

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



**Evaluación de la respuesta de profundidad de un sistema
de nivelación de corte y relleno, empleando sistemas de
control FmX y RTK**



POR:

CRISTIAN JONATAN DE LOS SANTOS MENDOZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Evaluación de la respuesta de profundidad de un sistema de nivelación de corte y relleno, empleando sistemas de control FmX y RTK
POR:

Cristian Jonatan de los Santos Mendoza
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. Hugo Gutiérrez Flórez

Sinodal



M.C. Gilbert Fresh López López



Coordinador de la división de ingeniería


Dr. Luis Samaniego Moreno

Saltillo, Coahuila México, Mayo 2018

Agradecimiento

Gracias a Dios por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi universidad, gracias a mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona, gracias a cada muestra que hizo parte de este proceso integral de formación.

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, por la confianza de incluirme en el proyecto de investigación y la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, agradezco su empeño, experiencia, consejos, llamadas de atención y dedicación profesional.

Al **M.C Héctor Uriel Serna** Fernández por la disciplina que siempre lo caracteriza, y su apoyo incondicional.

A los profesores, **M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, Dr. Martín Cadena Zapata, Ing. Juan Arredondo Valdez, M.C. Tomas Gaitán Muñiz, Ing. Rosendo González Garza, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, Dr. Hugo Gutiérrez Flórez, Secretaria Juana María Valenzuela**, quiénes se esmeraron por dar lo mejor para mi formación profesional, por sus conocimientos teóricos brindados y experiencias compartidas.

Al **Ing. Amaury Arreola Cruz**, por su gran apoyo, motivación y por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

A los **Ingenieros Gilbert Fresh López López y Diego Cruz Hernández**, por su apoyo incondicional y por aportar de sus conocimientos para hacer posible este trabajo.

A mis amigos: Daniel por ser una buena persona, gracias por ser un compañero de verdad, cuando me preguntan cuántos hermanos tengo siempre respondo dos, uno de sangre y uno de corazón y tú eres ese segundo hermano que ha llegado a mi vida como una mano derecha, te agradezco por todo, tus excelentes ayudas y aportes a mi proyecto, al igual que todos los buenos momentos. A Domingo trabajar contigo ha sido uno de los mejores experiencias de mi vida, gracias por tratarme bien y darme siempre tu ayuda. Espero cruzarnos de nuevo en un futuro amigos.

Dedicatoria

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justo que puede llegar a ser. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor a su bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a mi madre por regalarme la vida, por permitirme conocer este mundo, por darme fuerza, por ser cada día mejor, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mí, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me han guiado en mi vida.

A mis hermanos Edgar Raziel y Jamilet Julissa que han sido como un motor, que me han impulsado en el día a día para cumplir mis propósitos.

Dentro de mi recorrido por la vida pude dar cuenta de que hay muchas cosas para los que soy bueno, encontré destrezas y habilidades que jamás pensé, pero lo realmente importa es que pude descubrir que por más que disfrute trabajar solo, siempre obtendrás un mejor resultado, si lo realizas con la ayuda y compañía perfecta, que dentro del desarrollo de esta tesis se presentaron muchos momentos en los cuales pareciera que los deberes y compromisos fueran acabar, pero también entendí en ese justo momento de dificultad, que la ayuda idónea llega cuando tú la solicitas, en ese momento la ayuda idónea, siempre llega justo a tiempo, Janeth García Mendoza, tu apoyo ha sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos. Este proyecto no fue fácil pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tu alcance lo permitía, te lo agradezco mucho amor.

La vida es hermosa, y una de las principales características de esta hermosura es que la podemos compartir y disfrutar con quienes amamos, podemos ayudar y guiar a muchas personas si ellos lo permiten, pero también podemos ser ayudados y guiados durante nuestra vida, con cariño para Cristina, Ana e Ing. Érica.

Ojala pudiera volver el tiempo, no para rectificar algo mal hecho, sino para abrazar a alguien que ya no está. En especial a mis abuelos Francisco de los Santos y Coronelía Mendoza, este logro se los dedico con mucho cariño.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVO GENERAL	3
2.1	Objetivo específico.....	3
III.	HIPÓTESIS	3
IV.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1	Labranza	4
4.1.1	Labranza primaria	4
4.1.2	Labranza vertical.....	5
4.1.3	Implementos para labranza vertical	5
4.2	Resistencia a la falla del suelo.....	6
4.3	Agricultura de precisión	6
4.4	Manejo de sitio específico	7
4.4.1	Mapas de rendimiento	8
4.4.2	Mapa de prescripción	9
4.4.3	Variabilidad temporal.....	9
4.5	Sistema de información geográfica	9
4.6	Sistemas de posicionamiento global (GPS).....	9
4.7	Controlador FmX	10
4.8	Señales de corrección	11
4.8.1	CenterPoint RTK.....	12
4.9	Sensores	12
4.9.1	Sensor de profundidad de trabajo.....	12
4.10	SIG (Field Level) a nivel de campo	13

4.11	Sistemas de control en la agricultura de precisión	13
V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1	Acondicionamiento de equipo.....	15
5.1.2	Evaluación y calibración de sensor sonar.....	15
5.1.3	Verificación de la señal del sensor de distancia bajo condiciones de campo	16
5.2	Levantamiento topográfico.....	20
5.2.2	Interfaz FmX.....	22
5.2.3	Sistema de corrección RTK	22
5.2.4	Generación de mapas de prescripción de corte y relleno.....	22
5.3	Respuesta del sistema de labranza vertical.....	23
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
6.1	Calibración del sensor de distancia (sonar).....	24
6.2	Levantamiento topográfico.....	30
6.3	Resultados en pruebas estáticas con la electro válvula hidráulica solenoide bidireccional marca Vickers en diseño Survey.	32
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
VIII.	REFERENCIA	35
IX.	Anexo.....	39
A.1	Agregar aplicaciones a la pantalla FmX.....	39
ANEXO B	44
B.1	Levantamiento topográfico	44
B.2	Extracción de archivos de pantalla FMX.....	47
C.1	Trabajo En Campo para prescripción de laboreo variable.....	47
E.1	Manual de conexión de arnés.....	50

G.1 Circuito rectificador de señal.....	62
---	----

Índice de figuras

Figura 4. 1 Tecnologías y prácticas asociadas al manejo sitio específico.	8
Figura 4. 2 Funciones de la pantalla de FMX. (AGROLASER NIVEL S.L., 2014).....	11
Figura 5. 1 Diagrama de actividades.....	14
Figura 5. 2 Modelo del arado de labranza vertical articulado.....	17
Figura 5. 3 A) Válvula Vickers.....	18
Figura 5. 4 Diagrama de conexiones de la interfaz FmX	19
Figura 5. 5 a) pantalla FmX, b) Sensor de distancia (MaxBotix® Inc, LV-MaxSonar-EZ1, USA), c) Antena de radio RTK (Trimble, USA), d) antena de recepción satelital (Trimble AG25 GNSS, USA) y e) actuadores hidráulicos.	19
Figura 5. 7 Diagrama del proceso para el levantamiento topográfico	21
Figura 5. 8 Ubicación base de RTK y sitio de prueba	22
Figura 6. 1 Modulo de sonar LV-MaxSonar-EZ1, A) sensor 1, B) sensor 2, C) sensor3	24
Figura 6. 2 A) DaqBook 2K, B) Computadora de tipo escritorio marca Dell.	24
Figura 6. 4 Sensor de profundidad con arreglos de capacitores (filtro).	25
Figura 6. 5 Grafica de respuesta de calibración de los Sensores.	26
Figura 6. 6 Ecuación de respuesta del Sensor 1 de distancia.	27
Figura 6. 7 Ecuación de respuesta del Sensor 2 de distancia.	28
Figura 6. 8 Ecuación de respuesta del Sensor 3 de distancia.	29
Figura 6. 9 Levantamiento topográfico.....	30
Figura 6. 10 Mapa de prescripción en diseño Survey para corte y relleno.	31
Figura 6. 11 Generación de mapas, A) Mapa de altura, B) Mapa de cortes/rellenos	31

Figura 6. 12 Gráfica de datos en áreas de corte. Empleando la electroválvula hidráulica solenoide bidireccional (vickers).	32
Figura 6. 13 Gráfica de datos en áreas de relleno. Empleando la electroválvula hidráulica solenoide bidireccional (vickers)	33
Figura A. 1 Pantalla de inicio.....	39
Figura A. 2 Pantalla de configuración	39
Figura A. 3 Pantalla de configuración	40
Figura A. 4 Pantalla de configuración del sistema.....	40
Figura A. 5 Pantalla introducción de contraseña (2009).....	41
Figura A. 6 Agregar complementos	41
Figura A. 7 Agregar complementos.....	42
Figura B. 1 Configuración del Survey	44
Figura B. 2 Definir punto maestro	45
Figura B. 3 Selección del límite.....	46
Figura B. 4 Selección de interior	46
Figura B. 5 Archivo de datos en pantalla principal.....	47
Figura C. 1 Configuración de Field Level II.	48
Figura C. 2 Insertar valor de la altura de la antena receptora.	49
Figura C. 3 Fijar el MBP	49
Figura E. 1 Componente de la pantalla FmX.	50
Figura E. 2 Vista trasera de la pantalla FmX.....	51
Figura E. 3 5) Puerto de alimentación, 6) Conector GPS primario, 8) Conector de antena RTK, 9) Conector de comunicación CAN (B).	54
Figura E. 4 6) GPS, 8) Antena RTK.....	54

Figura E. 5	5) Cable de alimentación a 12 V (R1PWR-P1BATT).....	55
Figura E. 6	11) Cable swich (alimentación al voltaje al tractor), 12) Conexión al módulo en la entrada 2	55
Figura E. 7	Modulo, 13) entrada canal 1(84263_150), conexión con el circuito, 12) entrada canal 2(S1CANVM), conexión con la pantalla FmX.....	56
Figura E. 8	Cable de conexión del circuito con el modulo, entrada 1 (58947_200-84263_150).	56
Figura E. 9	14) Cable de conexión del Circuito rectificador de señal con el modulo, entrada 1 (58947_200-84263_150), 16) Conexión del circuito con el modulo (1b).	57
Figura E. 10	15) Cable de conexión de válvula Vickers, 16) Conexión del circuito con el modulo.....	57
Figura E. 11	Fuente de alimentación del circuito de 12 V.	58
Figura E. 12	Conexión de la fuente, con la fuente de alimentación del tractor a 12 V. .	58
Figura E. 13	Fuente de alimentación del tractor a 12 V.	59
Figura E. 14	Conexión del cable del circuito con la válvula Vickers del implemento...	59
Figura E. 15	Cables de señal de movimiento del arado, 17) Amarrillo para bajar el implemento, 18) Verde para subir el implemento.....	60
Figura E. 16	19) cable de señal de corte y relleno, A) cable de alimentación de la fuente de alimentación de tractor a 12 V.	60
Figura E. 17	Conexión del sistema hidráulico.....	61
Figura E. 18	Ajuste del implemento arado articulado para elaborar en campo.....	61

Índice de cuadro

Cuadro 5. 1	Elementos del prototipo de labranza vertical articulado.....	17
Cuadro 5. 2	Elementos necesarios para trabajar el módulo VM-430 conVM-420.....	18

Cuadro E. 1 Componente de la pantalla FmX.....	51
Cuadro E. 2 Descripción de los componentes de la pantalla FmX.....	52
Cuadro E. 3 Descripción de los componentes en serie.....	53

Índice de tabla

Tabla 6. 1 Resistencia de capacitores.....	25
Tabla 6. 2 Entrada de voltaje al sensor.....	25
Tabla 6. 3 Proporción entre valores de distancia y voltaje para la obtención de la constante calibración.....	27

Resumen

La investigación se basó en la aplicación de laboreo de suelo generando mapa de prescripción de altura en corte y relleno, utilizando un sistema de labranza vertical automatizada, con una electroválvula hidráulica solenoide bidireccional (vickers) en el sistema de Survey incluida en la interfaz FmX. Para determinar los tiempos y distancias de respuesta del sistema se utilizó un sonar para monitoreo de cambios en las profundidades y para generar las ecuaciones de calibración del sonar se empleó un análisis de regresión lineal en el software Minitab. Se realizaron pruebas estáticas de la respuesta del sistema al cambio de alturas que proporcionó el mapa de prescripción de cortes y rellenos. La válvula hidráulica solenoide bidireccional (vickers), seleccionada para esta evaluación, en la profundidad de laboreo de 0.0 a 0.10 m, en la prueba de relleno existen errores para alcanzar la distancia objetiva, lo cual indica un mayor profundidad de laboreo, generado oscilación, causando inestabilidad y variable independiente en las pruebas. Para el caso de corte presenta en algunos de los resultados profundidades menores que la profundidad objetivo y generando más de un escalón para la estabilidad en las pruebas.

Palabra clave: *agricultura de precisión, mapa de prescripción labranza vertical automatizada.*

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos, combustible y recursos energéticos continúan aumentando en todo el mundo, los logros en rendimientos de cultivos no son suficiente en comparación con el alto costo de la energía aplicada a la producción de cultivos, por lo tanto, es necesario optimizar los recursos utilizadas en actividades que requieren mayores costos en la producción agrícola, como la labranza de suelo, que se considera una de las operaciones agrícola más costosos (Reynolds *et al.*, 2015). La sostenibilidad global se entiende cada vez más como un requisito previo para alcanzar el desarrollo humano en todas las escalas, desde las comunidades agrícolas locales hasta las ciudades, las naciones y el mundo, la razón es que hemos ingresado a una nueva época en donde las presiones humanas están causando un aumento en los riesgos ambientales globales y, por primera vez, constituyen el principal impulsor del cambio planetario. La agricultura es el corazón de este desafío, es el principal impulsor mundial del cambio ambiental, la agricultura es la clave para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) de erradicar el hambre y asegurar alimentos para una población mundial en crecimiento de 9 a 10 mil millones para 2050, lo que puede requerir un aumento en la producción mundial de alimentos de entre 60 y 110%, en un mundo de riesgos medioambientales globales crecientes (Oldeman *et al.*, 2017).

