siglas en inglés) para estimar y evaluar dichas variaciones. Menciona que los equipos geo posicionadores están integrados de un sistema de navegación y orientación cuyo funcionamiento es la de procesar y recibir información, la cual proviene de los satélites ubicados a diferentes alturas sobre la superficie terrestre, cada satélite de GPS emite continuamente dos códigos de diferentes formatos digitales.

Bolstad, P. (2005) Menciona que el Sistema de Información Geográfica (SIG) está integrado por un hardware y un software los cuales capturan y almacenan datos.

Si bien la agricultura de precisión es un tema relativamente nuevo, se han logrado muchos avances, principalmente en el desarrollo de máquinas e implementos que permiten el manejo localizado en base a mapas. Los recursos más avanzados en tecnología de información hoy disponibles, como los sistemas de posicionamiento

global (GPS), los sistemas de información geográfica (SIG), los sistemas de control y adquisición de datos, sensores y actuadores, entre otros; están cada vez más presentes en el campo. A pesar de este avance tecnológico, hay áreas que necesitan desarrollarse aún más para la agricultura de precisión.

Vásquez J. et. al., (2004) la agricultura de precisión no es una agricultura en la que los satélites indican lo que hay que hacer en el campo; si no que permite a través de ciertas herramientas dar a cada zona del campo cultivado el tratamiento agronómico más apropiado, desde el punto de vista económico-productivo como el ambiental, permitiendo:

- Reducir los costos en la producción.
- Aumentar la productividad.
- Hacer un uso más eficiente de los insumos.

La agricultura de precisión suele dividir este conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes:

- Recolección de datos.
- Procesamiento e interpretación de la información.
- Aplicación de insumo.

El mapa de rendimiento produce información detallada de la productividad del campo y brinda parámetros para diagnosticar y corregir las causas de bajos rendimientos en algunas áreas del campo y/o estudiar las causas por las cuales el rendimiento es más alto en algunas zonas. El sistema guarda registros de: campos, variedades, descargas, tiempos.

Mapa de Diagnóstico: Para los mapas de Diagnóstico se utilizan métodos cartográficos para representar los resultados de la evaluación de los suelos de una determinada región. Se delimitará el área geográfica, recopilación de toda la información existente de la zona. Inventario de recursos (suelo, clima, topografía,

vegetación y uso del suelo). Estudio de la interpretación de fotografías aéreas y manejo de mapas.

Mapa de Prescripción: Los mapas de prescripción se obtienen de imágenes aéreas geo-referenciadas del lote, tomadas previamente para reflejar la densidad de malezas reales presentes en el lote.

2.2. Labranza

Actualmente la investigación brinda una mejor capacidad de explicar el efecto de labranza sobre suelos, aunque definitivamente no todos los procesos se entienden bien. La labranza es una actividad que modifica la estructura de la capa superficial del suelo, sin embargo existen efectos directos e indirectos que se logran con la labranza, entre los cuales se encuentran; facilitar la producción de los cultivos, el control de malezas, acondicionar la superficie del suelo para permitir una buena irrigación y una cosecha más fácil, además de facilitar la incorporación de materia orgánica, fertilizantes, pesticidas, entre otros (Hoogmoed, 1994).

A pesar de los rápidos logros en los recientes años, la labranza está muy lejos de ser considerada una ciencia exacta. Aunque uno de los principales objetivos de la labranza es proporcionar un óptimo entorno en el crecimiento de las plantas, no está en consideraciones de especificar e identificar cuantitativamente las condiciones deseadas en el suelo (Soane y Pidgeon, 1975).

2.3. Labranza vertical

La labranza vertical del suelo es uno de los métodos más apropiados para trabajar el suelo sin que los horizontes cambien su posición relativa, no quedando una separación neta entre la parte removida y la que no lo está. El efecto de fracturación puede extenderse en profundidad o lateralmente cuando el suelo está seco y se utiliza la herramienta apropiada, todo ayudado por el efecto de vibración de los elementos mecánicos que actúan. La labranza vertical al trabajar verticalmente el

suelo y mantener cobertura vegetal sobre la superficie contribuye a su conservación, puesto que favorece la infiltración, elimina costras, limita la evaporación evitando el movimiento superficial del suelo por el agua y el viento (Biblioteca digital de la universidad de Chile, documento electrónico en línea). http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/villar04/parte10/01.htm (documento en línea). Ciencias agrónomicas Universidad de Chile sin fecha de edición).

En la actualidad debido al uso excesivo e inadecuado de los implementos de labranza, se provoca la degradación de suelo y genera la baja rentabilidad de los cultivos; la búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implantación de sistemas de labranza de tipo conservacionista (no inversión del suelo), incluyendo a la labranza vertical, con el fin de disminuir el impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo. Por lo anterior es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo (Camacho y Rodríguez, 2007).

Para disminuir tales impactos y para un ahorro adecuado de energía se implementa la labranza vertical, que es parte de la labranza de conservación y ésta se puede realizar con implementos tales como los arados de cinceles, la cultivadora de campo, el vibro cultivador y el multiarado. Utilizando un sistema de cinceles y subsoladores es importante considerar el ángulo de ataque para así obtener bajos valores de fuerza de tracción y en consecuencia bajos valores en consumo de energía (Aluko y Seig, 2000).

2.4. Sistema de medición de fuerzas Octagonal Extendido

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

1. **Etapla detectora - transductora**, la cual detecta la variable física y efectúa una transformación, ya sea mecánica o eléctrica para convertir la señal a una forma más

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

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

3. **Etapa final o terminal**, en la cual se indica, graba o controla la variable que va a ser medida. Mojica (2000) describe que un transductor es un dispositivo que ha sido diseñado para reaccionar ante un estímulo físico y proporcionar una salida que puede ser un desplazamiento o por lo regular un voltaje, que posteriormente puede ser comparado o analizado dependiendo de los requerimientos del sistema donde se utiliza.

Uno de los transductores más apropiados para determinar las fuerzas de reacción del suelo en los implementos de labranza es el transductor octagonal extendido, que tiene las ventajas sobre otros comúnmente empleados en la evaluación de equipos de labranza (Campos, 1993). Sensitividad alta y predecible sin desviaciones grandes, la sensibilidad cruzada insignificante, no detecta fuerzas parásitas originadas por la fricción, tamaño relativamente pequeño, respuesta lineal, precisa determinación de la magnitud de las fuerzas no importando la localización de las mismas, detecta las fuerzas en un plano, además del momento resultante con un solo transductor, detecta los cambios de dirección de las fuerzas.

Cuando un elemento de maquinaria se somete a una fuerza, este sufre una deformación proporcional a la fuerza aplicada. La deformación puede ser causada por una carga axial, por una torsión o por un momento. Esta deformación puede ser medida para conocer la fuerza que está actuando sobre el elemento, esta fuerza es sensada mediante galgas extensiométricas. Las galgas extensiométricas pueden ser utilizadas para transformar esta deformación en valores de voltaje, estas son adheridas al material en el cual se desea conocer la fuerza aplicada, al deformarse el

material, la galga aumentaría o disminuiría su longitud junto con el material, variando así su resistencia (Mojica, 2000).

Las galgas extensiométricas son un ejemplo de transductor pasivo que convierte un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia. Es un dispositivo delgado, con una oblea, que se puede unir (soldar) a una variedad de materiales con el fin de medir los esfuerzos aplicados.

Las galgas extensiométricas metálicas se fabrican con alambres resistentes de diámetros muy pequeños o grabado en laminillas metálicas delgadas. La resistencia del alambre o de la lámina delgada cambia de longitud a medida que el material al cual esta soldada sufre tensiones o compresiones. Este cambio de resistencia es proporcional a la tensión aplicada y se mide con un puente de Wheatstone adaptado especialmente (Cooper and Helfrick, 1991).

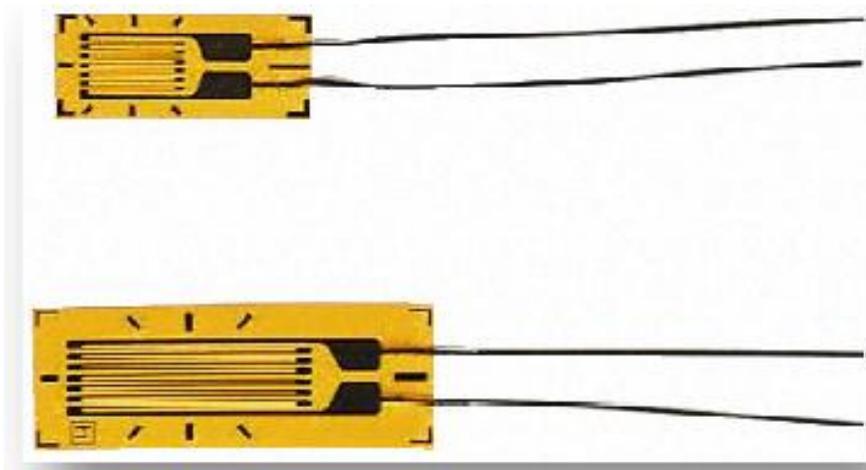


Fig. 2.1. Ejemplo de galgas extensiométricas (Omega, 2012).

El puente de Wheatstone dispositivo eléctrico que es normalmente usado para medir $\epsilon K = dR/R$ y para convertir esta medición de cambio de resistencia en deformación, se utiliza el potenciómetro y el puente de Wheatstone. El puente de Wheatstone puede determinar lecturas de galgas de tensión dinámica y estáticas.

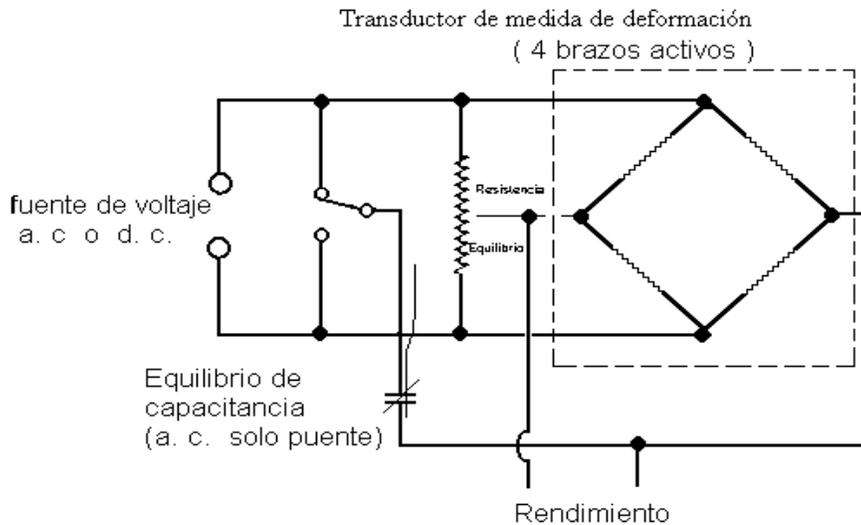


Fig.2.2. Puente de Wheatstone (Godwin, 1993).

2.5. Sistemas de control inteligente pantalla FMX

La pantalla integrada FMX ayuda a controlar y registrar información de lote en tiempo real. Es una pantalla de guía avanzada con todas las prestaciones necesarias para encargarse de todas sus operaciones de agricultura de precisión: desde el registro de datos básico hasta operaciones avanzadas tales como control de aplicaciones, nivelación de terrenos o drenaje y cosecha.