Los altos costos de preparación 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; para las labores de establecimiento de cultivos, actualmente se requiere un gran consumo de energía, 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 (Pimentel, 2008).

La agricultura de precisión es una disciplina que incorpora tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia de los insumos agrícolas de una manera rentable y ambientalmente sensata, el monitoreo de rendimiento y la aplicación de tasa variable son las tecnologías de precisión más utilizadas, también se están desarrollando sistemas de

orientación versátiles que utilizan el sistema de posicionamiento global (GPS) y los enfoques de zonas de gestión para aumentar aún más la productividad al reducir el error, el costo y el tiempo, estas tecnologías proporcionan herramientas para cuantificar y gestionar la variabilidad existente en los campos de una serie de sistemas de cultivo. (Koch y Khosla, 2008). La optimación en el uso de insumos y rendimientos en el manejo de las producciones agrícola es una tendencia global en la agricultura de precisión, en el manejo de zona se define como una parte de un campo que expresa una combinación homogénea de los factores que limitan el rendimiento para los cuales un porcentaje único de un insumo para cultivo específico es apropiado (Doerger, 1998).

La mayoría de los sistemas experimentales de agricultura de precisión son los sistemas basados en mapas, debido a que la mayoría de los sensores de movimiento sobre la marcha (ON THE GO) en el campo, suelo y variabilidad son demasiados caros, no son suficiente precisos no están disponible o no son compatibles con la tecnología ya desarrollada en forma comercial (Trimble, 2018a).

La labranza reducida no solo ahorra tiempo y energía, sino que también reduce el costo del cultivo, mejora el ambiente del suelo para un mejor rendimiento de los cultivos y aumenta la disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas (Shrivastava y Satyendra, 2011). La labranza vertical podría ser una buena alternativa como sistema de conservación, incluso cuando pueda dar lugar a una pequeña reducción del rendimiento de la cosecha (Cavalari y Gemtos, 2002). La fuerza de tiro requerida para los implementos y la calidad del trabajo depende de la resistencia específica del suelo, la profundidad de trabajo, la densidad del suelo y la humedad en el momento de la operación; el espaciado entre los cindeles en combinación con el trabajo de profundidad crítica podría dar lugar a diferentes requisitos de fuerza, incluso para la misma condición del suelo (Arvidsson *et al.*, 2004; Raper y Bergtold, 2007; Manuwa, 2009).

(Cuervo, 2014) evaluó un sistema de control inteligente de profundidad aplicado a la labranza vertical, el sistema de control ha sido capaz de aplicar el laboreo profundo de forma variable inteligente.

El propósito de esta investigación fue validar una metodología para la aplicación de labranza variable, a partir del uso de controlador FmX, Survey y Field Level II, utilizando un prototipo de arado articulado, una válvula electrohidráulico proporcional y actuador hidráulico, los cuales permiten el control variable de la profundidad del implemento en base al diseño de una mapa de cortes y relleno generado a partir de un diagnóstico.

II. OBJETIVO GENERAL

Validar la calidad de la respuesta de un sistema de labranza vertical automatizada para agricultura de precisión.

2.1 Objetivo específico

- validar la respuesta de una electroválvula hidráulica, en términos de la profundidad deseada de laboreo para labranza vertical automatizada.

III. HIPÓTESIS

Mediante el uso de mapas de prescripción, pantalla FmX, es posible verificar los cambios en las profundidades de laboreo variable en suelos agrícolas.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Labranza

La práctica de labranza proporciona y mantiene el suelo en condiciones óptimas para la germinación del cultivo e influye en el desarrollo de las plantas. Existen diferentes sistemas de labranza, entre los cuales se pueden mencionar la tradicional o convencional, la labranza de conservación, dentro de la cual se incluyen la labranza reducida, la vertical y la labranza cero, y por el principio de corte utilizado se puede considerar también a la labranza con corte horizontal sin inversión del prisma (Cañizares ,2017).

La labranza consiste comúnmente en la inversión y mullimiento de la capa superficial del suelo (15-30 cm) a través de araduras y rastrajes que, cuando se operan con una humedad adecuada del suelo resultan en una disgregación y mullimiento mejorando las propiedades mecánicas para su posterior intervención (Acevedo,2003)

Los principales objetivos de la labranza en el suelo consisten en romper las capas duras del suelo, invertir el nivel superior para tener un mayor abastecimiento de oxígeno, para un mejor desarrollo tanto de microorganismos como raíces de las plantas, logrando así una mayor facilidad de infiltración del agua (FAO, 2000).

4.1.1 Labranza primaria

La labranza primaria tiene por objeto cortar, romper y voltear las capas del suelo para incorporar toda la materia vegetal que existe sobre el suelo, pero también se puede agregar simultáneamente fertilizantes que se necesitan en el suelo para la nutrición de los cultivos. Este tipo de labranza se realiza por lo general entre los 15 y 20 centímetros de profundidad pero puede incluso llegar hasta los 50 centímetros o más (Romero, 2002).

La labranza primaria adquiere importancia en la preparación del suelo debido a que la remoción es alta y que esta labor afecta en gran medida sus propiedades físicas, y directa e indirectamente las propiedades químicas y biológicas, que favorece la producción de los cultivos y mantiene la calidad física del suelo. Sin embargo, el uso inadecuado de los implementos de labranza provoca la erosión y degradación física del suelo (Velázquez, 2011).

La búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implementación de la labranza de conservación, 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 (Velázquez, 2011).

4.1.2 Labranza vertical

La labranza vertical es un sistema de labranza conservacionista que consiste en preparar la tierra con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación si la comparamos con la labranza convencional. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de la cosecha anterior de más de 30% sobre la superficie (Velásquez, 2011). Los implementos que más se utilizan para este sistema son el arado de cincel, la cultivadora de campo y el vibro-cultivador (FAO, 2000). El suelo entra en contacto con el implemento solo en las líneas donde van acopladas las estructuras verticales (patas), las cuales producen la ruptura angular (45°) del suelo hacia la superficie (Amézquita, 2013).

4.1.3 Implementos para labranza vertical

Los implementos para labranza vertical tipo cincel, demandan una menor cantidad de energía que los sistemas de labranza convencional (Hoogmoed, 1999); (Camacho y Rodríguez, 2007).

Los factores que inciden para que una herramienta de labranza requiera una menor o mayor fuerza de arrastre son: la humedad en el suelo, el ángulo de inclinación entre la punta de la herramienta y el plano horizontal del suelo, el filo de la punta, el tipo de suelo, la profundidad, la velocidad de trabajo, aditamentos del implemento y la configuración cuando se trata de una combinación de herramientas como en la siembra directa (Godwin y O'Dogherty, 2007).

4.2 Resistencia a la falla del suelo

La compactación en el suelo afecta negativamente tanto en forma directa como indirecta, las propiedades del suelo como la estructura, la dinámica del agua y el aire así como procesos de oxidación-reducción y poblaciones de organismos (Leal *et al*, 2009). La movilización del suelo es causada por cizallamiento, donde las partículas se someten a compresión por tensión, situación en que el suelo se agrieta, y por deformación plástica, situación indeseada ya que el suelo sólo se deforma en la superficie de contacto con la herramienta, lo cual puede conllevar a la compactación, (Aluko y Seig ,2000)

Para cinceles y subsoladores es importante considerar el ángulo de ataque, ya que para un valor cercano 0,436 rad se presentan bajos valores de fuerza de tracción, así como la menor resistencia específica, para cinceles existe una profundidad de trabajo crítica, en la cual no existe remoción lateral de suelo, y que ésta depende del ancho del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo. Para trabajar en profundidades mayores a la crítica, es recomendable el uso de aletas laterales en la punta del cincel, lo cual reduce también la resistencia específica y favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo (Camacho *et al.*, 2007).

4.3 Agricultura de precisión

La Agricultura de precisión (AP) es una técnica para aumentar la productividad, se basa en aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto, es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote, la agricultura de precisión (AP) involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo, las tecnologías de la agricultura de precisión permiten satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna: el manejo óptimo de grandes extensiones. Se presenta como principal ventaja que el análisis de resultados de los ensayos se puede realizar por sectores diferentes dentro de un mismo lote, y de esta manera ajustar el manejo diferencial dentro de los mismos (García, 2008).

La agricultura de precisión suele dividir este conjunto de tecnologías en tres grandes etapas (Ortega, 1999):

- Recolección de datos.
- Análisis, procesamiento e interpretación de la información
- Aplicación diferencial de insumos.

4.4 Manejo de sitio específico

El manejo por sitio específico busca identificar y cuantificar la variabilidad espacial presente en la finca, para determinar el impacto de esta variabilidad en el rendimiento, que permite manejarla de modo que se incrementen los rendimientos, se mejore la rentabilidad y reduzca el potencial impacto ambiental de la actividad (Ortega,1999).

Las tecnologías de precisión incluyen sistemas de posicionamiento global diferencial (DGPS), monitores de rendimiento, sistemas de información geográfica (SIG o GIS), software de computación, y tecnología de dosis variable (VRT), (Roberts, 2000).

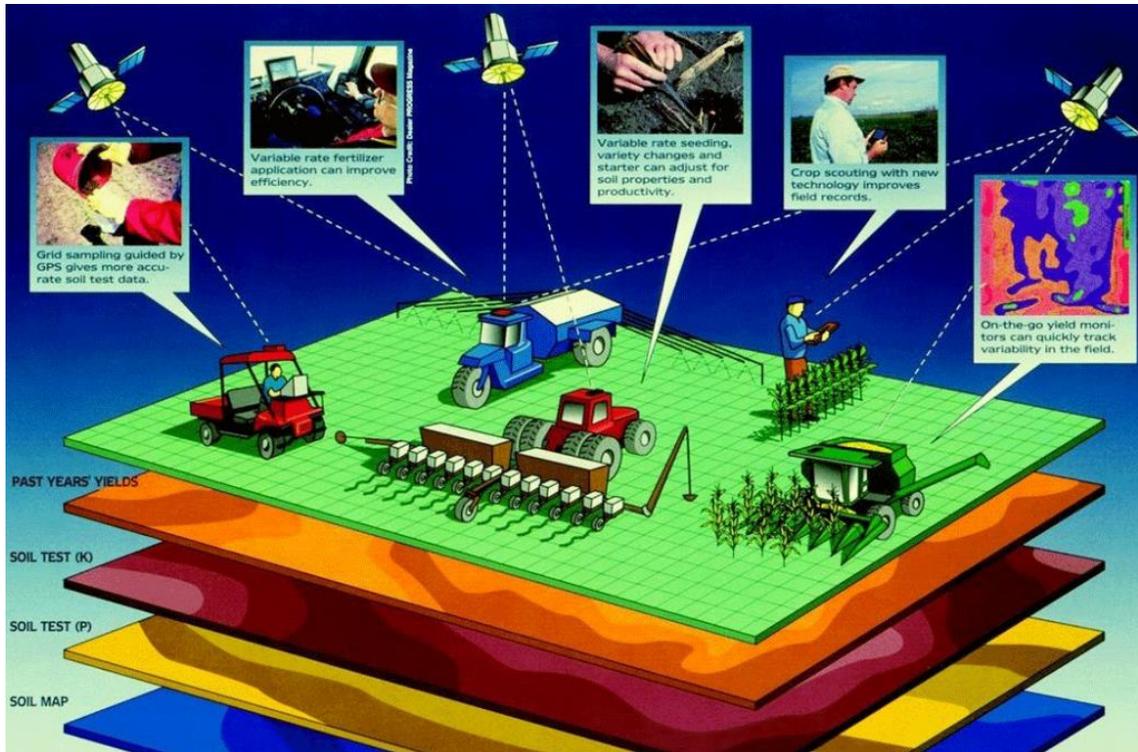


Figura 4. 1 Tecnologías y prácticas asociadas al manejo sitio específico.

Un manejo de sitio específico se pueden implementar dividiendo un campo en zonas más pequeñas que tiene una combinación homogénea de factores limitantes del rendimiento para los que se requiere de una dosis de un insumo agrícola en específico (Doerge, 1998). El número de los diferentes sitios dentro de un mismo campo está en función de la variabilidad natural del campo, la extensión del terreno y ciertos factores de manejo. El tamaño mínimo de un sitio está limitado por la habilidad del agricultor para diferenciar regiones dentro de un campo. Si se utiliza un GPS para controlar la aplicación o para guiar el implemento, entonces no hay razón para restringir la forma del sitio, (Kvien y Pocknee, 2000).

4.4.1 Mapas de rendimiento

El Mapa de Rendimiento produce información detallada de la productividad del campo y brinda parámetros para diagnosticar y corregir los problemas de bajo rendimiento en el áreas del campo o estudiar las causas por las cuales el rendimiento es más elevado

en algunas zonas del terreno. Un monitor de rendimiento es un sistema que recoge la información procedente de distintos sensores y con la ayuda de un software calcula el rendimiento de un cultivo en el tiempo y en el espacio, basándose en la información de localización de cada parcela proporcionada por el sistema GPS (García y Flego, 2005).

4.4.2 Mapa de prescripción

Se obtienen de imágenes aéreas geo-referenciadas del lote, tomadas previamente para reflejar la densidad de malezas real presente en el lote. A partir de estas imágenes y mediante el uso de un software GIS, se puede generar un mapa que nos permita delimitar las zonas afectadas por malezas. Los mapas de rendimiento sirven para evaluar si realmente el factor limitante de la producción (nutriente) fue eliminado o si además existen otros factores que impiden la respuesta aplicada. (Martínez, 2013).