La pantalla FMX, es un sistema de control que cubre todas sus necesidades: desde guía a dirección y desde control de dosis a monitoreo de semillas. La versatilidad de esta pantalla la convierte en la elección asequible a adoptar a medida que cambian sus necesidades tecnológicas. http://www.inntagri.com/Folletos/nivelacion_gps.pdf

2.6. Sistemas hidráulicos

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos en 2 tipos: de efecto simple y de acción doble. En el primer tipo se utiliza fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa, diferente, para contraer. El segundo tipo se emplea la fuerza hidráulica para efectuar ambas acciones. El control de dirección se lleva a cabo mediante un solenoide, en el interior poseen un resorte que cambia su constante elástica con el paso de la corriente. Es decir, si circula corriente por el pistón eléctrico este puede ser extendido fácilmente.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>



Fig. 2.3. Actuador hidráulico de doble efecto.

<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=pistones%20hidraulicos&bav>

En los sistemas hidráulicos y neumáticos la energía es transmitida a través de tuberías. Esta energía es función del caudal y presión del aire o aceite que circula en el sistema.

El cilindro es el dispositivo más comúnmente utilizado para conversión de la energía antes mencionada en energía mecánica.

La presión del fluido determina la fuerza de empuje de un cilindro, el caudal de ese fluido es quien establece la velocidad de desplazamiento del mismo. La combinación de fuerza y recorrido produce trabajo, y cuando este trabajo es realizado en un determinado tiempo produce potencia. Ocasionalmente a los cilindros se los llama "motores lineales".

En la figura 2.4, observamos un corte esquemático de un cilindro típico. Este es denominado de doble efecto por que realiza ambas carreras por la acción del fluido.

Las partes de trabajo esenciales son: 1) La camisa cilíndrica encerrada entre dos cabezales, 2) El pistón con sus guarniciones, y 3) El vástago con su buje y guarnición.

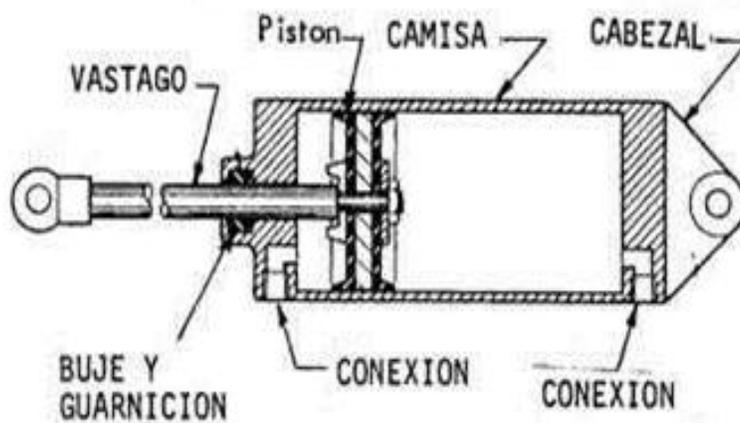


Fig. 2.4. Partes de un actuador hidráulico.

http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm

Calculo de la Fuerza de Empuje

Las figuras 2.4 y 2.6 representan la vista en corte de un pistón y vástago trabajando dentro de la camisa de un cilindro. El fluido actuando sobre la cara anterior o posterior del pistón provoca el desplazamiento de este a largo de la camisa y transmite su movimiento hacia afuera a través del vástago.

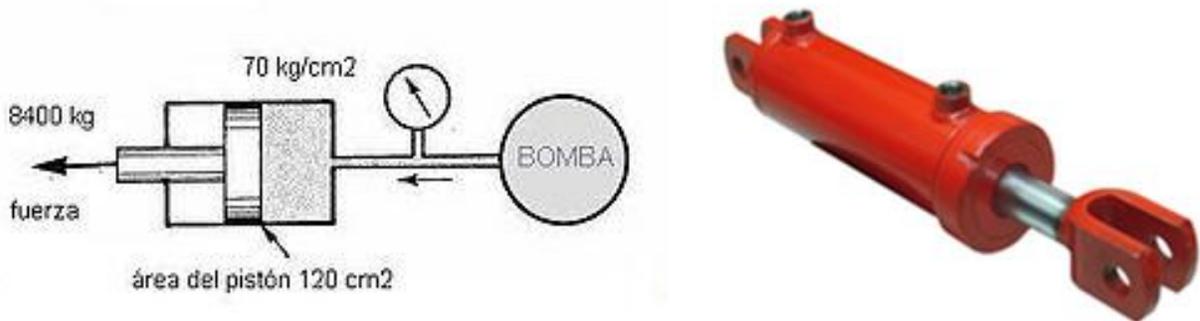


Fig. 2.5. Fuerza de empuje de un cilindro o pistón hidráulico.

http://www.cohimar.com/util/neumatica/neumatica_hidraulica22.html

El desplazamiento hacia adelante y atrás del cilindro se llama "**carrera**". La carrera de empuje se observa en la, Fig. 2.5. y la de tracción o retracción en la Fig. 2.6. La presión ejercida por el aire comprimido o el fluido hidráulico sobre el pistón se manifiesta sobre cada unidad de superficie del mismo.

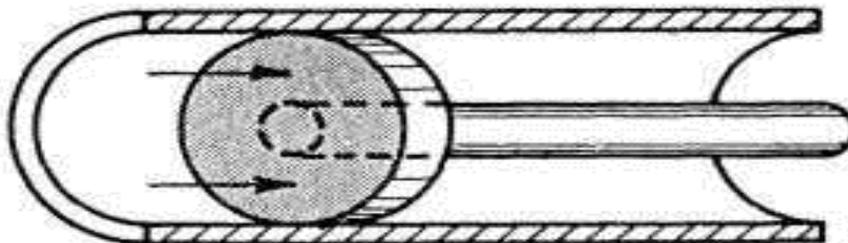


Fig.2.6. Vista del corte de un actuador y vástago trabajando.

$P = F/A$Ecuación. 2.1.

$F \text{ (kN)} = P \text{ (kN/m}^2\text{)} \times A \text{ (m}^2\text{)}$Ecuación. 2.2.

http://www.cohimar.com/util/neumatica/neumatica_hidraulica22.html

2.7. Válvulas proporcionales

Son válvulas que regulan la presión y el caudal de un sistema hidráulico por medio de señales recibidas de un controlador lógico programable, que puede ser de corriente o de voltaje. Su principal aplicación es el control de posición y de fuerza, ya que los movimientos son proporcionales y de precisión, lo que permite un manejo más exacto del paso de fluidos. Por medio de un dispositivo de procesamiento se puede ubicar un actuador en puntos muy precisos.

Por medio de una válvula proporcional podemos realizar un control de posición de lazo cerrado, donde el actuador podría ser un cilindro, el sensor un sistema óptico que envía pulsos de acuerdo a la posición de dicho cilindro, y el controlador un procesador que gobierne el dispositivo en general. El número de impulsos se incrementa a medida que el pistón se desplaza a la derecha y disminuye cuando se mueve a la izquierda.

La electroválvula proporcional es una aplicación de la hidráulica donde se puede controlar por medios electrónicos la presión, caudal y el sentido del flujo. Este control se hace usando válvulas hidráulicas proporcionales, como interface entre el sistema hidráulico y el control. Las ventajas de las válvulas proporcionales en comparación con las válvulas conmutadoras son las siguientes:

- * Caudal y presión ajustables infinitamente y por medio de una señal eléctrica.
- * Ajuste automático de caudal y presión durante el funcionamiento del sistema.
- * Automatizable, ajuste preciso e infinito de fuerza, par de giro, velocidad, aceleración y posición.

* Consumo de energía reducido gracias al control de presión y el caudal orientados a la demanda.

* Una válvula proporcional puede reemplazar a varias válvulas conmutadoras. El sistema que integra la hidráulica proporcional, está compuesto por componentes hidráulicos accionados por medios de control proporcional. El control proporcional consiste en un control multiplicativo, que de acuerdo al valor fijado (set point) abre o cierra proporcionalmente el componente hidráulico, provocando que el actuador tenga posiciones intermedias y arranques suaves.

2.7.1. Elementos de la válvula proporcional

Válvula solenoide proporcional.

Válvulas para presión y caudal.

Válvulas limitadores de presión proporcionales.

Válvulas reguladores de presión proporcionales.

Válvulas restrictoras de caudal proporcionales.

Válvulas distribuidoras proporcionales.

Válvulas reguladores de caudal proporcionales.

SOLENOIDE PROPORCIONAL. Produce una salida proporcional a la señal de entrada, puede ajustarse a distancia por medios electrónicos, las electroválvulas son accionadas por un solenoide proporcional

<http://www.buenastareas.com/ensayos/Hidraulica-Proporcional/5222022.html>

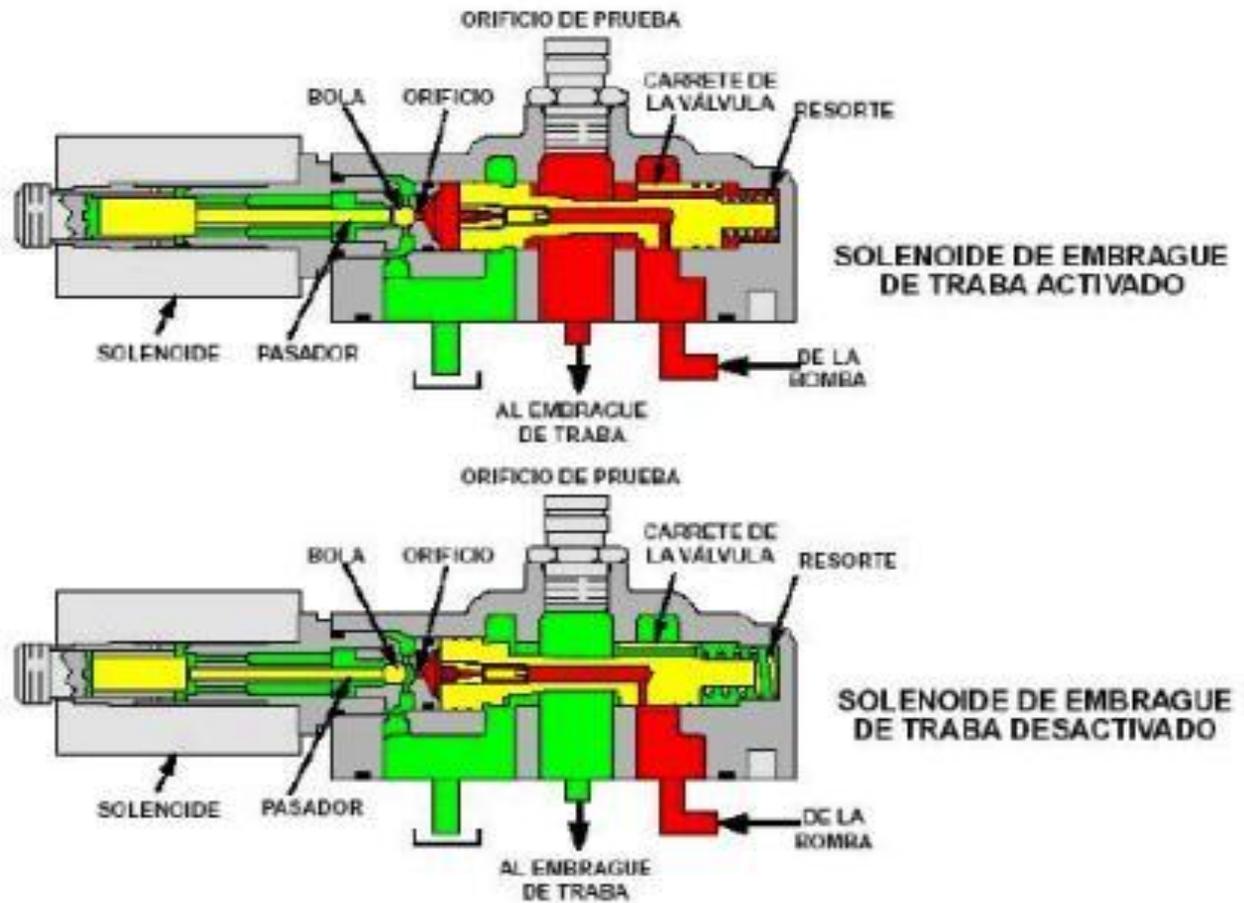


Fig. 2.7. Vista seccional de una válvula solenoide de embrague impulsor.