4.4.3 Variabilidad temporal

La variabilidad temporal es el resultado de comparar un determinado número de mapas del mismo terreno a través de los años. Al interpretar este tipo de variabilidad se obtienen deducciones, pero aun así pueden obtenerse mapas de tendencias que muestren características esenciales (Kreimer, 2003).

4.5 Sistema de información geográfica

Un Sistema de Información Geográfica es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica, el SIG, es un sistema de información capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre. (CanquiLlusc, 2012).

4.6 Sistemas de posicionamiento global (GPS)

El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es un receptor de radio especial el cual recibe información de los satélites para dar la posición actual del objeto con relativa

precisión, esta cuenta de 3 partes las cuales son los satélites, las estaciones terrestres y los receptores. Los satélites son un conjunto de 24 vehículos espaciales los cuales reciben y envían señales de radio de 50 bits por segundo, la frecuencia portadora es enviada a 1227.6 MHz. Las estaciones terrestres se encargan de controlar los satélites orbitando y corregir cualquier posible falla, se cuenta con una con una estación principal, 12 estaciones de mando y control y 16 de seguimiento. (Rincón *et al.*, 2018).

El error de un GPS ronda los 6 metros, hay sistemas de correcciones diferenciales (Segmento de Control o Subsistema de Control) que ayudan a que éste error sea disminuido a un nivel centimétrico. Esta corrección diferencial puede obtenerse de antenas satélites geoestacionarias o sistemas de corrección internos que tienen incorporado los receptores. Con un elevado número de satélites siendo captados (7, 8 ó 9 satélites), y si éstos tienen una geometría adecuada (dispersión), pueden obtenerse precisiones inferiores a 2,5 metros en el 95% del tiempo (Rincón *et al.*, 2018).

4.7 Controlador FmX

Permite realizar una amplia gama de operaciones de agricultura de precisión. Ofrece el mejor rendimiento y control al contar con un sistema de doble recepción GPS/GNSS, además ayudan a monitorizar y elaborar mapas de la información del campo en tiempo real. El software se ejecuta en una pantalla táctil LCD en color de 30 cm (12 pulgadas). Es compatible con el sistema de dirección automática (Autopilot). La pantalla integrada FmX, la misma precisión puede ser controlada con una interfaz táctil y proporcionar una dirección confiable, precisa y fácil (Trimble, 2018b).



Figura 4. 2 Funciones de la pantalla de FMX. (AGROLASER NIVEL S.L., 2014).

4.8 Señales de corrección

Se denomina RTK a la tecnología que provee a un sistema de dos GPS la habilidad de determinar distancias a los satélites midiendo la fase (frecuencia) de la señal portadora y lograr así una solución a la dispersión de la posición del GPS fijo (Base), y simultáneamente transmitir en tiempo real esta solución al GPS móvil (Vehículo) para que éste genere coordenadas al centímetro (Trimble, 2018c).

La señal RTK se obtiene de una antena Base o red de antenas con coordenadas conocidas, las cuales envían la señal corregida al receptor del vehículo a través de sistemas de radio. De esta manera el receptor del móvil recibe la señal satelital y la de las antenas RTK otorgándole de esta manera una precisión centimétrica (2,5 cm). Estas redes de bases actualmente pueden estar fijas abarcando un radio de cobertura captado por los receptores abonados a esa base, o bien pueden ser móviles, las cuales se montan en los lugares donde se realiza la labor que necesita corrección. A medida que el vehículo se aleja de la red de cobertura de la base, la precisión disminuye (Trimble, 2018d).

4.8.1 CenterPoint RTK

Precisión: Menor a 2.5 cm.

Inicialización/convergencia: Menor a 1 min.

Center point RTK es más adecuado para (Cuervo, 2014):

1. Establecimientos agrícolas a 12.5 km de una estación base RTK o red de estaciones base.
2. Establecimientos agrícolas sin obstrucción de la visual, tales como terrenos empinados o una abundancia de árboles.
3. Usar con cultivos en surco, labranza localizada, nivelación de terrenos y aplicaciones de drenaje que requieren de la mejor precisión horizontal y vertical posible.

4.9 Sensores

Los sensores son dispositivos utilizados para la medición de un estado, una condición (temperatura, humedad del aire, masa), flujo (de agua, aire, granos). Generan y envían tensión eléctrica al procesador. Están constituidos de (Silva y Borges, 1998):

- Suministro de energía
- Elemento sensor
- Emisor de señal
- (eventualmente) condicionamiento de señal.

4.9.1 Sensor de profundidad de trabajo

Son utilizados sensores de posición, normalmente constituidos de reglas electro-ópticas. También se usan sensores basados en ultrasonido. Este mismo tipo de sensor es utilizado para la determinación de la altura de corte de los cabezales de cosechadoras de cereales y forraje (Silva y Borges, 1998).

4.14.1 Sensores ultrasónicos

El sensor emite impulsos ultrasónicos, estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y de diferentes materiales. Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo han de ser deflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco, el sensor ultrasónico LV-MaxSonar-EZ1 es un buen compromiso entre la sensibilidad y el rechazo de objetos secundarios. El sensor tiene integrado el receptor y transmisor en una sola capsula. Puede detectar distancias desde 15cm a 6m. Ofrece señales de salida: análoga, digital por pulsos y de comunicación serial TTL (Vilas, 2014).

4.10 SIG (Field Level) a nivel de campo

El sistema Field Level de Trimble, automatiza el proceso de mapeo y nivelación de campos, reduciendo el movimiento innecesario de tierra y la pérdida de suelo fértil. Con un alcance 10 veces mayor que las alternativas basadas en láser, y sin limitaciones de elevación, Field Level permite reducir notablemente el tiempo necesario para las tareas de nivelación del terreno, además de permitir el trabajo con superficies no planas (Mendoza, 2014).

4.11 Sistemas de control en la agricultura de precisión

Los sistemas de control han asumido un papel cada vez más importante en el desarrollo y avance de la civilización moderna y la tecnología, los sistemas de control se encuentran en gran cantidad en todos los sectores de la industria, Navarro (2004):

- Control de calidad de los productos manufacturados, Líneas de ensamble automático.
- Control de máquinas-herramienta, Agricultura de precisión, Control de posición en el sistema hidráulico de tractores, Tecnología espacial y sistemas de armas.
- Control por computadora, Sistemas de transporte, Sistemas de potencia, Robótica y muchos otros.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades realizadas en este trabajo de investigación se muestran en la Figura 5 .1.

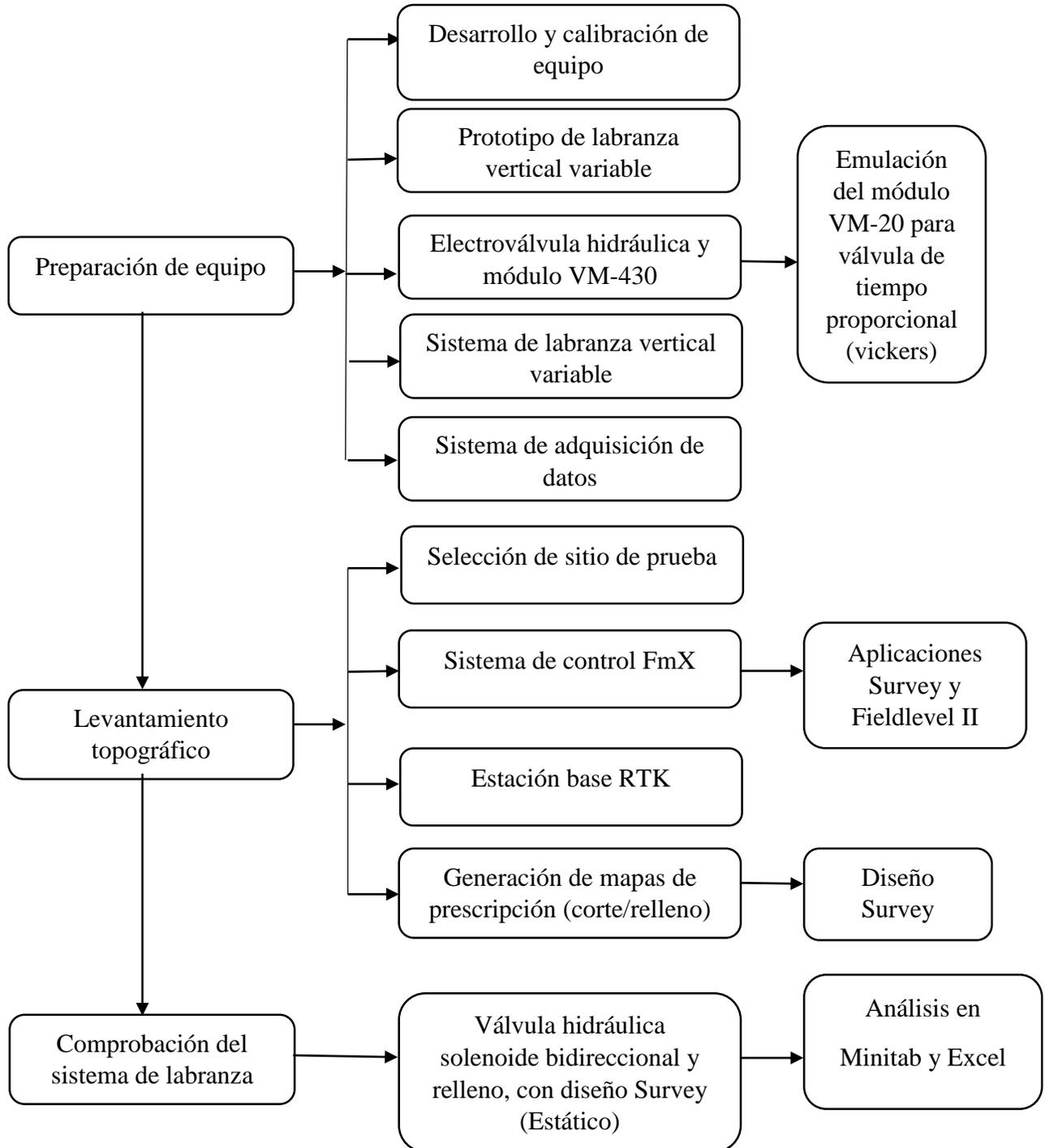


Figura 5. 1 Diagrama de actividades.

5.1 Acondicionamiento de equipo

5.1.1 calibración de equipo

Para la aplicación de laboreo variable es necesario contar con los siguientes equipos:

- Arado articulado
- Sistema de adquisición de datos DaqBook
- Sensor de distancia (MaxBotix® Inc, LV-MaxSonar-EZ1, USA), dos amplificadores de instrumentación en serie AD620AN (Analog Devices Inc, USA) y un filtro pasa bajo Resistivo-Capacitivo (RC).
- Pantalla FmX
- Antena de radio RTK (Trimble, USA)
- Antena de recepción satelital (Trimble AG25 GNSS, USA)
- Actuador hidráulico

5.1.2 Evaluación y calibración de sensor sonar

Para la adquisición de la altura real a la que se desplaza el marco móvil respecto de la parte fijo del implemento fue necesario un sensor de medición, lo cual se utilizó el sensor del modelo LV-MaxSonar-EZ1. Para obtener la constante de calibración (cm por voltios) del sensor se emplearon: el convertidor analógico digital DaqBook 2k y una computadora.

La frecuencia de muestreo establecida en el DaqBook fue de 20 Hz, en prueba de 10 minutos con cambios de desplazamiento de 0.40, 0.55 y 0.70 m, a intervalos de un minuto. Se graficaron los datos obtenidos en el software Excel, se tomó como referencia los puntos medios de cada escalón de la gráfica generada. Una vez obtenidos los puntos medios de cada escalón fueron llevados al programa estadístico Minitab versión 2017, con el método regresión lineal para la determinación de la constante de calibración.

5.1.3 Verificación de la señal del sensor de distancia bajo condiciones de campo

Las pruebas de la señal del sensor se realizó con 5 repeticiones en las áreas de corte, relleno y neutro, en la parcela a tres distintas profundidades 0.20, 0.30 y 0.40 m. Una vez terminado las repeticiones, se procedió al análisis de los datos recolectados por el sensor. Se llevaron los datos al programa Excel y se obtuvo la altura real a la que se desplaza la parte móvil respecto a la parte fija del implemento. Se llevan los datos de la gráfica a valor cero, para comparar la tendencia de cada módulo, una vez que este a cero, se multiplica la lectura por la constante de calibración del sensor y con ello permite observar la altura real a la que se desplazó la parte articulada. Para el análisis de los datos se tomó una lectura por cada escalón de la gráfica, cada lectura por escalón en Voltios (V) corresponde a la distancia. Los Voltios (V) son proporcionales a la altura real a la que se desplazó el equipo.

5.1.4 Evaluación estática

El desarrollo de esta evaluación se utilizó el arado articulado con el tractor encendido a 1400 rpm como fuente de poder, pero sin movimiento. Se conectó el puerto de comunicación entre el controlador de FmX y la válvula hidráulica solenoide bidireccional Vickers con configuración de VM430 a VM420. Se nivelaron las dos barras de porta implemento frontal (fijo) y trasera (móvil) a una altura de nivel del suelo de 62 cm. Se ajustó el sensor sonar en el marco móvil, permitiendo registrar los cambios de altura en tiempo real.