<http://autoavance.co/images/valvula-proporcional-embrague-lock-up.JPG>

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales, equipo e instrumentos empleados.

Los equipos, instrumentos y software empleados en el desarrollo de esta tesis fueron los siguientes:

- 1.-Octagonal Extendido para la medición de fuerzas en diferentes direcciones.
- 2.-Computadora de escritorio (marca Dell con un procesador Genuine Intel, una memoria RAM de 512 MB, con una capacidad en el disco duro de 34.1 GB).
- 3.-Software “DaqView”, es una aplicación ideal para el registro de datos, almacenamiento en disco y visualización en tiempo real.
- 4.- Un amplificador – acondicionador (DBK – 43A) con módulos de 8 canales, con ganancia de $10 \times 1250 \times (\epsilon)$, fabricado por Iotech, Inc. (<http://www.iotech.com>), usado para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje para así poder enviarla a un convertidor analógico - digital. Este además provee el voltaje de excitación al transductor en un rango de 1 - 10 V y 100 mA.
- 5.- Módulo de adquisición de datos Daq-Book 2000 de la empresa Iotech. Este módulo es integrado por seis voltajes diferenciales, con una ganancia de 0.01 – 10 V y con una velocidad de muestreo de 25 – 625 E3 muestras por segundo. Con 16 canales analógicos y ocho canales digitales con rangos de ganancias en micro deformaciones de 100 a 10 K. Este sistema permite almacenar en forma instantánea los datos, en el disco duro del ordenador, y permite ver la respuesta de los canales en pantalla durante el proceso. Los datos obtenidos durante el proceso son posteriormente analizados con los paquetes de Excel, Minitab y Matlab.
- 6.- Software estadístico Minitab para la obtención de gráficas de línea ajustada y ecuaciones de calibración, análisis de regresión y análisis de varianza.
- 7.-Software de programación Matlab. Es un medio computacional técnico, con gran desempeño para el cálculo numérico computacional y de visualización, sirve para analizar datos y por medio de un programa obtener la media y el análisis espectral.
- 8.- Tripie con contrapesos de diferentes medidas
- 9.- Implemento articulado para labranza inteligente.

10.-Tractor John Deere serie 6403, con una presión de hidráulico de 19.5 MPa.

11.- Software de diseño Pro Engineer. Es un software que nos ayuda a diseñar piezas y prototipos en 2D y 3D.

12.- Software estadístico de la UANL (V2.5). Análisis de varianza y comparación de medias en diseño de bloques al azar.

13.- Pantalla FMX de la empresa Trimble. Es un sistema de control que cubre todas sus necesidades: desde guía a dirección y desde control de dosis a monitoreo de semillas. La versatilidad de esta pantalla la convierte en la elección asequible a adoptar a medida que cambian sus necesidades tecnológicas.

14.- Válvula electrohidráulica proporcional de la empresa Danfoss. Son válvulas que regulan la presión y el caudal por medio de impulsos mediante una señal eléctrica y su principal aplicación es el control de posición.

15.- Actuadores Hidráulicos con diámetro de cilindro de 0.037 m. Transforman la energía hidráulica en energía mecánica.

3.2. Metodología

3.2.1. Localización del sitio de trabajo

La calibración del Octagonal Extendido fue realizada en el taller del departamento de maquinaria agrícola de la UAAAN, el cual se ubica en las coordenadas geográficas 25°22' de latitud Norte y 101°02' de longitud Oeste.



Fig. 3.1. Taller del departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN.

3.2.2 Calibración de los sensores en el Octagonal Extendido

Para el desarrollo de este proyecto la metodología de las calibraciones y evaluaciones fueron divididas bajo condiciones de laboratorio y campo.

3.2.3 Pruebas en laboratorio

Para obtener la constante de calibración del Octagonal Extendido se emplearon: el acondicionador de señales (DBK-43A), el convertidor analógico digital (Daq-Book 2000), un tripie con canastilla, seis pesas (tres de 45, dos de 35 y una de 30 kg), un tractor John Deere Modelo 6403.

La frecuencia de muestreo a las cuales se ajustó el Daq-Book 2000 fue de 20 Hz para un total de 7000 datos por repetición. El voltaje de excitación para cada uno de

los puentes de Wheastone fue de 9.5 volts corriente directa (cd), con ganancia de 5000 x (ϵ), micro strains. (4.5 x 4.5).

Para la obtención de las constantes tanto de la fuerza horizontal, vertical y del momento se acopló el octagonal o transductor a un tripie, donde se utilizaron seis diferentes pesos, mismo que se cargaban y descargaban en la canastilla a intervalos de 500 Hz cada uno. Dichos datos del peso se registraron como voltaje, lo que permitió obtener la constante de calibración. Ver figura 3.2.



Fig. 3.2. Obtención de las constantes FX, FY y Momento.

Se realizaron cinco repeticiones para la obtención de datos y poder determinar la constante de calibración por medio de un análisis de regresión lineal empleando el programa estadístico de Minitab.

3.2.4 Pruebas en campo

Estas pruebas se realizaron en parcelas utilizadas para experimentos agrícolas dentro de las instalaciones de la UAAAN. En una superficie de 50 m de largo y 80 m de ancho.

Para obtener las fuerzas horizontal (FX), vertical (FY) y el momento (M) ejercidas por el suelo se emplearon: el acondicionador de señales (DBK-43 A), el convertidor analógico digital (Daq-Book 2000), el bastidor de labranza inteligente, el octagonal extendido, un tractor John Deere Modelo 6403.

La frecuencia de muestreo a las cuales se ajustó el Daq-Book 2000 fue de 20 Hz para un total de 7000 datos por repetición. El voltaje de excitación para cada uno de los puentes de Wheastone fue de 9.5 volts cd con ganancia de $5000 \times (\epsilon)$, micro strains. (4.5 x 4.5).

Para la obtención de las fuerzas horizontal, vertical y del momento se hicieron siete corridas a tres diferentes profundidades, dos a 35 cm, tres a 42 cm y dos a 47 cm con 2000 rpm y una velocidad constante en segunda baja.



Fig. 3.3. Obtención de las fuerzas FX, FY, y Momento en campo.

3.2.5. Procesamiento y análisis de la información

Para la adquisición y análisis de datos Pacheco (2012), describe que los registros de los valores que se obtienen por medio de un transductor de fuerza y que estos se envíen a una computadora, hace posible almacenar en un archivo, los valores registrados durante la operación de la herramienta de labranza. Los datos obtenidos se descargan directamente en un archivo nombrado con anticipación y en la carpeta destino, ejecutables en el programa Excel.

Para los datos de calibración se toma una lectura promedio por cada escalón de la gráfica, cada lectura por escalón en mV corresponde a la suma de pesos aplicados cada 500 lecturas programadas. Los mV son proporcionales al peso. El peso multiplicado por la fuerza de gravedad obtenemos Newtons. Se procede a llevar los datos al programa Minitab y se realiza una regresión lineal entre mV obtenidos contra Newtons aplicados por escalón en ascenso y descenso y así se obtiene una ecuación lineal con una constante de calibración por cada componente del sensor. La constante permite transformar directamente a unidades de fuerza (N), los datos obtenidos en laboratorio o en mV (Bonifaz, 2012).

Para los datos de campo, se abren los archivos obtenidos de la corrida o repetición, se abren los archivos de Excel y se grafican. Estos valores son absolutos en mV. Los valores iniciales de la gráfica se llevan a valor cero, esto se hace, restando el primer valor de la columna a todos los valores de la misma columna y así poder tener un mejor comportamiento dinámico del transductor; posteriormente se multiplican estos valores por la constante de calibración.

Se aplicó un programa por Mojica (2000) en el ambiente Matlab 7.0 que permite procesar toda la información a través de un análisis espectral en donde se puede conocer las fuerzas que se presentan durante la operación del implemento. Para poder procesar la información en este ambiente de Matlab 7.0 se guardan todos los archivos generados en cada una de las pruebas con la extensión .DAT, entre comillas y delimitados por tabulaciones, por ejemplo: "REP_01.dat" y de esta manera poder "llamar" al archivo del programa y procesarlo.

Mojica (2000) menciona que la información que se obtiene del sistema de adquisición de datos es de tipo dinámico porque varía en el espacio tiempo y aleatorio porque no tiene un comportamiento definido originado por la heterogeneidad del suelo, ya que depende de las fuerzas en la interacción del suelo-implemento que son registrados durante la operación de la herramienta.

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

Para conocer esta información se selecciona el algoritmo de la transformada rápida de Fourier incluido en el programa de Matlab 7.0 antes mencionado, este algoritmo calcula el espectro de frecuencia de los datos obtenidos, y a partir de aquí se pueden localizar la mayor magnitud ocurrida y su correspondiente frecuencia (Mojica 2000).

3.2.6. Obtención de las fuerzas máximas de los actuadores

Con la presión máxima proporcionada por el hidráulico del tractor de 19.5 MPa (datos del fabricante) y el diámetro del cilindro se calculó la fuerza resultante de este utilizando la fórmula $P = F/A$; se despeja la fórmula y se obtiene la fuerza resultante la cual en un diagrama de cuerpo libre se descompone en F_X y F_Y y con esto se pueden calcular dichas fuerzas.

Se calculó la máxima fuerza ejercida por el actuador hidráulico para compararla con las fuerzas de reacción del suelo obtenidas en campo y verificar que estas no fuesen superiores a la fuerza permisible de los actuadores hidráulicos.



Fig. 3.4. Vista de los actuadores hidráulicos en el prototipo de labranza inteligente.

3.2.7. Evaluación de la respuesta de la válvula electrohidráulica

Para la evaluación de la válvula electrohidráulica se emplearon, la pantalla FMX, el tractor John Deere 6403, los actuadores hidráulicos y el prototipo de labranza inteligente.

Se contempló el tiempo de respuesta de la válvula electrohidráulica midiendo diferentes parámetros en función de las rpm del motor del tractor: pulsos enviados por el control FMX, distancia recorrida y el error de respuesta para bajar y subir el cuerpo del implemento en forma automática. Se hicieron 10 repeticiones a 1700, 1800, 1900 y 2000 rpm para alcanzar un desplazamiento (altura) de 50 mm para esto, se tomó el tiempo requerido, el número de pulsos y la distancia recorrida, así mismo, se registraron los satélites detectados por la pantalla FMX, al momento de la evaluación.

Se obtuvo el análisis de varianza para los tiempos, número de pulsos y recorrido total utilizando el paquete tecnológico de diseños de la UANL. Versión 2.5.



Fig. 3.5. Evaluación de los tiempos de respuesta y distancia recorrida de la válvula electrohidráulica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Pruebas en laboratorio para la calibración de Octagonal Extendido en (FX)

En las figuras (4.1 y 4.2) se muestran los resultados obtenidos al hacer la prueba de calibración en laboratorio de la fuerza horizontal (FX).



Fig.4.1. Proceso de calibración y registro de la fuerza horizontal (FX) aplicada al Octagonal Extendido.