5.1.5 Prototipo de labranza vertical variable

En la investigación se utilizó un prototipo de labranza vertical variable (arado de cinceles) como se muestra en la Figura 5.2, cuyos elementos lo integran:

1. Dos barras porta cinceles
 - parte frontal
 - parte trasera
2. Válvula hidráulica solenoide bidireccional

3. Dos actuadores hidráulicos

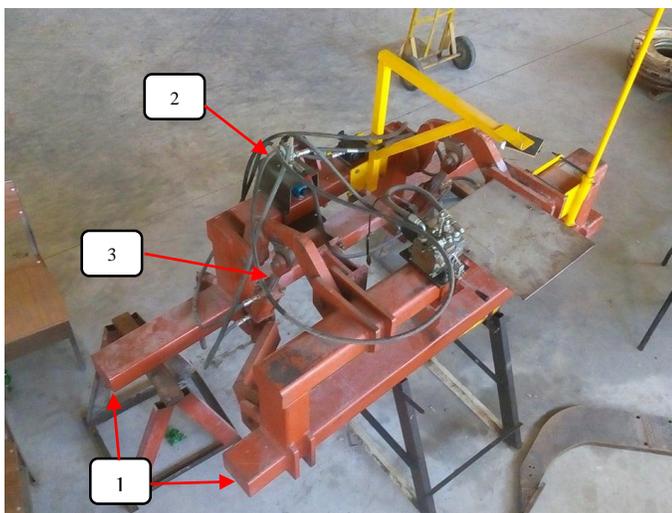


Figura 5. 2 Modelo del arado de labranza vertical articulado

Cuadro 5. 1 Elementos del prototipo de labranza vertical articulado

<i>Elemento</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Especificaciones</i>
1	Bastidor paralelogramo	4	
2	Válvula solenoide Vickers	1	Presión Max. Para P, A & B 350 bar [5075 psi]. Y para T 210 bar [3045 psi] (Vickers®, USA). DG4V38C14UH PN507848
3	Actuadores hidráulicos	2	Diámetro del cilindro 34.87176. Máximo desplazamiento del vástago 0.19cm. Mínimo desplazamiento del vástago 0.06m.

5.1.6 Electroválvulas hidráulicas y módulo VM-430

Para el accionamiento de la parte articulada del prototipo se utilizó una electroválvula hidráulica solenoide bidireccional marca Vickers con configuración de emulación VM-420.



Figura 5. 3 A) Válvula Vickers.

El módulo VM-430(Marca Trimble, USA) tiene tres configuraciones de trabajo, para esta investigación se utilizaron los arneses para trabajar como el módulo VM-420.

Cuadro 5. 2 Elementos necesarios para trabajar el módulo VM-430 conVM-420

Emulación VM430-420
1. Pantalla integrada FmX a CAN con replicador de puertos, con número de serie (75407)
2. Visualización de CAN Field Manager (85482)
3. Terminador CAN (59783)
6. Cable GCS400 Dual PT Valve Quick Disc Tra (84263-150)
7. Disco rápido de la válvula GCS300 SGL PT del cable (58947-200)

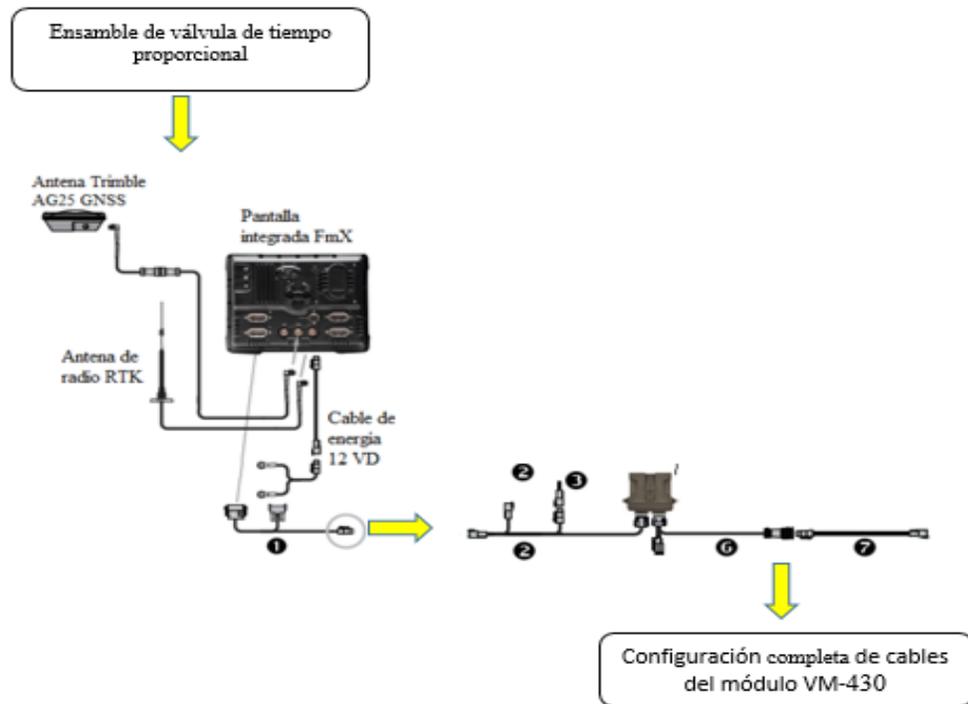


Figura 5. 4 Diagrama de conexiones de la interfaz FmX

5.1.7 Elementos que integran el sistema de labranza vertical variable

En la Figura 5.5, se muestran los elementos que integran el sistema de labranza vertical variable.

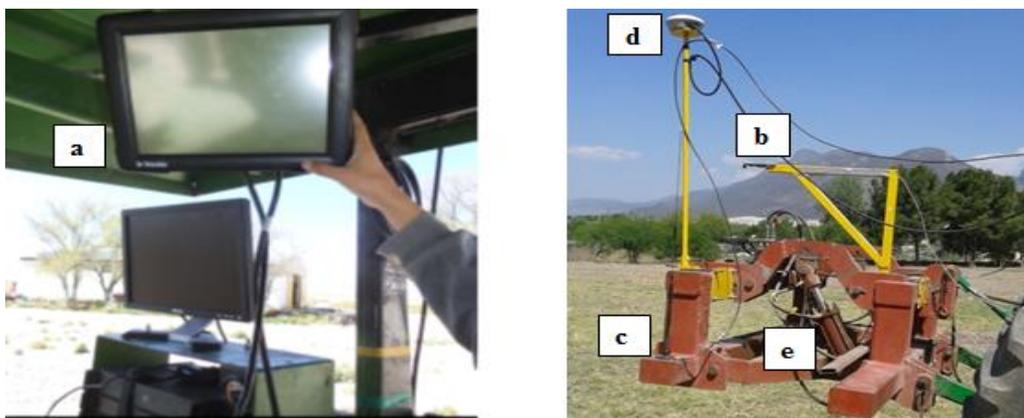


Figura 5. 5 a) pantalla FmX, b) Sensor de distancia (MaxBotix® Inc, LV-MaxSonar-EZ1, USA), c) Antena de radio RTK (Trimble, USA), d) antena de recepción satelital (Trimble AG25 GNSS, USA) y e) actuadores hidráulicos.

5.1.8 Sistema de adquisición de datos

En posición del sistema de labranza vertical variable en campo se utilizó el sistema de corrección satelital RTK (Trimble, USA) y para verificación de magnitud de desplazamiento vertical entre el marco fijo y el marco trasero del prototipo de labranza vertical articulado, se utilizó el sensor para medición de profundidad desarrollado por (Campos *et. al.*, 2015), la cual fue seleccionado para mediciones en un rango de 0.03 a 0.600 m y está integrado por un sensor de distancia (MaxBotix® Inc, LV-MaxSonar-EZ1, USA) y un filtro pasa bajo Resistivo-Capacitivo (RC). Esta combinación de circuitos integrados acondicionan las señales para un porcentaje menor al 2% de ruido eléctrico, al realizar el registro de datos en el sistema de adquisición DaqBook 2K (IOTech Company, USA).

5.2 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó utilizando la aplicación Survey incluida en la interfaz FmX del sistema de control automático, configurando la altura (distancia del suelo-receptor GPS) de la antena receptora. La figura 5.7 muestra el diagrama general del proceso para el levantamiento topográfico, la metodología detallada se encuentra en el anexo B.1. En el levantamiento topográfico se utilizó la pantalla FmX (Trimble, USA), prototipo de labranza vertical, una antena de recepción satelital (Trimble AG25 GNSS, USA). Una estación base RTK para corrección de la señal de posición con precisión menor a 2.54 cm, integrado por un receptor AgGPS (542, USA), una antena de recepción satelital (ZEPHYR GEODETIC Model 2, USA), dos antenas de radio (Trimble, USA) con rango de frecuencia de 450 a 470 MHz.

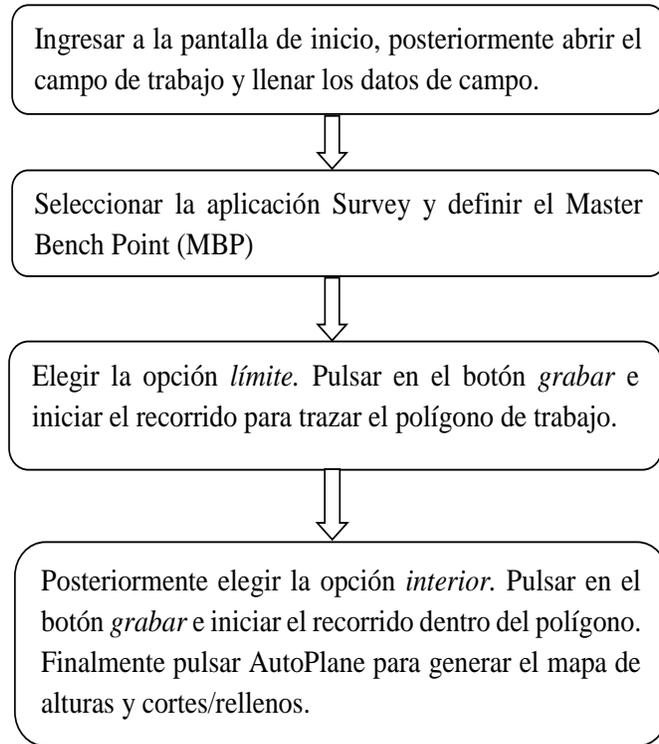


Figura 5. 6 Diagrama del proceso para el levantamiento topográfico

5.2.1 Sitios de prueba

El proyecto fue realizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila México. Localizada en las coordenadas geográfica $101^{\circ} 1' 52.83''$ de longitud Oeste, $25^{\circ}21'0.83''$ de latitud norte, a 1788 msnm, con área total de 0.72 ha, en el departamento de Maquinaria Agrícola se ubicó la antena de corrección RTK, en la coordenada geográfica $101^{\circ} 2' 2.63''$ de longitud Oeste, $25^{\circ}21'0.10''$ de latitud norte, a 1789 msnm como se muestra en la figura 5.8.

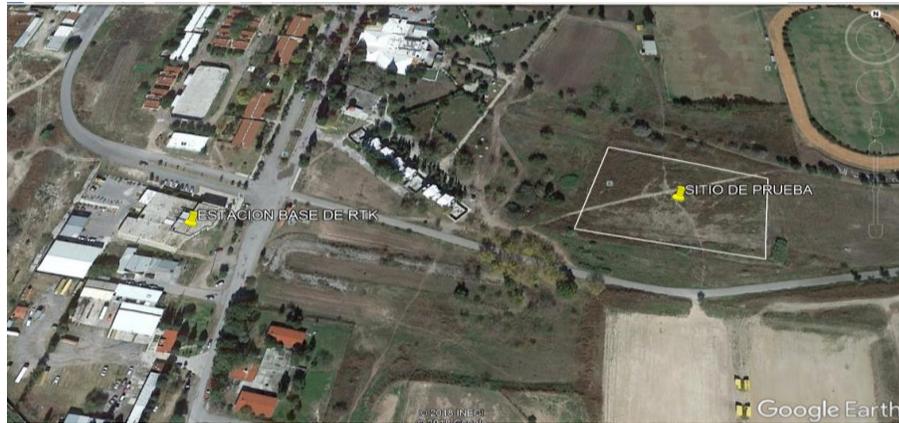


Figura 5. 7 Ubicación base de RTK y sitio de prueba

5.2.2 Interfaz FmX

La interfaz FmX tiene como principal función controlar y registrar información de lote en tiempo real. Sus operaciones para agricultura de precisión contemplan desde registro de datos básico hasta operaciones avanzadas tales como: control de aplicaciones, nivelación y/o drenaje de terrenos y cosecha. Cuenta con las aplicaciones Survey y Field Level II que se utilizan para levantamiento topográfico y nivelación de terrenos respectivamente. Para el uso de las aplicaciones se requiere su activación previa siguiendo la metodología descrita en el anexo A.1.

5.2.3 Sistema de corrección RTK

El sistema de corrección RTK cuenta con un error de posición de 2.5cm y un alcance entre el receptor-estación base de 18km de radio, tiene la capacidad de mandar al receptor mensajes de corrección hasta 5 veces por segundo. Para el buen desempeño del sistema de corrección es necesario configurar el módulo de la estación base, insertando la altura de referencia respecto al suelo. Para realizar la configuración antes mencionada consultar el anexo A.2.

5.2.4 Generación de mapas de prescripción de corte y relleno

La generación de mapa de prescripción se realizó con el método de sistema de control FmX. Se obtuvieron mapas de alturas relativas y para finalizar el mapa de prescripción de cortes/rellenos, generado por el sistema de control FmX. Para el uso de

las aplicaciones se requiere su activación previa siguiendo la metodología descrita en el anexo C.1.