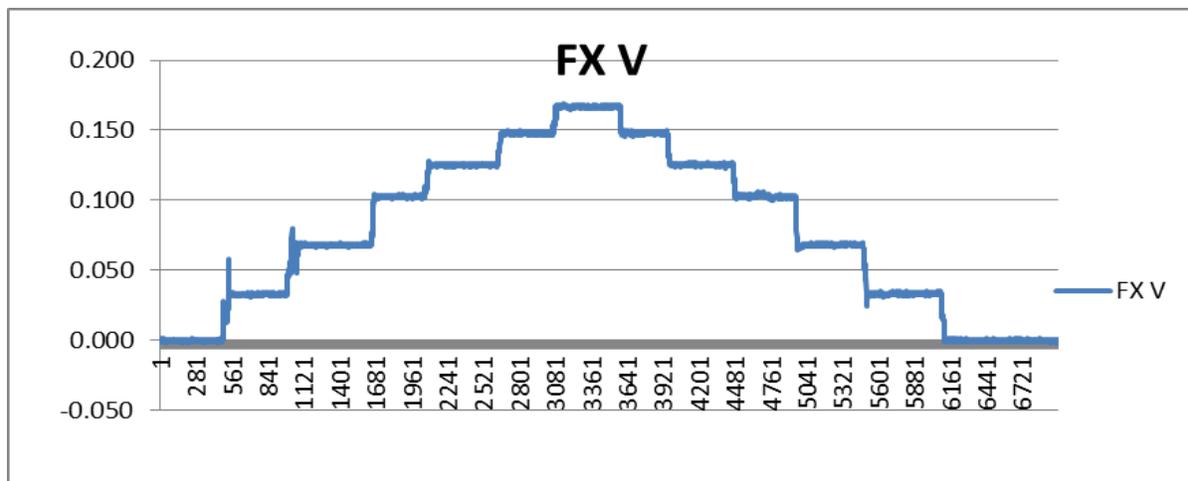


Fig.4.2. Gráfica que muestra la calibración de la fuerza horizontal (FX) con seis diferentes pesos, realizada bajo condiciones de laboratorio, empleando Daq-Book 2000.

En el cuadro siguiente se muestran los pesos en Newton y su respectiva deformación en mili Volts en cinco repeticiones para la obtención de la constante de calibración.

Cuadro 4.1. Datos obtenidos en Newton Vs mili Volts durante el proceso de calibración de (FX).

	1	2	3	4	5
N	mv	mv	mv	mv	mv
0	0	0	0	0	0
444.5	32	33	34	33	33
882.9	68	68	68	68	69
1324.4	105	103	102	102	103
1667.7	125	125	124	126	125
2011.1	148	148	149	148	148
2305.4	167	168	162	167	167
2011.1	149	149	148	151	148
1667.7	126	126	126	125	126
1324.4	103	103	104	102	103
882.9	68	69	68	68	70
444.5	33	33	35	33	33
0	0	0	0	0	0

Análisis de regresión: Newtons vs. mili Volts

Cuadro 4.2. Análisis de varianza de la línea de regresión lineal para la variable (FX), empleando el paquete estadístico Minitab V15.

La ecuación de regresión obtenida:

$$N = -22.21 + 13.58 \text{ mv}$$

$$S = 35.4368$$

$$R\text{-cuadrada} = 99.8\%$$

$$R\text{-Cuadrado(ajustado)} = 99.8\%$$

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	F 0.05	F 0.01
Regresión	1	359009569	35909569	28595.77	2.36	3.49
Error	63	79113	1256			
Total	64	35988682				

En la gráfica de la figura (4.3) se muestra la línea ajustada en Newton Vs mili Volts para determinar la constante de la fuerza horizontal (FX) empleando la facilidad de Minitab para análisis de regresión lineal.

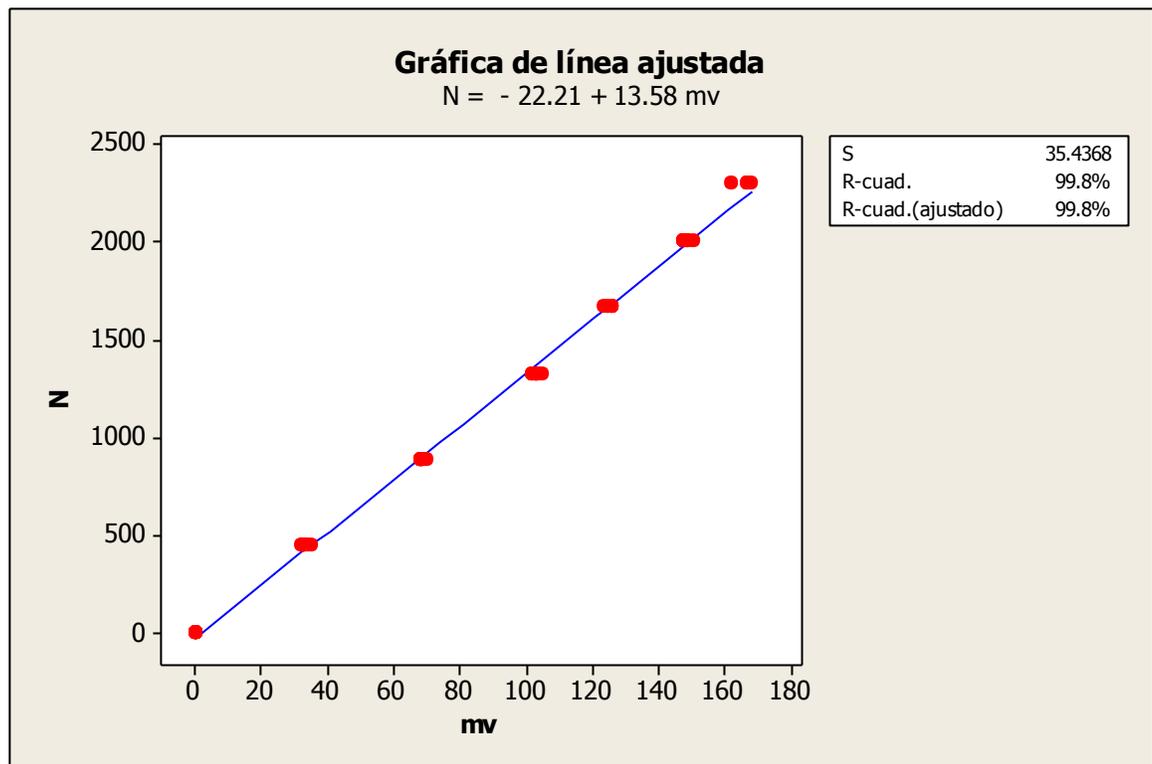


Fig. 4.3. Línea ajustada, ecuación de respuesta y constante de calibración para la (FX) del Octagonal Extendido.

4.2. Pruebas en laboratorio para la calibración de Octagonal Extendido en (FY)

En las figuras (4.4 y 4.5) se muestra el proceso para la obtención de resultados al hacer la prueba de calibración para la fuerza vertical (FY) en laboratorio.



Fig.4.4. Proceso de calibración y registro de la fuerza vertical (FY) aplicada al Octagonal Extendido.

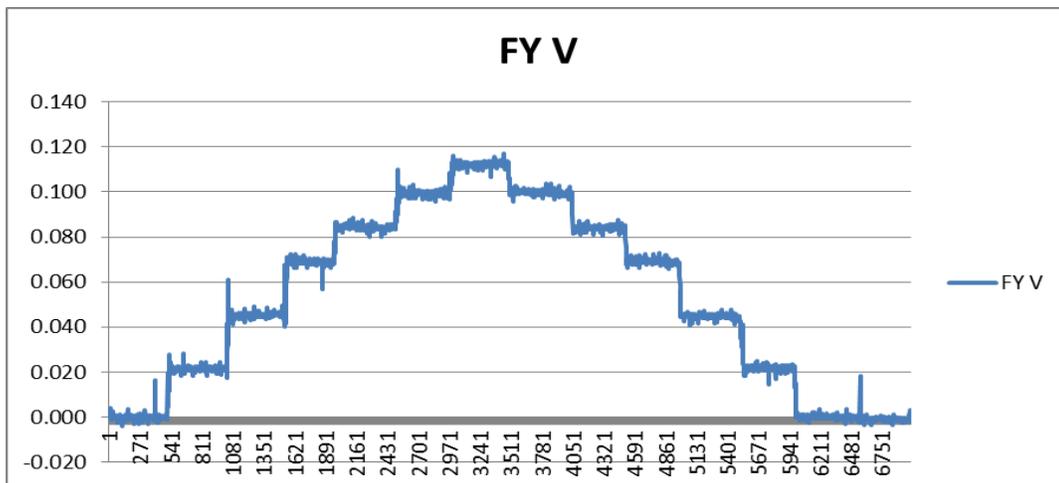


Fig. 4.5. Gráfica que muestra la calibración de la fuerza Vertical (FY) con seis diferentes pesos, realizada bajo condiciones de laboratorio, empleando Daq-Book 2000.

El siguiente cuadro muestra los pesos convertidos en Newton y su respectiva deformación expresada en mili Volts en cinco repeticiones para la obtención de la constante de calibración.

Cuadro 4.3. Datos obtenidos en Newton Vs mili Volts durante el proceso de calibración de (FY).

	1	2	3	4	5
N	mv	mv	mv	mv	mv
0	0	0	0	0	0
444.5	20	22	22	22	22
882.9	41	46	46	46	46
1324.4	64	68	70	68	69
1667.7	79	82	85	84	86
2011.1	94	95	99	98	99
2305.4	110	105	112	111	113
2011.1	97	94	100	98	98
1667.7	82	76	86	83	85
1324.4	66	60	74	69	69
882.9	43	38	50	48	47
444.5	33	13	27	22	23
0	0	0	0	0	0

Cuadro 4.4. Análisis de varianza de la línea de regresión lineal para la variable (FY), empleando el paquete estadístico Minitab V15.

Análisis de regresión: Newtons vs. Mili Volts

La ecuación de regresión obtenida:

N=-29.41+20.33mv		
S = 45.0368	R-Cuadrado = 99.6 %	R-Cuadrado(ajustado)= 99.6%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	F 0.05	F 0.01
Regresión	1	57375003	57375003	28287.01	2.36	3.49
Error	102	206888	2028			
Total	103	57581891				

La gráfica de la figura (4.6) muestra la línea ajustada Newton Vs mili volts para determinar la constante de la Fuerza vertical (FY) empleando la facilidad de Minitab para análisis de regresión lineal.

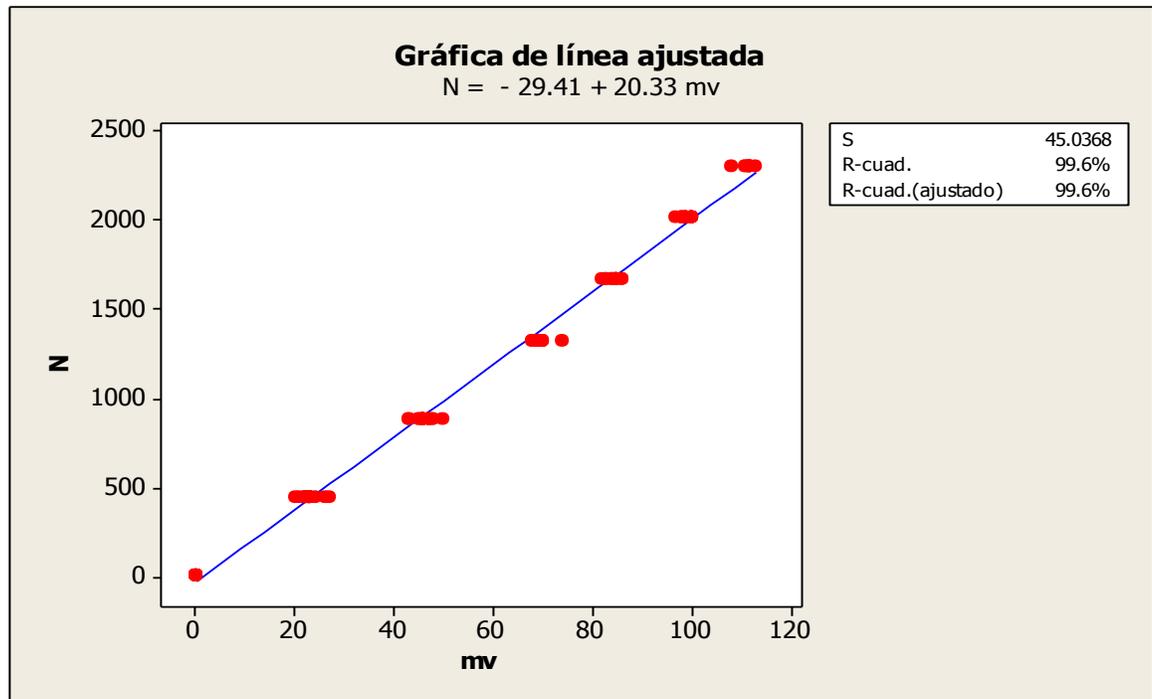


Fig. 4.6. Línea ajustada, ecuación de respuesta y constante de calibración para la (FY) del Octagonal Extendido.

4.3. Pruebas en laboratorio para la calibración de Octagonal Extendido en (M)

Las figuras (4.7 y 4.8) muestran el proceso para la obtención de resultados al hacer la prueba de calibración para el momento (M) en laboratorio.



Fig. 4.7. Proceso de calibración y registro del Momento (M) aplicado al Octagonal Extendido.

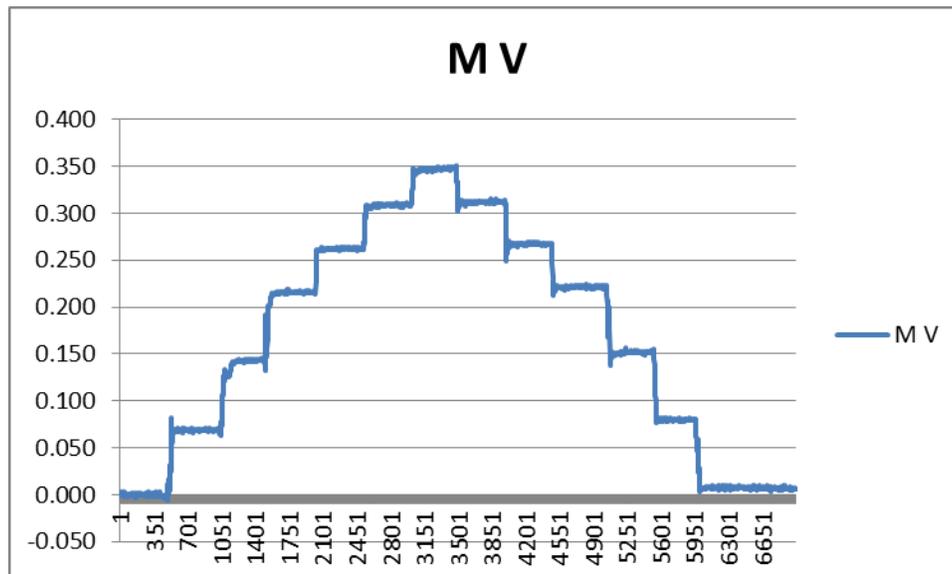


Fig. 4.8. Gráfica que muestra la calibración del Momento (M) con seis diferentes pesos realizada bajo condiciones de laboratorio, empleando Daq-Book 2000.

El siguiente cuadro muestra los pesos convertidos en Newton y su respectiva deformación expresada en mili Volts en cinco repeticiones para la obtención de la constante de calibración.

Cuadro 4.5. Datos obtenidos en Newton* metro Vs mili Volts durante el proceso de calibración del (M) a una distancia de 0.67 m.

Repetición			1	2	3	4 ^a	5
kg	N	N*m	mv	mv	mv	mv	mv
0	0	0	0	0	0	0	0
45	441.5	295.8	70	64	70	70	66
90	882.9	591.5	143	139	142	142	139
135	1324.4	887.3	215	209	213	213	213
170	1667.7	1117.4	262	254	259	258	257
205	2011.1	1347.4	309	301	305	304	302
235	2305.4	1544.6	346	338	342	342	338
205	2011.1	1347.4	311	302	308	307	297
170	1667.7	1117.4	267	258	262	258	255
135	1324.4	887.3	221	212	217	213	214
90	882.9	591.5	149	144	149	146	140
45	441.5	295.8	80	72	75	73	68
0	0	0	0	0	0	0	0

Cuadro 4.6. Datos obtenidos en Newton* metro Vs mili Volts durante el proceso de calibración del (M) a una distancia de 0.47 m.

Repetición			1	2	3	4	5
kg	N	N*m	mv	mv	mv	mv	mv
0	0	0	0	0	0	0	0
45	441.5	207.5	51	51	50	50	49
90	882.9	415	103	103	103	101	104
135	1324.4	622.4	158	154	152	152	154
170	1667.7	783.8	193	185	186	187	186
205	2011.1	945.2	227	219	219	217	221
235	2305.4	1083.5	252	245	246	245	247
205	2011.1	945.2	227	218	219	219	222
170	1667.7	783.8	199	186	188	185	190
135	1324.4	622.4	165	153	154	153	156
90	882.9	415	115	104	103	103	108
45	441.5	207.5	63	51	49	50	56
0	0	0	0	0	0	0	0

Cuadro 4.7. Análisis de varianza de la línea de regresión lineal para la variable del momento (M) empleando el paquete estadístico Minitab V15.

Análisis de regresión: Newtons-metro vs. mV

La ecuación de regresión es

$N*m = -25.16 + 4.412 \text{ mv}$		
S = 29.2915	R-Cuadrada=99.6%	R-Cuadrado(ajustado)= 99.6%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	F 0.05	F 0.01
Regresión	1	25745460	325745460	30006.70	2.36	3.49
Error	128	109823	858			
Total	129	25855283				

La gráfica de la figura (4.9) muestra la línea ajustada Newton-metro Vs mili volts para determinar la constante del momento (M) empleando la facilidad de Minitab para análisis de regresión lineal.

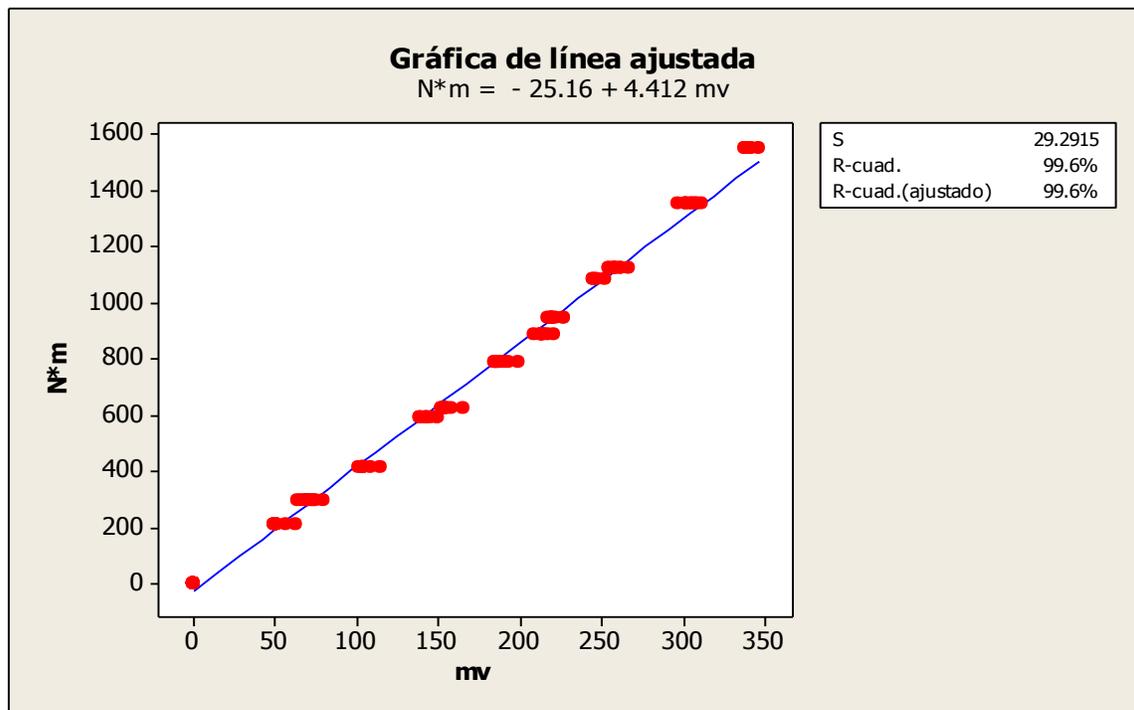


Fig. 4.9. Línea ajustada, ecuación de respuesta y constante de calibración para el (M) del Octogonal Extendido.

4.4. Análisis de evaluaciones en campo

4.4.1. Pruebas en campo para la obtención de valores de la fuerza horizontal (FX), vertical (FY) y el Momento

En la figura (4.10) se muestra el proceso de evaluación en campo empleando el equipo articulado de labranza vertical y el Octagonal Extendido acoplado en la barra trasera del equipo articulado para determinar las fuerzas (FX y FY) así como el momento resultante (M).



Fig. 4.10. Proceso de obtención de datos para las fuerzas (FX), (FY) y (M).

El cuadro (4.8) muestra las magnitudes de las fuerzas de tiro a tres diferentes profundidades (0.35, 0.42 y 0.47 metros), la magnitud del comportamiento de estas fuerzas fluctúa desde 6.9 hasta 24.3 kN por cincel.

Cuadro 4.8. Análisis de (FX) registradas en campo.

CORRIDA	PROF (m)	FX (v)	EXPECTRAL (v)	TOTAL (mv)	FX (kN)
1	0.35	0.431	0.08	511.2	6.9
2	0.35	0.47	0.032	501.8	6.8
3	0.42	0.92	0.113	1033.1	14
4	0.47	0.701	0.882	1583.1	21.4
5	0.47	1.632	0.164	1796.1	24.3
6	0.42	0.908	0.056	963.9	13
7	0.47	1.144	0.192	1335.9	18.1

En la figura (4.11) se muestra las magnitudes de las fuerzas en tiempo real de la componente horizontal (FX).