5.3 Respuesta del sistema de labranza vertical

La prueba se realizó bajo condiciones de campo en forma estática, localizando mapas de prescripción generados en el diseño Survey. La prueba se llevó a cabo en alturas de 0.0 a 0.10 m tanto de corte como de relleno. Una vez localizadas las áreas de corte, neutro y relleno, se posiciona el equipo de labranza vertical articulado en dicha zona y se procede al registro de los datos de la variable de desplazamiento vertical (m) empleando el sistema de adquisición de datos DaqBook 2K, con una prueba de 2000 datos, con una respuesta de 20 datos por segundo (Cruz, 2017). Datos suficientes para ver la calidad de respuesta del sistema.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Calibración del sensor de distancia (sonar)

Para la verificación de la respuesta del laboreo variable en tiempo real del mapa de prescripción, durante la prueba en campo se utilizó un sensor de distancia (Figura 6.1) para cual se empleó un módulo de sensor de tipo LV-MaxSonar-EZ1. La calibración bajo condiciones de laboratorio del sensor de profundidad se utilizó 3 módulos sensores, 1 para campo y los otros 2 de respaldo.

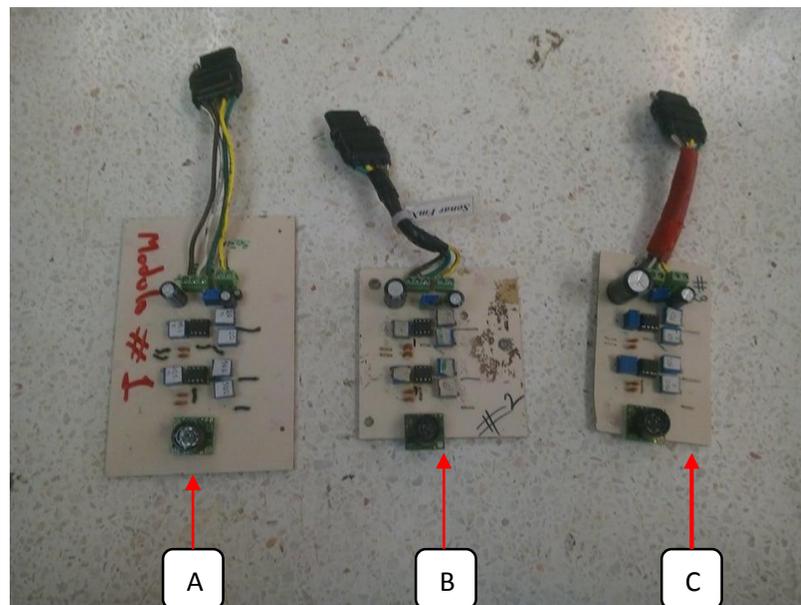


Figura 6. 1 Modulo de sonar LV-MaxSonar-EZ1, A) sensor 1, B) sensor 2, C) sensor3

Para obtener la constante de calibración del sensor se emplearon: DaqBook 2K, y una computadora de tipo escritorio marca Dell.



Figura 6. 2 A) DaqBook 2K, B) Computadora de tipo escritorio marca Dell.

En la figura 6.3, se indica el arreglo de capacitores en cada uno de los sensores, tanto en voltaje de alimentación como en voltaje de salida, con el propósito de disminuir el ruido eléctrico.

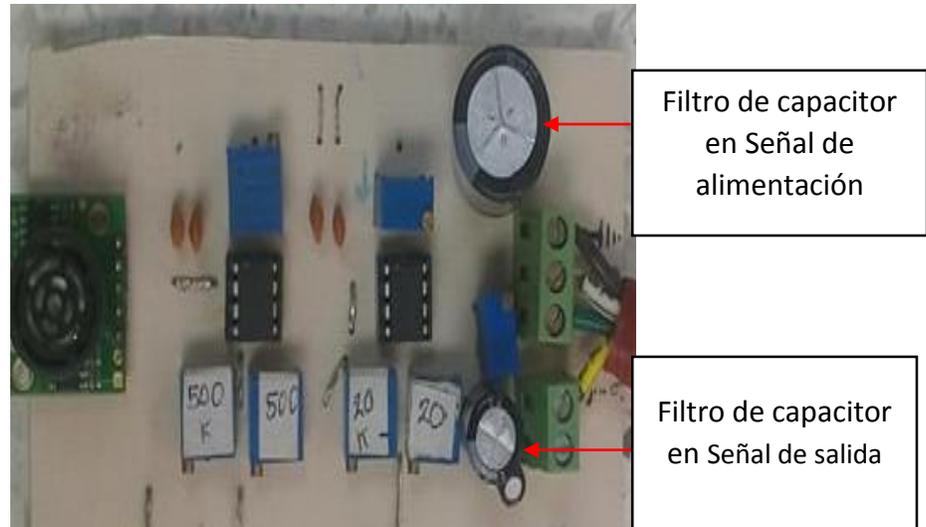


Figura 6. 3 Sensor de profundidad con arreglos de capacitores (filtro).

En la tabla 6.1 se observa la capacidad eléctrica de cada capacitor, para cada arreglo de los módulos de sensores de distancia.

Tabla 6. 1 Resistencia de capacitores.

Sensor	Voltaje de alimentación +5	Voltaje de salida
1	1000 μ f -35V	470 μ f -25V
2	1000 μ f -35V	470 μ f -50V
3	3300 μ f -35V	1000 μ f -35V

Tabla 6. 2 Entrada de voltaje al sensor.

Cable	Voltaje (V)
Amarrillo	Salida
Blanco	Alimentación +5
Café	Tierra

En la figura 6.4 se involucran las tres pruebas de los datos obtenidos en la calibración, bajo condiciones de laboratorio de los 3 sensores de profundidad, analizando el número de datos para las distancias aplicadas vs V (volt). La estructura de la gráfica permite mostrar que el sensor 1, es proporcional en sus desplazamientos y tiene una repetitividad en el dispositivo de medición, también muestra que el sensor 2 tiene la misma reproducibilidad que es sensor 1, con este criterio se podría utilizar el sensor 1 o sensor 2, para prueba en campo. Usando el mismo sistema de medición y bajo las mismas condiciones, el sensor 3, no es viable para prueba en campo por no ser proporcional en su desplazamiento y por no tener repetitividad en el dispositivo de medición.

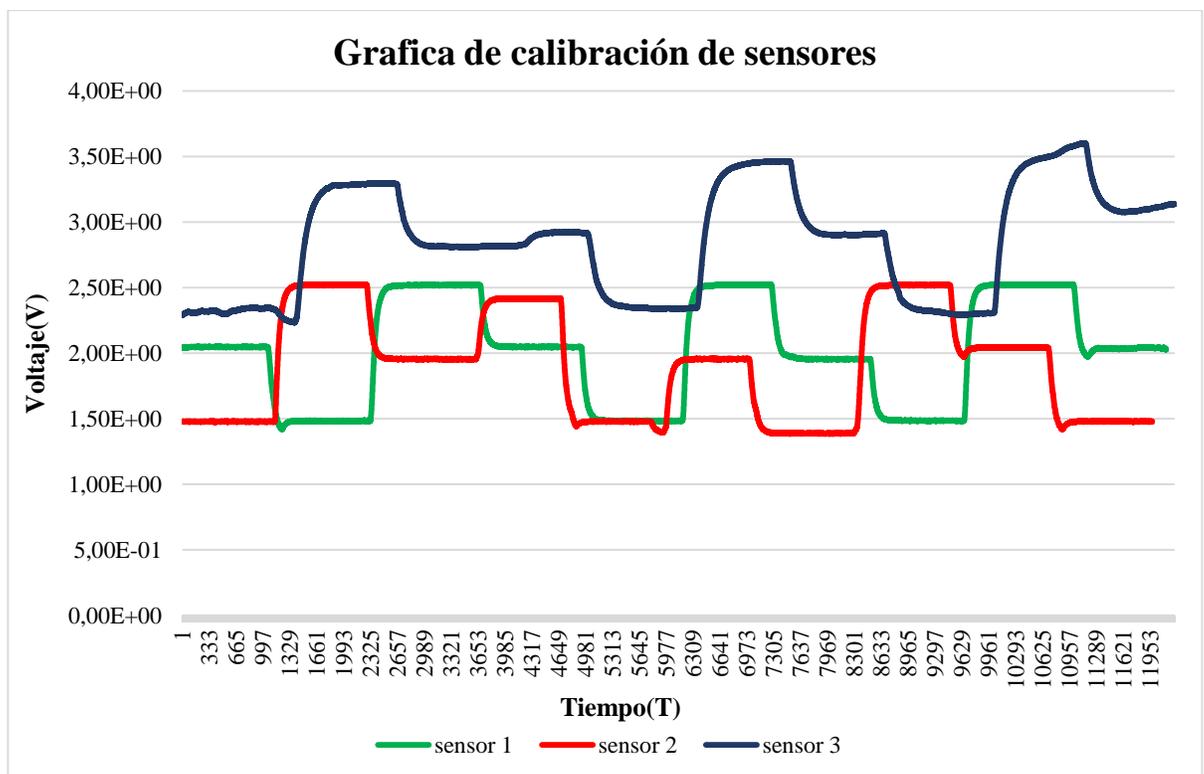


Figura 6. 4 Grafica de respuesta de calibración de los Sensores.

En la tabla 6.2 se muestra los datos en volts (V) para cada distancia en un rango de distancia de medición de 0.40, 0.55 y 0.70 m.

Tabla 6. 3 Proporción entre valores de distancia y voltaje para la obtención de la constante calibración.

Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3	
Distancia (m)	Voltaje (V)	Distancia (m)	Voltaje (V)	Distancia (m)	Voltaje (V)
0.55	1.95	0.4	1.48	0.7	3.29
0.4	1.38	0.7	2.52	0.4	2.33
0.7	2.61	0.55	1.96	0.55	2.81
0.55	2.04	0.7	2.41	0.4	2.35
0.4	1.48	0.4	1.48	0.7	3.45
0.7	2.51	0.55	1.96	0.55	2.9
0.55	2.04	0.4	1.39	0.7	3.51
0.4	1.48	0.7	2.52	0.55	3.11
0.7	2.52	0.55	2.04	0.4	2.3

En la figura 6.6, se observa la tendencia lineal de los datos del sensor 1, obteniendo un constante de calibración que es explicada por la pendiente del modelo de regresión lineal la cual indica un incremento de 27.40 cmV^{-1} , contando con alta confiabilidad del modelo ya que presenta un coeficiente de determinación de 99.8%.

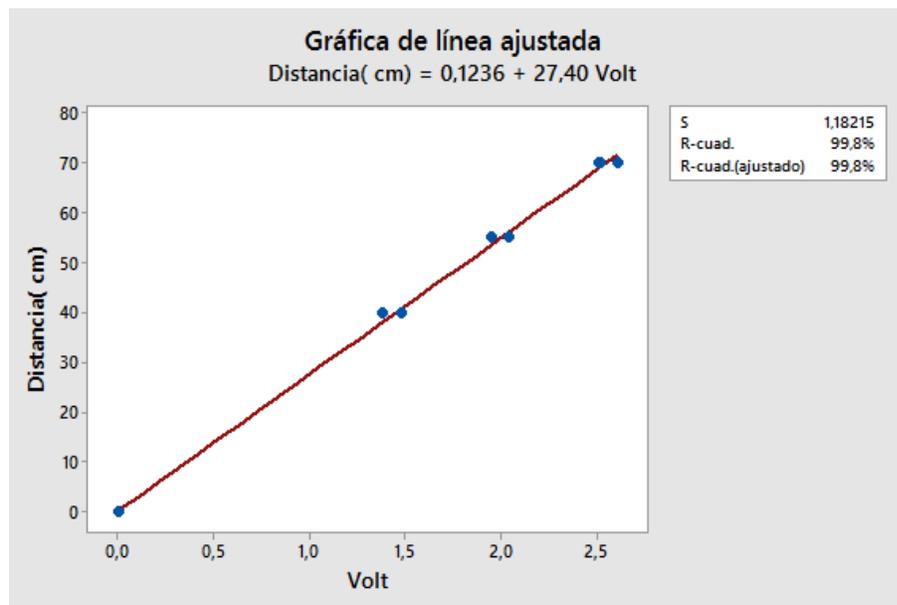


Figura 6. 5 Ecuación de respuesta del Sensor 1 de distancia.

En la figura 6.7, se observa la tendencia lineal de los datos de sensor 2, obteniendo un constante de calibración que es explicada por la pendiente del modelo de regresión lineal la cual indica un incremento de 28 cmV^{-1} , contando con alta confiabilidad del modelo ya que presenta un coeficiente de determinación de 99.8%.

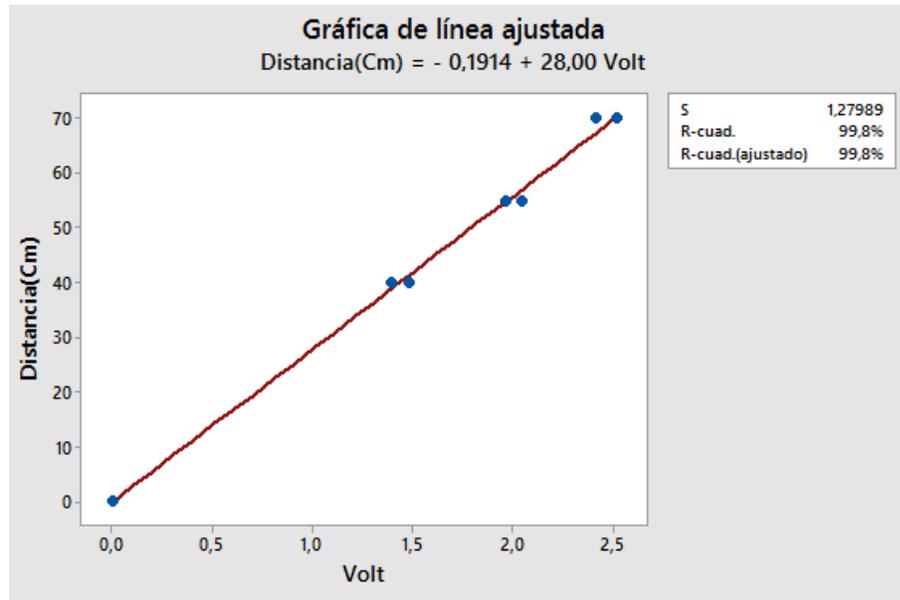


Figura 6. 6 Ecuación de respuesta del Sensor 2 de distancia.