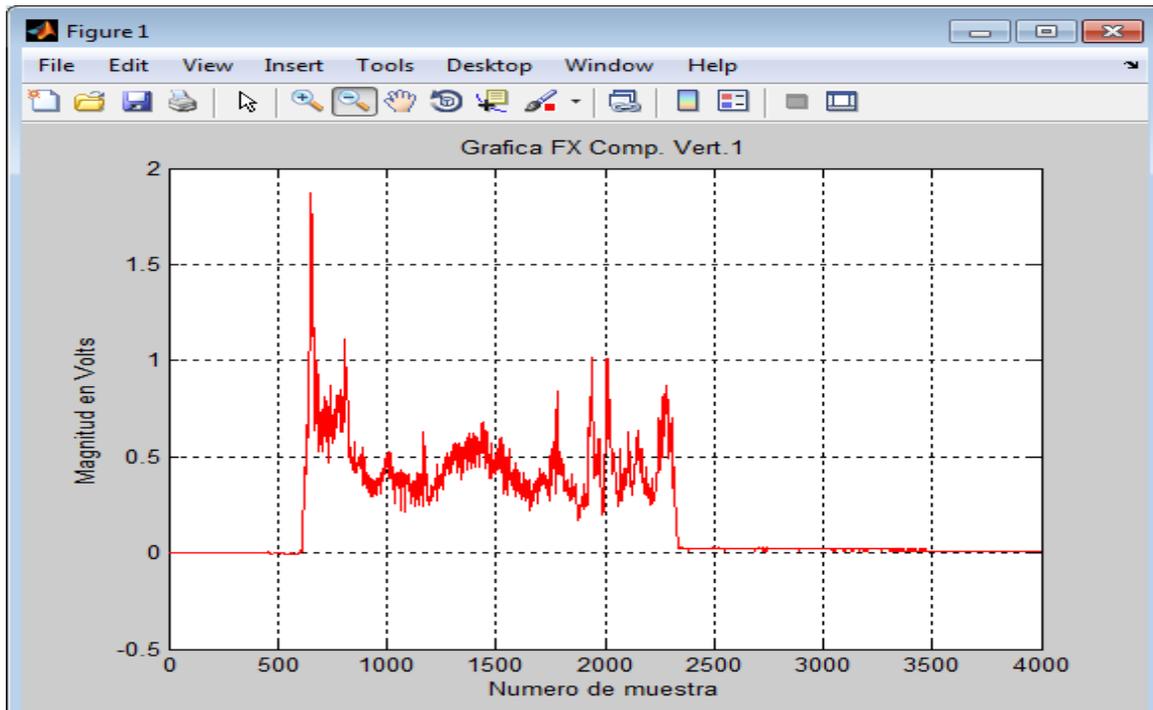


Fig. 4.11. Gráfica con registro de la fuerza horizontal (FX) en campo y analizada con el programa Matlab.

El cuadro (4.9) muestra las magnitudes de las fuerzas verticales a tres diferentes profundidades (0.35, 0.42 y 0.47 metros), la magnitud del comportamiento de estas fuerzas fluctúa desde 1.8 hasta 3.7 kN por cinkel.

Cuadro 4.9. Análisis de (FY) registradas en campo.

CORRIDA	PROF (m)	FY (v)	EXPECTRAL (v)	TOTAL (mv)	FY (kN)
1	0.35	0.019	0.071	90.2	1.8
2	0.35	0.088	0.008	96.2	1.9
3	0.42	0.097	0.018	115.5	2.3
4	0.47	0.057	0.032	88.9	1.8
5	0.47	0.168	0.015	183.1	3.7
6	0.42	0.108	0.008	115.9	2.3
7	0.47	0.137	0.032	168.8	3.4

En la figura (4.11) se muestra las magnitudes de las fuerzas en tiempo real de la componente vertical (FY).

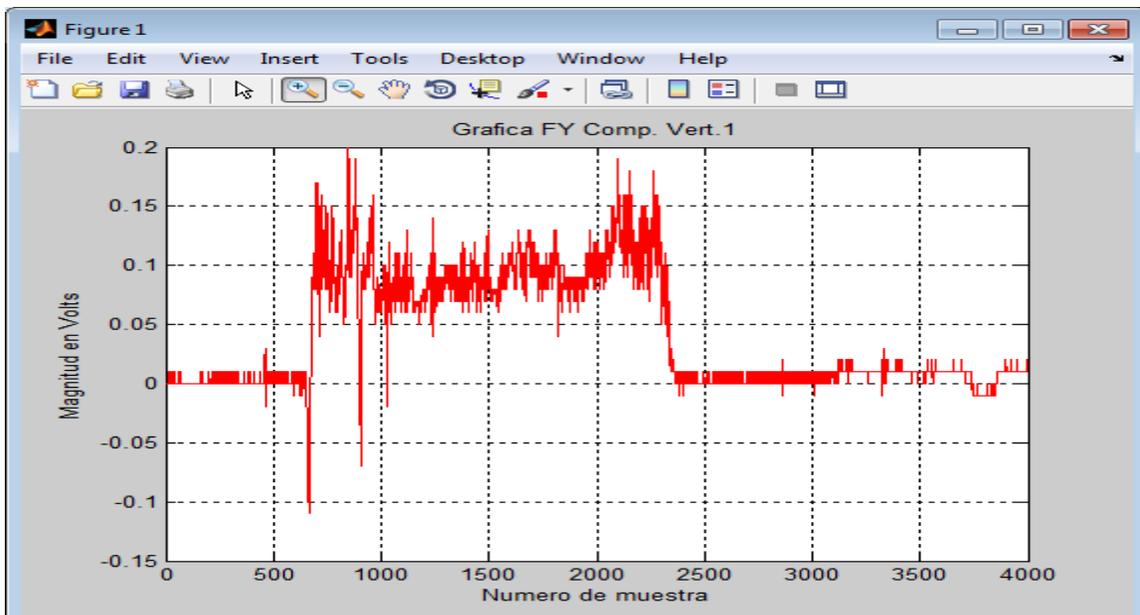


Fig. 4.12. Gráfica con registro de la fuerza vertical (FY) en campo y analizada con el programa Matlab.

El cuadro (4.10) muestra las magnitudes del momento a tres diferentes profundidades (0.35, 0.42 y 0.47 metros), la magnitud del comportamiento de estas fuerzas fluctúa desde 2.9 hasta 7.6 kNm por cincel.

Cuadro 4.10. Análisis de (M) registradas en campo.

CORRIDA	PROF (m)	M (v)	EXPECTRAL (v)	TOTAL (mv)	M (kN*m)
1	0.35	0.55	0.116	665.5	2.9
2	0.35	0.645	0.047	691.9	3
3	0.42	0.837	0.122	958.8	4.2
4	0.47	0.537	0.226	762.4	3.3
5	0.47	1.573	0.151	1723.7	7.6
6	0.42	0.918	0.635	1553.1	6.8
7	0.47	1.159	0.199	1358	5.9

En la figura (4.13) se muestra las magnitudes del momento en tiempo real.

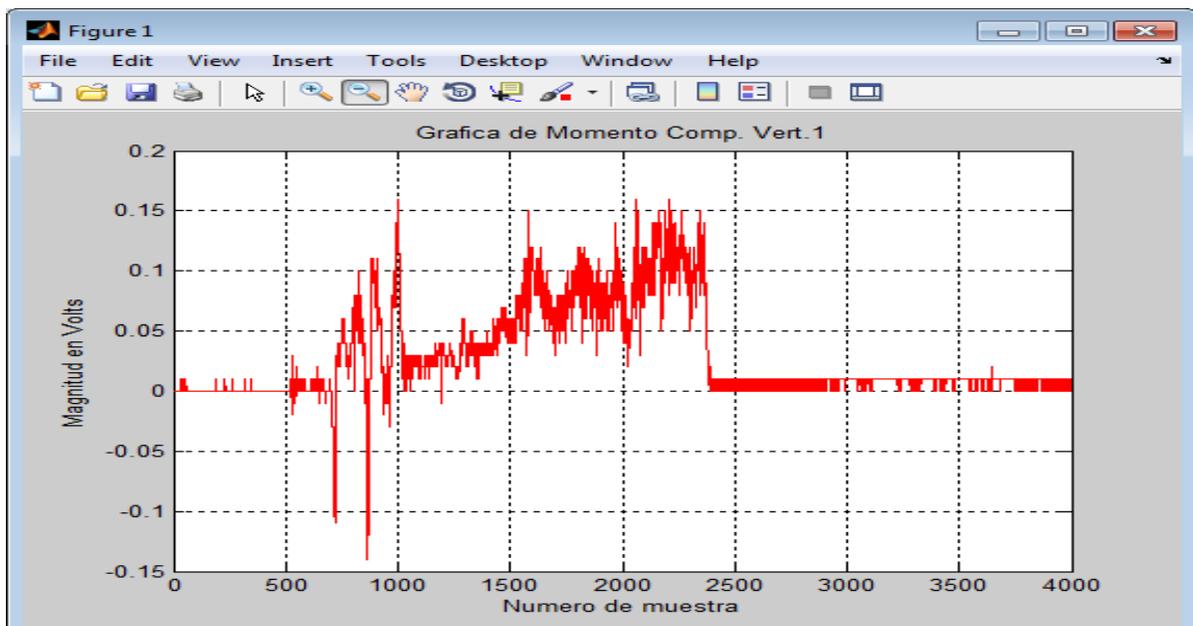


Fig. 4.13 Gráfica con registro del momento (M) en campo y analizada con el programa Matlab.

4.4.2. Diagrama de fuerzas del prototipo de labranza inteligente

En la figura (4.14) se muestran el diagrama de cuerpo libre con la aplicación de las fuerzas y el momento a los actuadores hidráulicos, medidas a través del sensor del tipo Octagonal Extendido.

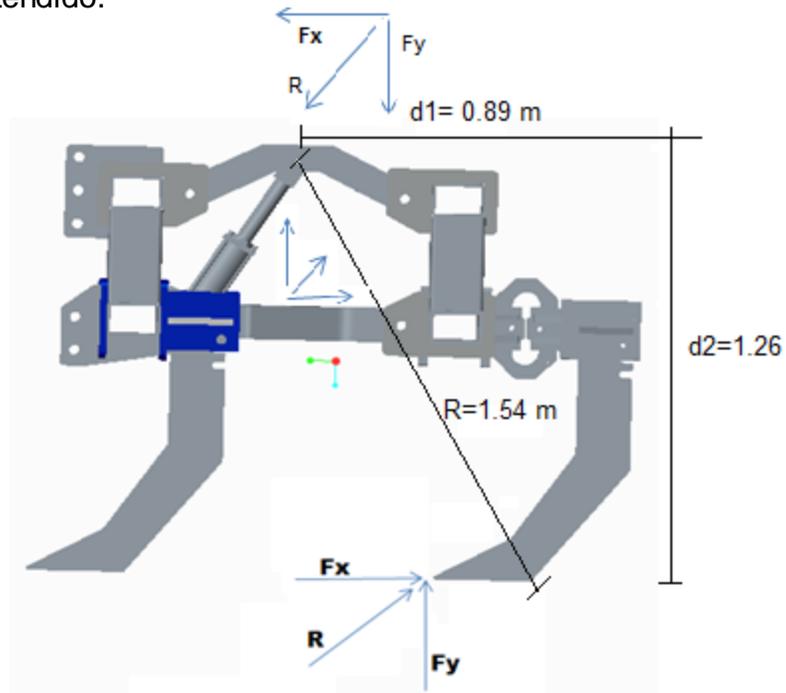


Figura (a)

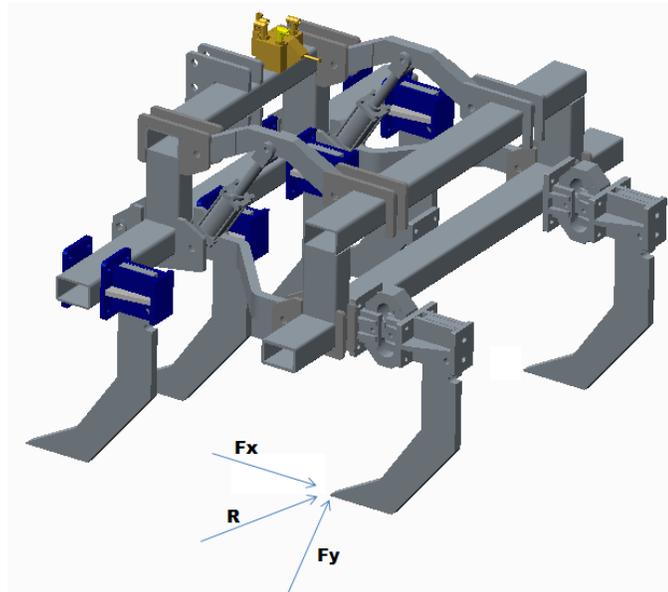


Figura (b)

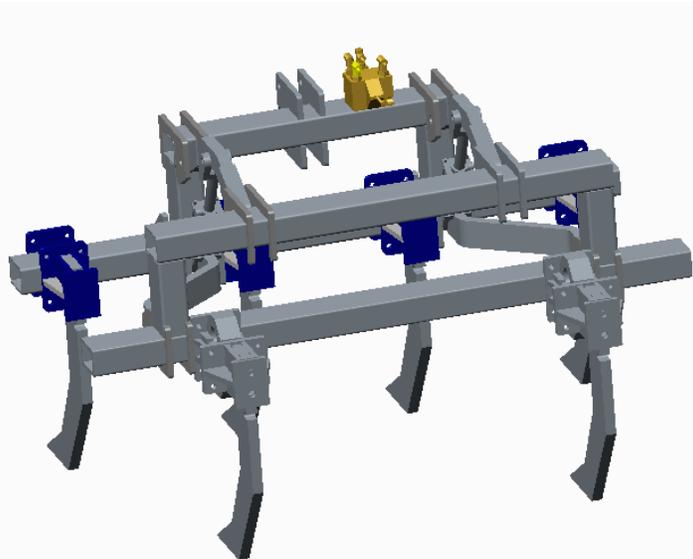


Figura (c)

Fig. 4.14. Fuerzas que actúan en el prototipo de labranza inteligente. (a) Vista lateral mostrando cilindros. (b) Isométrico lateral mostrando cinceles y Octagonal Extendido. (C) Isométrico posterior mostrando acoplamiento de cinceles a las barras articuladas.