En la figura 6.8, se observa la tendencia lineal de los datos del sensor 3, obteniendo un constante de calibración que es explicada por la pendiente del modelo de regresión lineal la cual indica un incremento de 19.66 cmV^{-1} , contando con alta confiabilidad del modelo ya que presenta un coeficiente de determinación de 99.2%.

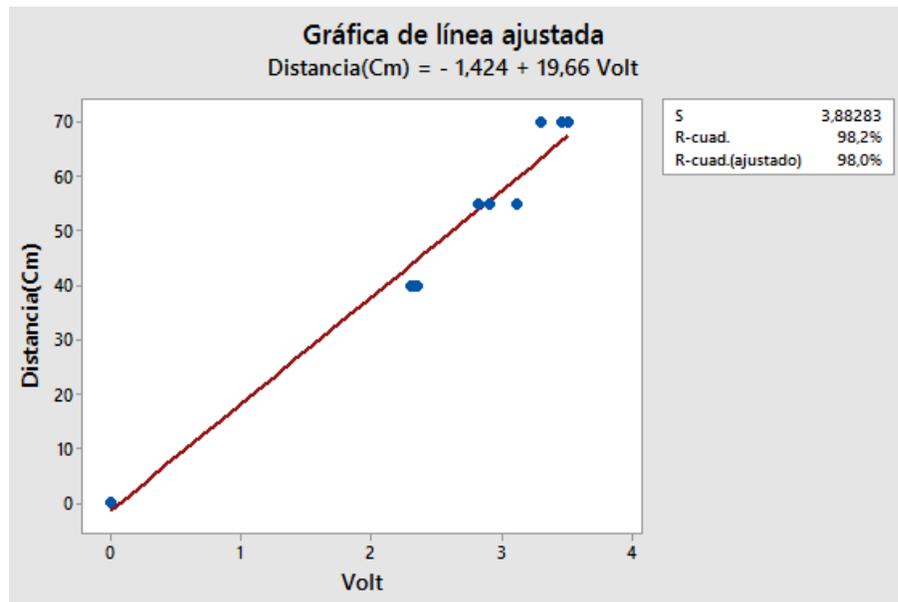


Figura 6. 7 Ecuación de respuesta del Sensor 3 de distancia.

Obteniendo los resultados de calibración de sensores de distancia bajo condiciones de laboratorio, se seleccionó el SENSOR 2, por ser proporcional en su desplazamiento, tener una repetitividad en el dispositivo de medición y una mínima desviación estándar. Usando el mismo sistema de medición y bajo las mismas condiciones, se podría utilizar el sensor 1 por tener la misma reproducibilidad del sensor 2 y el sensor 3 no fue viable para prueba en campo, debido a su alta variación en los desplazamientos, ya que hubo una diferencia significativamente alta en voltaje, cómo se especifica en la figura 6.5, además de tener un mayor desviación estándar como se muestra en la figura 6.8.

6.2 Levantamiento topográfico

Siguiendo la metodología mencionada en capítulo 5.2, el resultado del levantamiento topográfico se muestra en la figura 6.8.

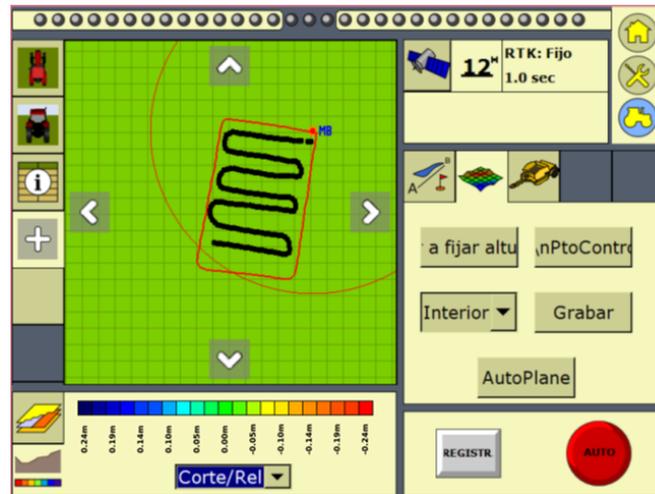


Figura 6. 8 Levantamiento topográfico

En los mapas de prescripción se presenta una escala con colores que representa las profundidades que parten desde un punto neutro, en el cual no se requiere de una instrucción de cortes y relleno por el sistema de control. Las áreas de corte parten desde el color verde a rojo, para las áreas de relleno de verde a azul.

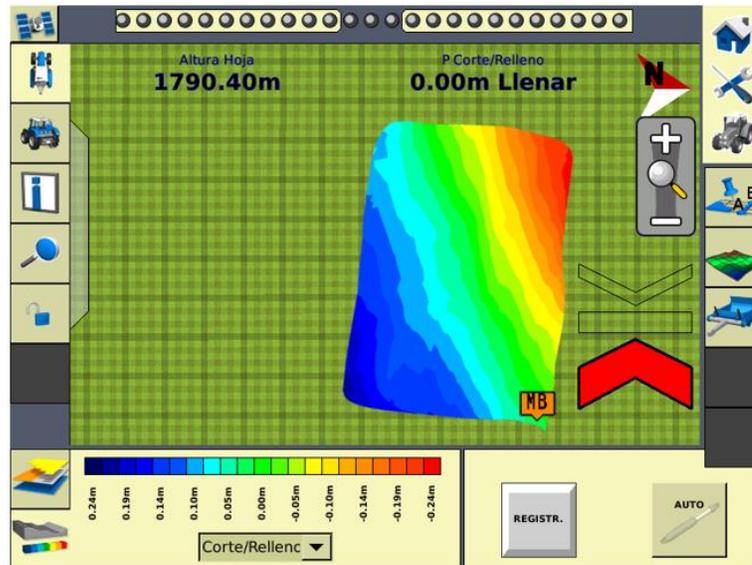
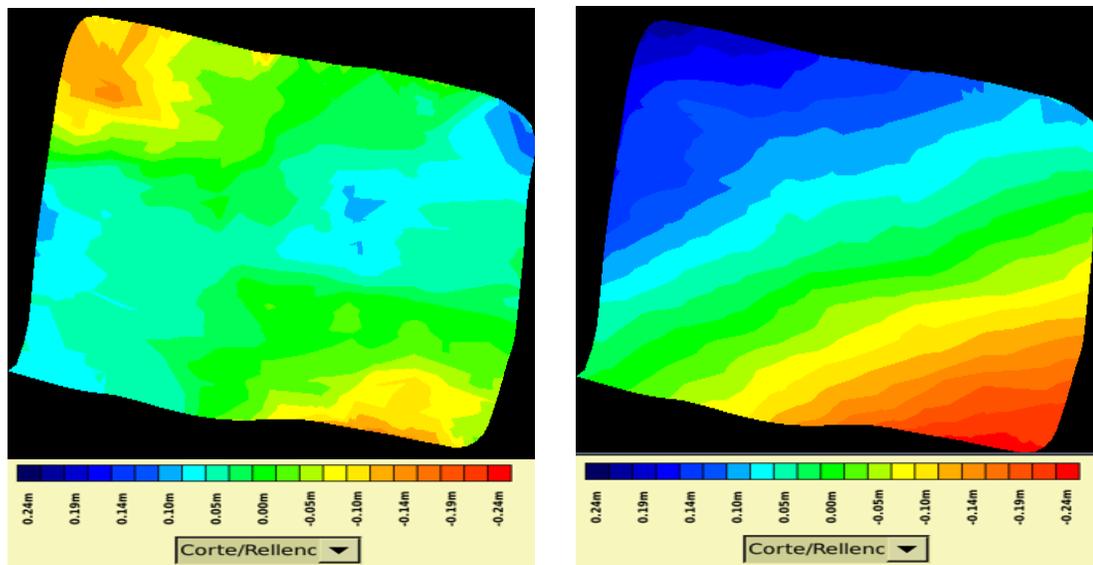


Figura 6. 9 Mapa de prescripción en diseño Survey para corte y relleno.

A partir de los registros de información, el sistema genera dos mapas: en la figura 6.10 inciso A, se aprecia el mapa de altura generado en el levantamiento topográfico y el otro de corte y relleno que nos recomienda el diseño Survey, como se muestra en la figura 6.10 inciso B.



A)

B)

Figura 6. 10 Generación de mapas, A) Mapa de altura, B) Mapa de cortes/rellenos

6.3 Resultados en pruebas estáticas con la electro válvula hidráulica solenoide bidireccional marca Vickers en diseño Survey.

En la figura 6.12 y 6.13 se muestran los gráficos de respuesta tanto de corte y relleno empleando la válvula hidráulica solenoide bidireccional con diseño Survey, estas muestran el desplazamiento vertical (m) por cambio de prescripción.

En la figura 6.12 se observa el desplazamiento del marco trasero (móvil), en donde las pruebas realizadas en áreas de corte no se alcanzaron a la profundidad objetiva de 10 cm. Las pruebas 2, 3 y 4, los resultados fueron menores a la profundidad objetiva, así mismo se requirió más de un escalón para generar la estabilidad en dichas pruebas. En la prueba 01, fue mayor a la profundidad objetivo y además no genero estabilidad en la dicha prueba. Los resultado obtenidos, no fueron los esperados.

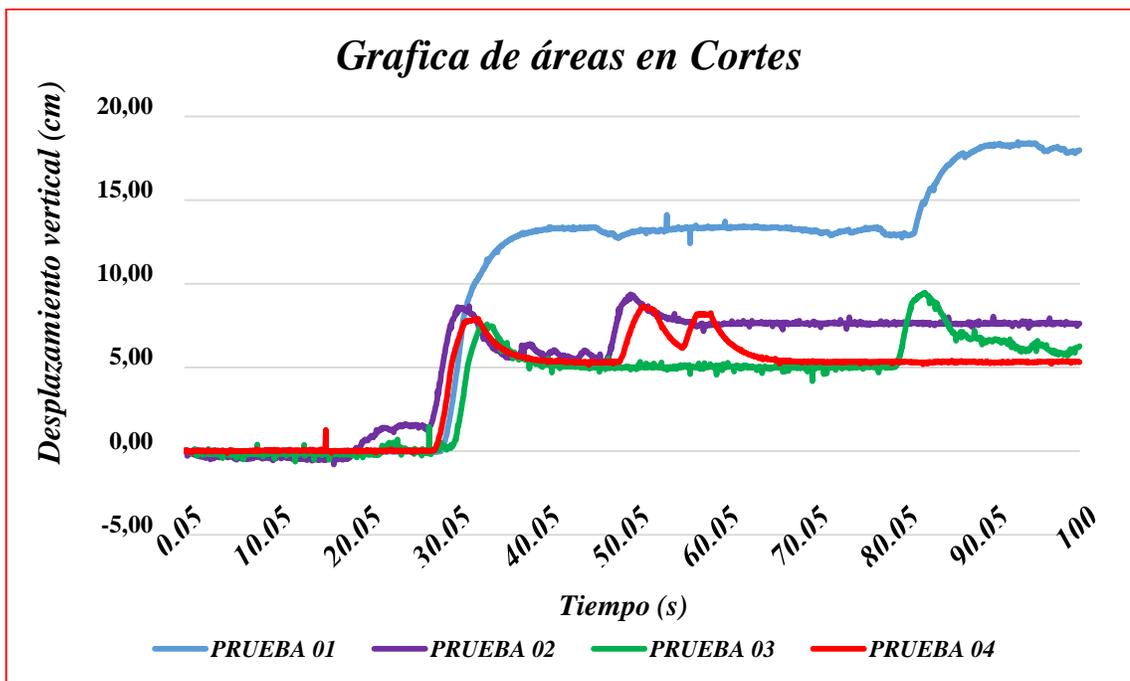


Figura 6. 11 Gráfica de datos en áreas de corte. Empleando la electroválvula hidráulica solenoide bidireccional (vickers).

En la figura 6.13 se muestra el desplazamiento de marco trasero (móvil), en donde las pruebas realizadas en áreas de relleno no se alcanzaron la profundidad objetivo de 10 cm. En la prueba 01, fue mayor a la profundidad objetivo, generando oscilación y causando inestabilidad en las pruebas.

La prueba 2 se acercó a la profundidad objetivo, pero generó más de una oscilación para tener una estabilidad.

La prueba 3 fue menor a la profundidad objetivo, generando oscilación y causando inestabilidad en la dicha prueba.

En las pruebas 4 y 5, los resultados fueron menores a la profundidad objetivo, así mismo se requirió más de una oscilación para generar la estabilidad en dichas pruebas. Se puede apreciar que en las pruebas existe un error tanto en el límite superior como límite inferior de la distancia objetivo, lo cual indica una mayor y menor profundidad de laboreo, generando oscilación y causando inestabilidad en las pruebas.