4.5. Fuerzas transmitidas a los actuadores hidráulicos mediante pruebas en campo

El cuadro (4.11) muestra un resumen de las fuerzas y momentos máximos aplicados a los actuadores, medidos mediante el empleo de transductor de tipo Octagonal Extendido.

Cuadro 4.11. Fuerzas transmitidas de los cinceles a los actuadores hidráulicos durante la prueba de campo, a diferentes profundidades.

PROF (m)	FX (kN)	FY (kN)	M (kN*m)	R (X*y) kN
0.35	6.9	1.9	3	7.1
0.42	14	2.3	6.8	14.1
0.47	24.3	3.7	7.6	24.5

4.6. Fuerza máxima que ejercen los cilindros hidráulicos al implemento

$$F = P/A \dots \dots \dots \text{Ecuación. 4.1.}$$

$$F = 19500 \text{ kN/m}^2 * 0.00447696 \text{ m}^2$$

$$F = 87.3 \text{ kN}$$

FACTOR DE SEGURIDAD DEL LOS ACTUADORES HIDRÁULICOS CON RESPECTO A LAS FUERZAS EJERCIDAS POR EL CINCEL EN CAMPO.

Fuerza del cilindro=87.3 kN

Fuerza ejercida en campo 0.47 m de profundidad=24.5 kN

$$FS = 87.3 \text{ kN} / 24.5 \text{ kN} = 3.5$$

4.7. Tiempo de reacción de la válvula a una prescripción de 50 mm de desplazamiento de los actuadores y diferentes tipos de revoluciones por minuto (rpm) del tractor.

El cuadro (4.12) muestra los tiempos de respuesta del controlador FMX para una calibración de desplazamiento de los cinceles a cuatro diferentes rpm del tractor. El análisis de varianza muestra una media de tiempo de 23.26 segundos con un coeficiente de variación de 19.7 %. El mismo análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre los tiempos de respuesta a diferentes revoluciones del motor del tractor.

Cuadro 4.12. Tiempo de respuesta en 50 mm de desplazamiento de los actuadores, utilizando la válvula proporcional manipulada por el controlador FMX con diferentes (rpm) del tractor.

rpm	Subir- Bajar	Bloques									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1700	Subir	29.9	31.9	26.0	25.4	27.2	20.1	15.6	21.9	20.6	18.8
1700	Bajar	20.1	15.6	21.9	20.6	18.8	29.9	31.9	26.0	25.4	27.2
1800	Subir	27.5	20.1	28.3	24.2	25.3	27.6	22.2	20.3	23.2	14.7
1800	Bajar	27.6	22.2	20.3	23.2	19.4	27.5	20.1	28.3	24.2	25.3
1900	Subir	26.7	22.2	23.3	24.2	27.8	19.1	18.0	18.5	24.5	15.9
1900	Bajar	19.1	18.0	18.5	24.5	15.9	26.7	22.2	23.3	24.2	27.8
2000	Subir	28.9	25.6	30.4	26.3	25.9	16.9	24.7	25.4	19.5	17.7
2000	Bajar	16.9	24.7	25.4	19.5	17.2	28.9	25.6	30.4	26.7	25.9

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	F 0.05
Tratamientos	7	53.73	7.67	0.36	2.36
Bloques	9	82.70	9.18	0.43	
Error	63	1,33	21.19		
Total	79	1471.90			

Media=23.26 Segundos

C.V= 19.71 %



Fig. 4.15. Prototipo de labranza inteligente con válvula electrohidráulica.

El cuadro (4.13) muestra el total de pulsos de respuesta del controlador FMX para una calibración de desplazamiento de los cinceles a 50 mm de altura a cuatro diferentes rpm del tractor. El análisis de varianza muestra una media de pulsos de 22.2 con un coeficiente de variación de 22.35 %. El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre el número de pulsos de respuesta a diferentes revoluciones del motor del tractor.

Cuadro 4.13. Número de pulsos contabilizados para alcanzar 50 mm de altura enviados por la válvula proporcional manipulada con el FMX y con diferentes (RPM) del tractor.

		Bloques									
rpm	Subir- Bajar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1700	Subir	29	29	24	26	26	28	16	21	19	17
1700	Bajar	28	16	21	19	17	29	29	24	26	26
1800	Subir	26	18	27	23	24	37	21	19	21	13
1800	Bajar	37	21	19	21	17	26	18	27	23	24
1900	Subir	25	21	22	23	26	17	17	17	22	15
1900	Bajar	17	17	17	22	15	25	21	22	23	26
2000	Subir	19	24	28	25	24	15	23	25	18	16
2000	Bajar	15	23	25	18	16	19	24	28	25	24

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	F 0.05
Tratamientos	7	113.59	16.22	0.65	2.36
Bloques	9	164.80	18.31	0.74	
Error	63	1550.40	24.60		
Total	79	1828.80			

Media= 22.2 pulsos

C.V= 22.35 %



Fig. 4.16. Prototipo de labranza inteligente para la medición de pulsos arrojados y distancia recorrida por los actuadores hidráulicos.

El cuadro (4.14) muestra el recorrido total de respuesta de desplazamiento de los cinceles para una calibración de 50 mm de altura a cuatro diferentes rpm del tractor. El análisis de varianza muestra una media de desplazamiento de 41.45 mm con un coeficiente de variación de 10.43 %. El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre el desplazamiento a diferentes revoluciones del motor del tractor.

Cuadro 4.14. Respuesta de recorrido en 50 mm de altura de la válvula proporcional con diferentes (rpm) del tractor.

rpm	Subir- Bajar	Bloques									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1700	Subir	40	46	44	46	41	47	39	40	43	34
1700	Bajar	47	39	40	43	34	40	46	44	46	41
1800	Subir	43	35	44	39	45	44	45	43	39	30
1800	Bajar	44	45	43	39	40	43	35	44	39	45
1900	Subir	43	37	38	50	47	38	40	39	46	34
1900	Bajar	38	40	39	46	34	43	37	38	50	47
2000	Subir	39	41	44	42	41	42	39	51	40	35
2000	Bajar	42	39	51	40	35	39	41	44	42	41

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	F 0.05
Tratamientos	7	13.59	1.94	0.10	2.36
Bloques	9	207.54	23.06	1.23	
Error	63	1176.65	18.67		
Total	79	1397.79			

Media=41.45 mm recorrido

C.V= 10.43 %



Fig. 4.17. Recorrido de la parte articulada con respecto a la parte fija del prototipo de labranza inteligente.

NO SE REALIZÓ LA COMPARACIÓN DE MEDIAS EN LAS VARIABLES: TIEMPO, NÚMERO DE PULSOS Y DESPLAZAMIENTO DE LA VÁLVULA, PORQUE NO HAY DIFERENCIA ESTADÍSTICA SIGNIFICATIVA ENTRE TRATAMIENTOS.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La calibración del Octagonal Extendido en sus diferentes direcciones de fuerzas (FX, FY y M) fueron generadas satisfactoriamente para la obtención de las constantes de calibración con coeficientes de correlación de 99.8%, 99.6% y 99.6% respectivamente.

La fuerza resultante del suelo ejercida sobre los actuadores hidráulicos en las evaluaciones en campo, es mucho menor que la fuerza admisible que pueden soportar estos, con un factor de seguridad de 3.5, lo que garantiza la confiabilidad del sistema hidráulico.

Los tiempos de respuesta de la válvula a 50 mm de desplazamiento (hacia arriba o debajo de una posición) a diferentes revoluciones del motor, no tienen diferencia estadística significativa en la variable tiempo ni en los pulsos requeridos.

En función del desplazamiento o recorrido de los actuadores no existe diferencia estadística significativa, pero sí un error del 17.1 % con respecto a las diferentes pruebas realizadas, mismo comportamiento que se presentó en todas las prescripciones programadas.

Hacer las evaluaciones de tiempos de respuesta y error para las profundidades de (0.10, 0.15 y 0.20 m), ya que en este proyecto, no se consideraron dichos valores y son importantes para operar la válvula electrohidráulica.

VI. LITERATURA CITADA

- Aluko, O.B. and D.A. Seig. 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting. *Soil Tillage Res.* 57:143-157.
- Bongiovanni, R.; Mantovani, E. C.; Best,S.; Roel, A (Ed.). 2006. *Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable.*
- Bonifaz del Carpio, A. 2012. *Evaluación de un transductor integral para determinar las magnitudes de las fuerzas que actúan en los implementos de labranza.* Tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Bolstad, P. (2005) *GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems, Second Edition.* White Bear Lake, MN: Eider Press, 543 pp.
- Camacho, J.H. y G.A. Rodríguez. 2007. *Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua del suelo.* *Agric. Téc.* 67(1):60-67
- Campos, M.S.G. 1993. *Development of minimum maize planter for Mexican agriculture,* unpublished phd thesis, Newcastle University, England.167p.
- 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.
- Cooper D.W. and Helfrick D.A. 1991. *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición,* p. 101.