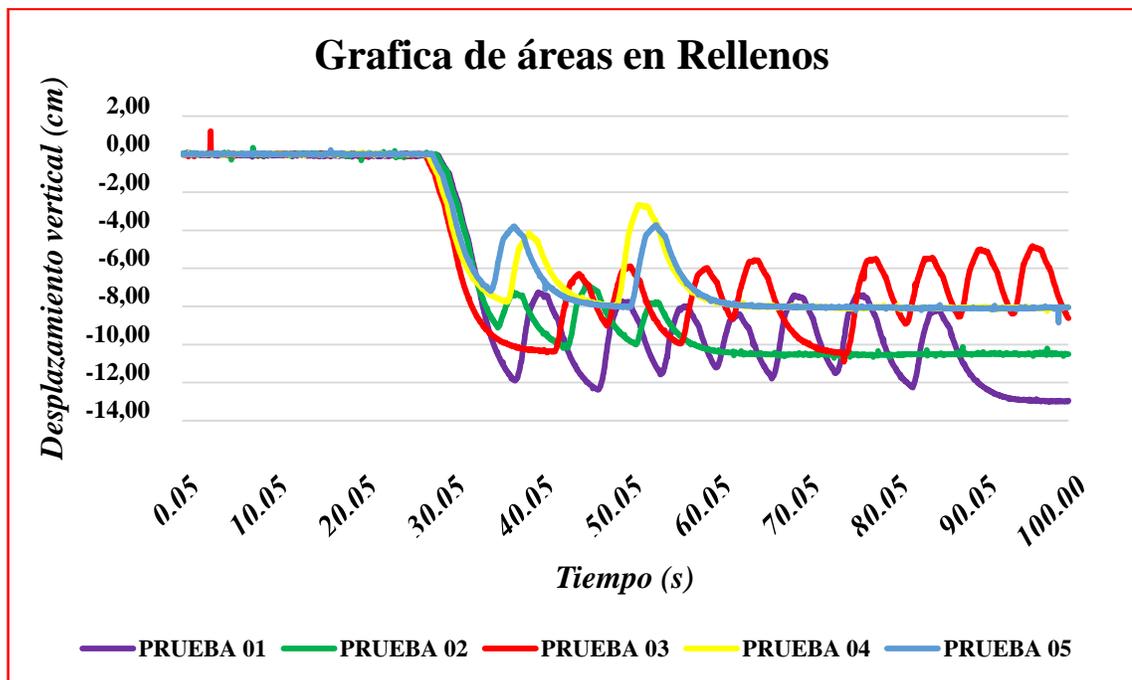


Figura 6. 12 Gráfica de datos en áreas de relleno. Empleando la electroválvula hidráulica solenoide bidireccional (vickers)

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sensor de distancia en tiempo real de los desplazamientos para prueba en campo, se seleccionó el SENSOR 2, por ser proporcional en su desplazamiento, tener una repetitividad en el dispositivo de medición y una mínima desviación estándar.

Sistema presento durante la validación en la acción de relleno error para alcanzar la profundidad deseada.

Se recomienda verificar las fugas de aceite en los cilindros para reducir el error y la inestabilidad en la respuesta.

VIII. REFERENCIA

- Arvidsson, J., T. Keller, and K. Gustafsson. 2004.** Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil and tillage research*, 79(2): 221-231.
- Acevedo E. y E. Martínez . 2003.** Sistema de labranza y productividad de los suelos, en Acevedo, e.: sustentabilidad en cultivos anuales. Citado por: Martínez H. e., Fuentes e. J.P. y Acevedo H. e. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Journal of soil science and plant nutrition*; 8(1): 68-96. 2008.
- Aluko, O. B., & Seig, D. A. (2000).** An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting. *Soil and Tillage Research*, 57(3), 143-157.
- Amézquita, e. (2013).** Propiedades físicas de los suelos de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza. *Sistemas agropastoriles*, 29.
- Borges, S. D. S., Davanzo, C. U., Castellano, E. E., Z-Schpector, J., Silva, S. C., & Franco, D. W. (1998).** Ruthenium nitrosyl complexes with N-heterocyclic ligands. *Inorganic chemistry*, 37(11), 2670-2677.
- Cuervo, N. 2014.** Desarrollo y evaluación de un sistema de control inteligente de profundidad aplicado a la labranza vertical. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 171 p.
- Cavalari, C. K. y T. A. Gemtos. 2002.** Evaluation of four conservation tillage methods in the sugar beet crop. *The cigr e-journal*. Volume 4. The internet-first university press. Cornell university library. Ithaca, NY, USA.
- Cañizares, J. A. M. (2017).** Caracterización preliminar de tecnologías de labranza de suelo. *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(1), 8-13.
- Camacho-Tamayo, J. H., & G. A. Rodríguez, (2007).** Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua del suelo. *Agricultura técnica*, 67(1), 60-67.

- Campos Magaña, S.G., J.A. López López, M. Cadena Zapata, M. A Reynolds Chávez. N. Cuervo Piña. & G. Ramírez Fuentes, (2015).** Desarrollo de un penetrómetro integrado con tecnología GPS-RTK para la generación de mapas de resistencia a la penetración del suelo. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 119-128.
- CanquiLlusco, J. E. (2012).** Georreferenciación. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*, 22.
- Doerge, T. 1998.** Defining management zones for precision farming, crop insights, United States pp. 8-21.
- FAO. 2000.** *FAO Statistical yearbook 2013. Part 1—the setting*. Rome: Food and agriculture organization of the United Nations
- García E. y F. Fleo. 2005.** Tecnología agropecuaria. Agricultura de precisión. Universidad de Palermo. Pp.110-112.
- Godwin, R. y M. O’Dogherthy. 2007.** Integrated soil tillage force prediction models, *journal of terramechanics*, 44(1), 3 – 14.
- García, E., Y F. Flego. (2007).** Agricultura de precisión. *Revista ciencia y tecnología*. Recuperado de [http://www. Palermo. Edu/ingeniería/ciencia y tecnología ia/ciencia_y_tecno_8. HTML](http://www.Palermo.Edu/ingeniería/ciencia_y_tecnología/ciencia_y_tecno_8.HTML).
- Hoogmoed, W. B. and R. Derpsch. 1985.** Chisel ploughing as an alternative tillage system in Parana Brazil. *Soil tillage research*, 6(1): 53-67.
- Hoogmoed, W. B. 1999.** Tillage for soil and water conservation in the semi-arid tropic, *FAO document repository*, wageningen university, the Netherlands. 416 p.
- Kreimer, p. 2003.** Las tics en la agricultura de precisión, CEDITEC (centro de difusión de tecnologías ETSIT-UPM). CEDITEC (centro de difusión de tecnologías ETSIT-UPM).
- Kvien, C. y S. Pocknee. 2000.** Introduction to why management zone, technical report, national environmentally sound production agriculture laboratory (NESPAL), college of agricultural and environmental science, the university of Georgia
- Koch, B., & R. Khosla. (2003).** The role of precision agriculture in cropping systems. *Journal of Crop Production*, 9(1-2), 361-381.
- Leal Filho, W. (2009).** Sustainability at universities-Opportunities challenges and trends (No. G3005 378.101 L473s Ej. 1). Peter Lang.

- Martínez, D. 2013.** Desarrollo De Procedimiento Para La Elaboración De Mapas De Prescripción Empleando SIG Y Sistemas De Control Fmx. Tesis De Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División De Ingeniería, 1-57.
- Mendoza, R., Yaneth, L., & S.G Campos Magaña. (2014).** Desarrollo de un Sistema de Control Inteligente Para Laboreo Primario de Suelos.
- Navarro, R. 2004.** Ingeniería de control analógica digital. mcgraw-hill. Tercera edición, México D.F.
- Oldeman, L. R., Hakkeling, R. T. A., & Sombroek, W. G. (2017).** World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note.
- Ortega, R., Flores, L., INIA, C. Q., de Recursos Naturales, D., & Ambiente, M. (1999).** Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico. Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones agropecuarias. CRI Quilamapu. (Chile), 13-46.
- Pimentel, D., Marklein, A., Toth, M. A., Karpoff, M., Paul, G. S., McCormack, R... & Krueger, T. (2008).** Biofuel impacts on world food supply: use of fossil fuel, land and water resources. *Energies*, 1(2), 41-78.
- Raper, R. L., & Bergtold, J. S. (2007).** In-row subsoiling: a review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation. *Applied engineering in agriculture*, 23(4), 463-471.
- Reynolds, M. A., S.G Campos Magaña., M. Cadena Zapata, Lopez, J. A., & N. Cuervo Piña. (2015).** Vertical tillage parameters to optimize energy consumption. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(4), 130-140.
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L... & de Fraiture, C. (2017).** Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4-17.
- Romero, C. G. 2002.** Fundamentos básicos en la utilización de máquinas y equipos para laboreo del suelo, establecimiento y mantenimiento de cultivos. Puerto Carreño vichado, Colombia. pág. 34 y 37.
- Roberts, T. L. (2000).** Manejo sitio específico de nutrientes, avances en aplicaciones con dosis variable. Seminario taller agricultura de precisión en el cono sur. procisur. Buenos aires, argentina.

Rincón Murillo, E. G., Rodríguez, M., & Sneider, H. (2018). Sistema de direccionamiento de la antena del vehículo estratosférico sabio caldas.

Reynolds Chávez, M. A. (2014). Uso de labranza vertical y agricultura de precisión para la optimización de energía en labranza primaria del suelo.

Shrivastava, A. K. and Satyendra Jha. 2011. Modification and performance evaluation of tractor drawn improved till plant machine under vertisol. *Agaric Eng. int: cigr journal*, 13(2).

Señal, G. P. S. El posicionamiento satelital y sus sistemas de corrección.

Velázquez, J. U. (2011). ‘Rediseño de prototipo para labranza de precisión.’. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.66 p.

Páginas Web

FAO. (2000). [en línea] [fecha de consulta: marzo 2018a]. <http://www.fao.org/docrep/012/al298s/al298s.pdf>

Trimble. Base aggps rtk gps/gnss. [en línea] [Fecha de consulta: marzo 2018a]. < <http://www.trimble.com/agriculture/fmx-display.aspx> >

Trimble. fmx. [En línea] [Fecha de consulta: marzo 2018b]. < <http://agrosap.es/productos/pantallas-gps/trimble-fmx/> >

Trimble. Software de diseño 3d multiplane. [En línea] [Fecha de consulta: marzo 2018c]: < <http://www.agrolasernivel.com/?q=familias&idfam=124&producto=97>>

IX. Anexo

A.1 Agregar aplicaciones a la pantalla FmX

1.- Encender la pantalla, aparecerá lo siguiente:



Figura A. 1 Pantalla de inicio.

2.- Abrir configuración pulsando configure.



Figura A. 2 Pantalla de configuración

3.- Para agregar el complemento Survey y FieldLevel II; seguir la secuencia de botones que se muestra a continuación:

- Pulsar configure.

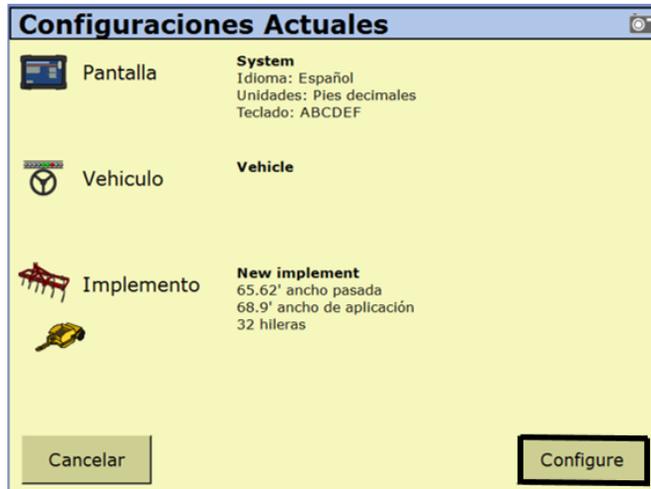


Figura A. 3 Pantalla de configuración

- Pulsar Agregar/Quitar



Figura A. 4 Pantalla de configuración del sistema

- Aparecerá una ventana donde se introducirá la contraseña (2009) del proveedor para poder avanzar. Después dar clic en ok.



Figura A. 5 Pantalla introducción de contraseña (2009)

- Buscar en la lista de complementos inactivos los complementos WM-Survey y FieldLevel II, seleccionar los complementos y dar en añadir.

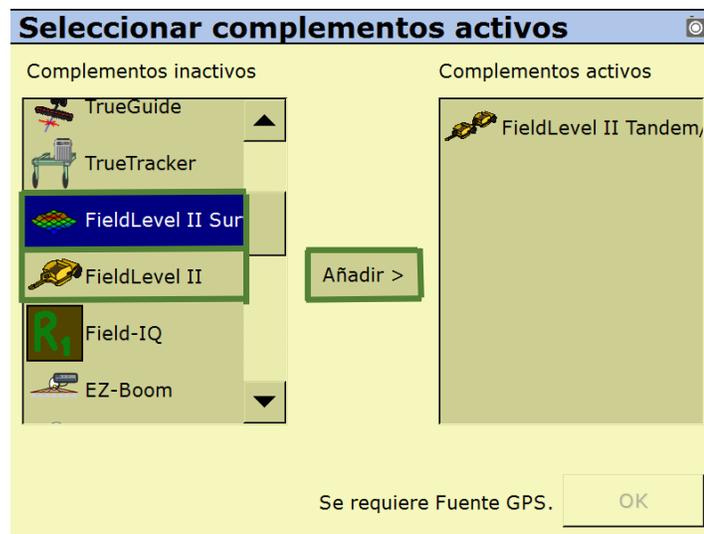


Figura A. 6 Agregar complementos

- Una vez agregado los complementos dar clic en OK.