- Godwin, R. J., A. J. Reynolds, M. J. O'Dogherty and A.A. Al-Ghazal. 1993. A triaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements. *J. Agric. Engng. Rese.*, 55(3): 189-205.
- Gutiérrez-Mariscal, J. 2012. (Sensores de Diagnostico Aplicados a la Labranza para Agricultura de Precisión). Tesis de Nivel Licenciatura. Departamento de Maquinaria Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Hoogmoed, W. 1994. Tillage for soil an wáter conservation i the semi-aridtropics. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.
- López-López, J.A. 2012. (Evaluación de un Sensor de Permisividad Eléctrica para Agricultura de Precisión). Tesis de Nivel Licenciatura. Departamento de Maquinaria Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Mojica, L. E. D. 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurco para labranza de conservación, empleando equipo multiusos de tracción animal. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver.; México.
- OMEGA, 2012.The strain gage". Documento en línea <http://www.omega.com>
- Pacheco, .J.L. 2012. Requerimientos de energía en la labranza vertical basada en el principio de profundidad critica. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila México.
- Pimentel. S. Willianson, C.E. Alexander, O. Gonzalez-Pagan, C. Kontak, and S.E. Mulkey 2008. Reducing energy inputs in the US food system. *Hum. Ecol.* 36:459-471.
- Reynolds, M.A. (2012) Protocolo de Proyecto de Investigación (Programa Doctoral) de Ingeniería en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

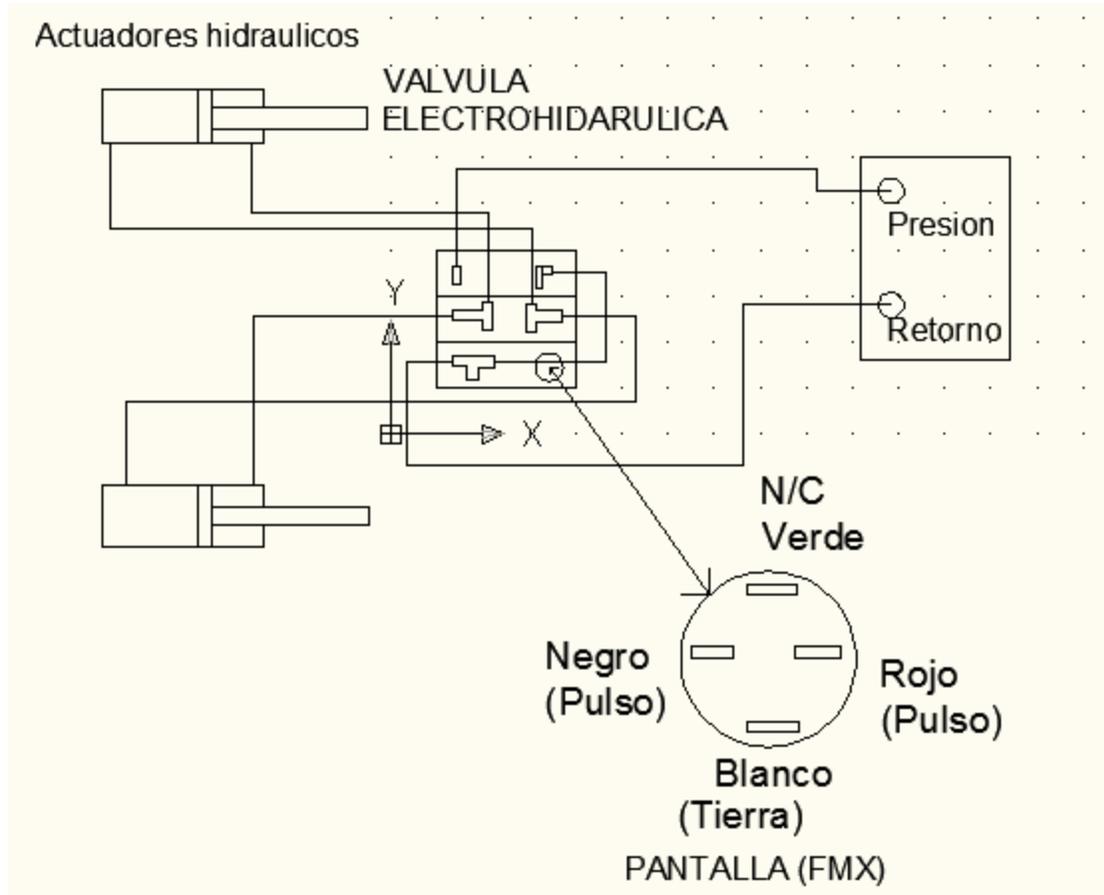
- Soane, D and J. Pidgeon. Tillage requirements in relation to soil physical properties. Soil Science 119: 370-384. 1975.

6.1. Información y documentación en internet

- <http://autoavance.co/images/valvula-proporcional-embraque-lock-up.JPG>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>
- http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/villar04/parte_10/01.html
- <http://www.agriculturadeprecision.org>
- <http://www.buenastareas.com/ensayos/HidraulicaProporcional/5222022.html>
- <http://www.cienciahoy.org.ar/ln/hoy68/formasdelabranza.htm>
- http://www.cohimar.com/util/neumatica/neumatica_hidraulica22.html
- <http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=pistones%20hidraulicos&bav>
- http://www.inntagri.com/Folletos/nivelacion_gps.pdf
- http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm

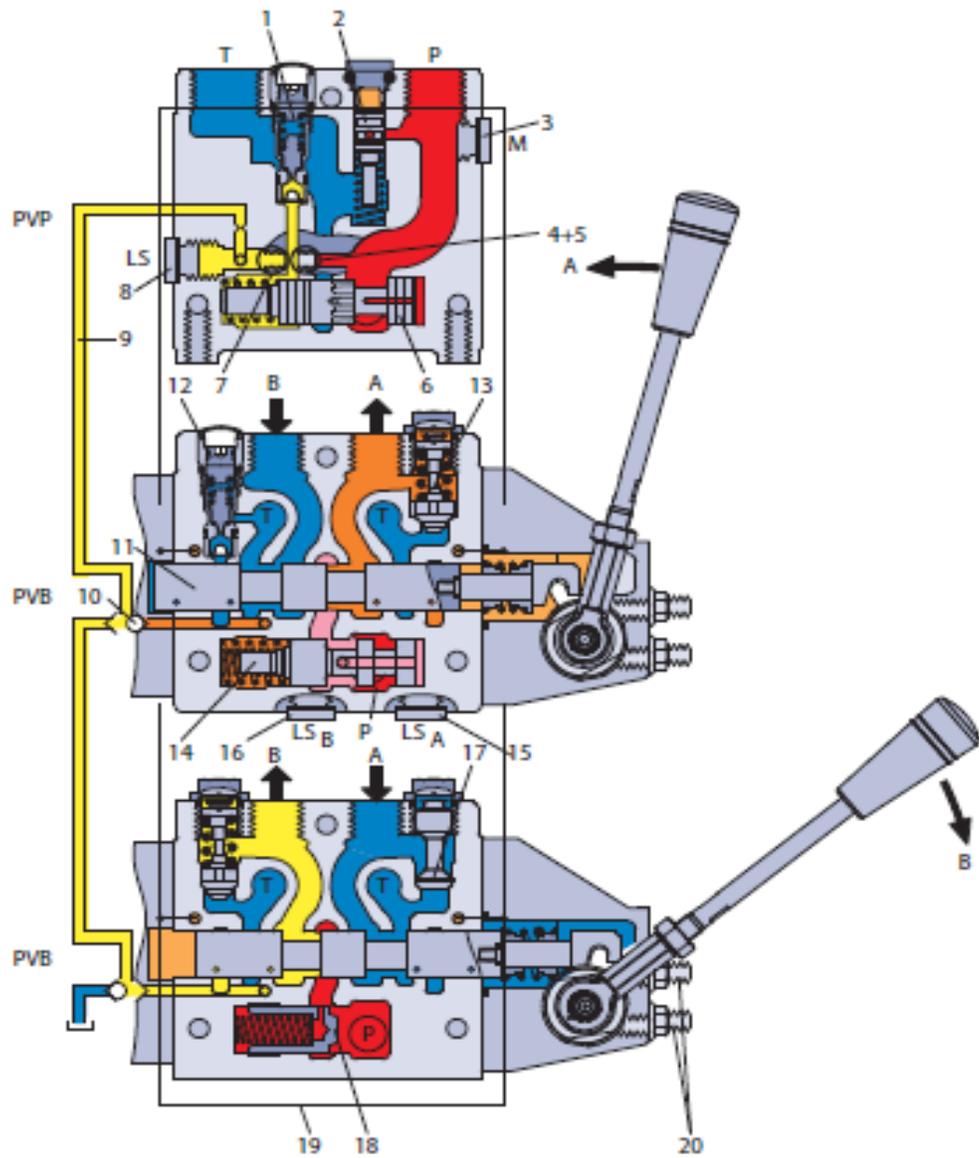
VII. ANEXOS

ANEXO A.1. Diagrama de conexión de mangueras de la válvula electrohidráulica a los actuadores y al sistema hidráulico del tractor.



ANEXO A.2. Plano de sección trasversal de la válvula electro-hidráulica

PVG 32 Sectional Drawing

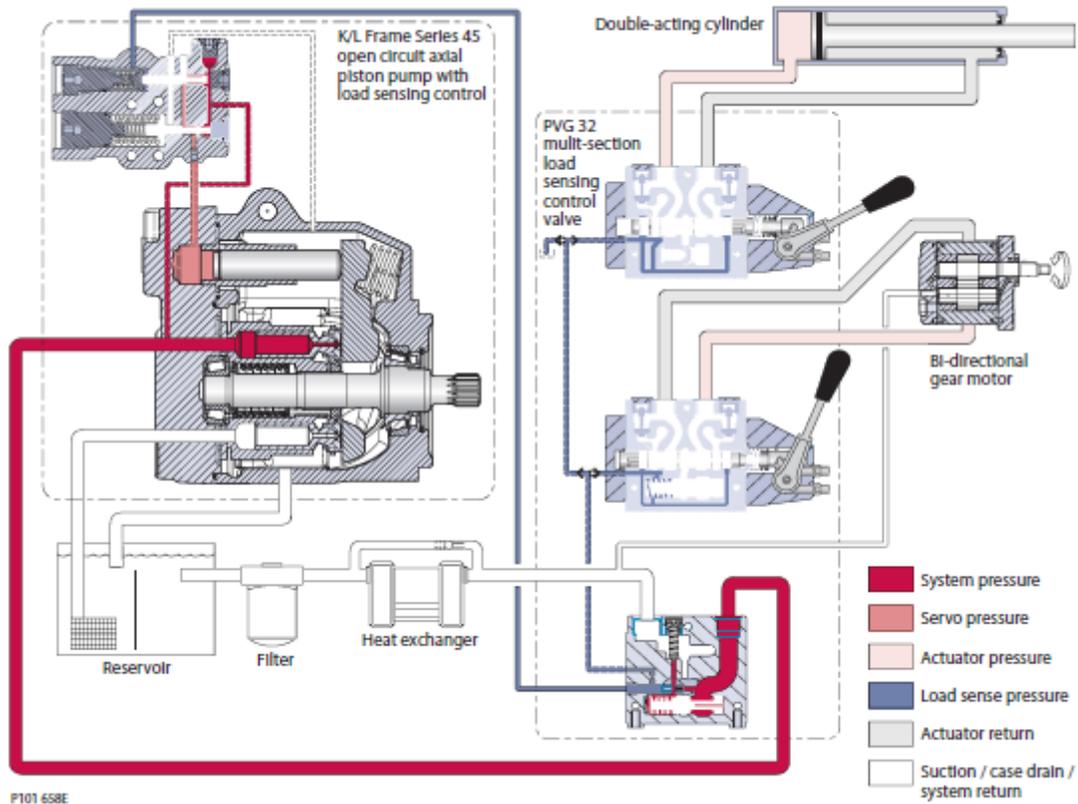


V310106.A

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Pressure relief valve | 11. Main spool |
| 2. Pressure reduction valve for pilot oil supply | 12. LS pressure limiting valve |
| 3. Pressure gauge connection | 13. Shock and suction valve, PVL P |
| 4. Plug, open center | 14. Pressure compensator |
| 5. Orifice, closed center | 15. LS connection, port A |
| 6. Pressure adjustment screw | 16. LS connection, port B |

ANEXO A.3. Esquema del circuito

Pictorial circuit diagram



ANEXO B.1. Diseño en Pro Engineer de prototipo de labranza inteligente con control automático de profundidad de cinceles mediante actuadores hidráulicos.

ANEXO B.2. Cálculo de fuerzas soportadas por los actuadores hidráulicos.

$$P = F/A$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$F = P \cdot A$$

$$P = 19.5 \text{ MPa}$$

$$r = 0.03775 \text{ m}$$

$$F = (19500 \text{ kN/m}^2 \cdot (\pi \cdot 0.03775^2 \text{ m}^2))$$

$$F = 87.3 \text{ kN}$$