Figura A. 7 Agregar complementos

Configuración de la estación base RTK

A.2.1 Configuración del receptor

1. En la pantalla de inicio, presione Utilice la pantalla del modo de funcionamiento para configurar los ajustes del sistema, la configuración de modo, o para ver el SV de estado (por satélite). Ajustes del modo es el valor predeterminado.
2. Presione Base es la configuración predeterminada y no se puede cambiar.
3. Pulse Usar la pantalla de la estación base para seleccionar si el receptor se va a utilizar una posición “aquí” o si las corrientes coordenadas en el receptor se cambiarán.
4. Pulse Cuando editar actual comienza a parpadear, el receptor está en Modo de edición y se puede cambiar la configuración actual.
5. Pulse el ajuste cambia a Nueva Base (Aquí).
6. Presione para aceptar el cambio.
7. Pulse de nuevo. Aparece la pantalla Nombre de Base.

Cambiando el nombre y la descripción de la estación base

En la pantalla de nombre base

1. Pulse  Cuando el primer carácter del nombre base comience a parpadear, el receptor está en modo de edición y puede cambiar la configuración actual.
2. Pulse  o  para cambiar el valor del carácter.
3. Pulse  para mover el cursor al carácter siguiente.
4. Repita los pasos 2 a 3 para introducir el nombre de la estación base. El nombre puede tener hasta 16 caracteres. Pulse  para aceptar el cambio.

A.2.3 Configuración de la referencia latitud, longitud y altura de la estación base

En la pantalla de Latitud Base:

1. Si la base se estableció con posición aquí, presione  para continuar. Para editar la base de latitud, pulse  para comenzar a editar y, a continuación, utilice el  y  las flechas para cambiar el valor del carácter para editar.
2. La Base Longitud pantalla se utiliza para cambiar la referencia longitud de la estación base. La base fue creada con posición aquí, así que pulse .
3. En la pantalla el punto de altura se utiliza para cambiar la altura de referencia de la estación base. La base fue creada con posición aquí, así que pulse .
4. Utilice el tipo de antena pantalla para seleccionar el tipo de antena que se utiliza con el receptor. Pulse  Cuando la antena nombre comienza a parpadear, el receptor está en el modo de edición y puede seleccionar una antena.
5. Pulse  para desplazarse por los modelos de antena hasta que aparezca Zephyr Geodetic 2.
6. Pulse  para aceptar el cambio.
7. Pulse  de nuevo. La medida aparece en la pantalla. Consulte a continuación.

A.2.4 Medición y cambio de la altura de la antena

- 1.- En la pantalla de inicio, presione , hasta llegar a la opción de Altura de la Antena.
- 2.- Pulse  . Cuando el método de medición de la antena comienza a parpadear, el receptor está en modo de edición y se puede seleccionar el método de medición de antena.

- 3.- Pulse  para desplazarse a través de los métodos de medición hasta que aparece APC. Pulse  para aceptar el cambio.
- 4.- Pulse 
- 5.- Utilice en la pantalla, Altura de la antena para cambiar la altura de la antena. Presione  Cuando el primer carácter de la antena altura comienza a parpadear, el receptor está en el modo de edición y podrá cambiar la altura de la antena. La altura de la antena se debe establecer en 0.00 para la mayoría de aplicaciones.
- 6.- Pulse  o  para cambiar el valor del carácter.
- 7.- Pulse  para mover el cursor al carácter siguiente.
- 8.- Repita el paso 6 hasta el paso 7 para introducir la altura de la antena.
- 9.- Presione  para aceptar el cambio.
- 10.- Presione  de nuevo. Aparece la pantalla de salida.

ANEXO B

B.1 Levantamiento topográfico

- 1.- Configurar el levantamiento:
 - ✓ Ingresar a la pantalla de ajuste, pulsando 
 - ✓ Seleccionar Survey y dar clic en configurar:

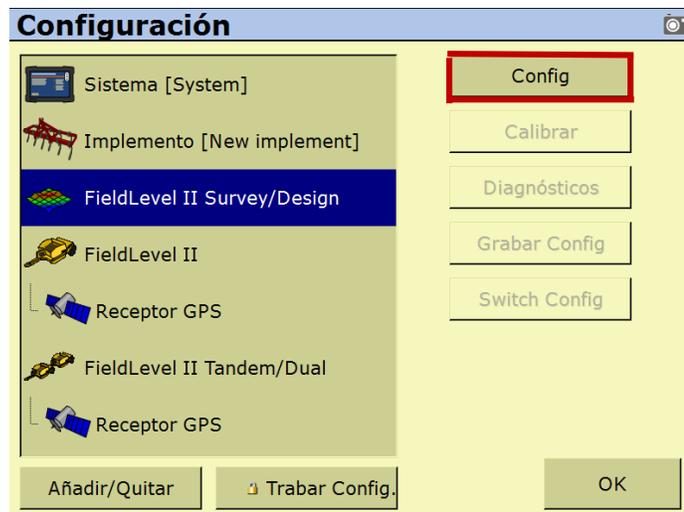


Figura B. 1 Configuración del Survey

- ✓ Esto para verificar que este proporcionada la siguiente información:
 Receptor: Internal Primary
 Correcciones: CenterPoint RTK
 Canal:1
- ✓ Pulsar dos veces OK.

2.- Abrir la pantalla de ejecución.

- ✓ Pulsar el icono 
- ✓ En la pantalla selección de configuración pulsar OK.
- ✓ Llenar los datos de campo y pulsar OK.

3.- Seleccionar la aplicación de trabajo WM-Survey 

- ✓ Definir el MBP (Master Bench Point), pero antes posicionarse a un lado y exterior de la parcela posteriormente, pulsar fijar punto de control como se muestra en la imagen y esperar 30 segundos:

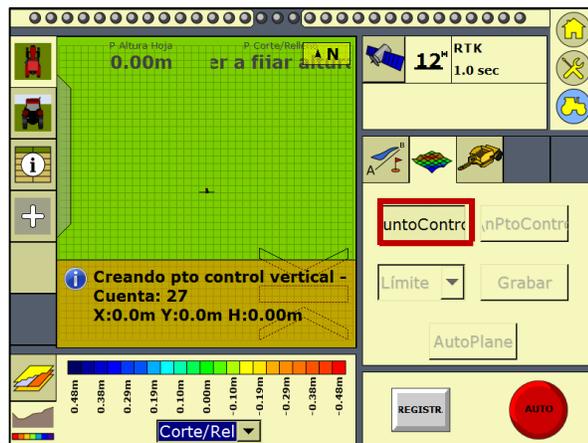


Figura B. 2 Definir punto maestro

NOTA: (MBP) este punto es el punto de referencia de nuestro terreno, para que una vez que se regrese a campo para realizar las pruebas correspondientes nos ubiquemos fácilmente. Cabe resaltar que el levantamiento topográfico se llevará a cabo con la opción de cortes/rellenos seleccionados.

4.- Definir el perímetro o límite del terreno:

- ✓ Seleccionar límite y pulsar grabar.



Figura B. 3 Selección del límite

- ✓ Conducir el tractor por la orilla que definirá el terreno de trabajo.
- ✓ Una vez completado el recorrido tomando como referencia el MBP, pulsar grabar.

5.- Recorrido interior para definir la pendiente del terreno de trabajo.

- ✓ Seleccionar interior y pulsar grabar.

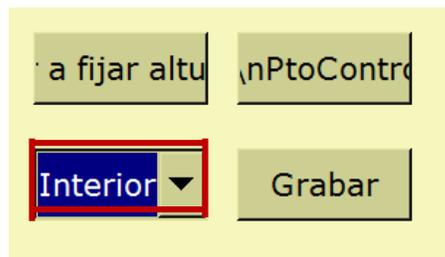


Figura B. 4 Selección de interior

- ✓ Conducir el tractor por el interior del terreno, haciendo hileras de 5 metros aproximadamente y una vez terminado el recorrido pulsar grabar.

6.- Pulsar  y pulsar OK, para que guarde la información y muestre los mapas de alturas y cortes/rellenos.

7.- Pulsar el botón de inicio 

8.- Pulsar cerrar campo.

B.2 Extracción de archivos de pantalla FMX.

- ✓ Insertar la memoria USB en la parte trasera de la pantalla.
- ✓ En la pantalla de inicio aparece una opción de **Archivos de Datos**, como se muestra en la figura siguiente.



Figura B. 5 Archivo de datos en pantalla principal

- ✓ Se selecciona el archivo de interés que se encuentra en la memoria **internal>datos campo** y le damos copiar a USB drive, por ultimo apagamos la pantalla y retiramos la memoria USB.

C.1 Trabajo En Campo para prescripción de laboreo variable

- ✓ Primeramente ingresar al campo de trabajo 
- ✓ Aparecerá una ventana llamada **CONFIGURATION SELECTION** ahí no se edita nada y pulsar **OK**.
- ✓ En el cuadro de **FIELD SELECTION** en la ventana de **CLIENT** buscar la carpeta de interés (CARPETA DE TRABAJO), las demás ventanas aparecen por default. Dar **OK**.

Nota: en la ventana de evento puede haber más de una opción elegir la carpeta de interés.

- ✓ Pulsamos en la ventana de **FIELDLEVEL II** 
- ✓ Posicionar el tractor en la parte neutra del terreno de acuerdo al mapa y leyenda de cortes/rellenos.
- ✓ Tomar la altura de la antena receptora tomando como referencia el suelo.
- ✓ Salir del campo de trabajo para configurar la antena presionando 
- ✓ Abrir 
- ✓ Seleccionar FIELDLEVEL II y pulsar configurar.

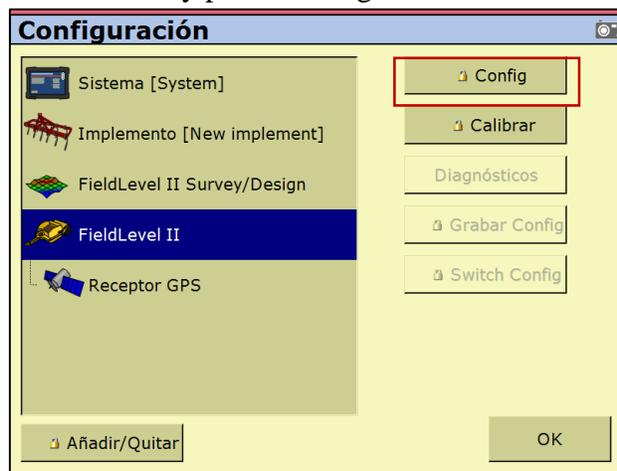


Figura C. 1 Configuración de Field Level II.

- ✓ Una vez que se haya proporcionado la contraseña del cliente en este caso (2009) aparecerá una ventana donde se insertará la altura de la antena y pulsar ok como se muestra a continuación:

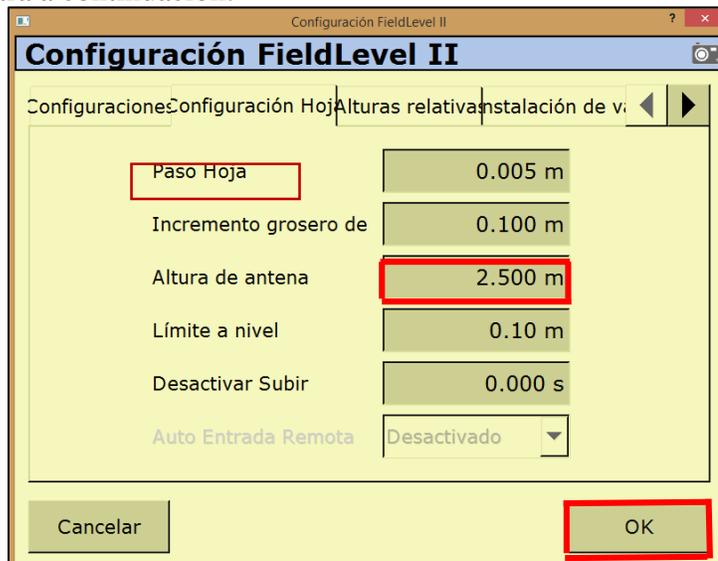


Figura C. 2 Insertar valor de la altura de la antena receptora.

- ✓ Nuevamente abrir el campo de trabajo 
- ✓ Posicionarse en el MBP y presionar Fijar altura de referencia

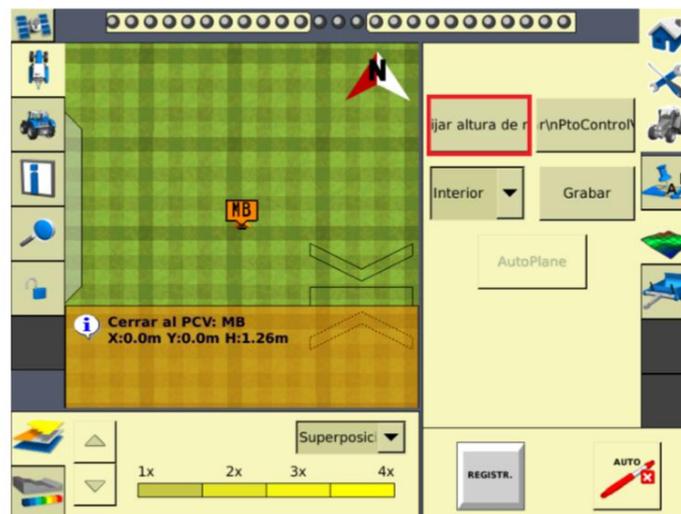


Figura C. 3 Fijar el MBP

2. Esperar 30 segundos para que el sistema promedie la ubicación del MBP

3. Situarse en el lote a realizar el laboreo

4. Pulsar  e iniciar los recorridos.

E.1 Manual de conexión de arnés

En este manual se describe como instalar, configurar y usar los complementos disponibles para la pantalla integral Trimble FmX.

Componentes del sistema:

- La pantalla integrada FmX
- Soporte de montaje y tornillo
- Antena GPS
- Placa de montaje de la antena GPS
- Cables de alimentación
- Guía de alimentación
- Guía de referencia rápida
- CD de documentación
- Antena de radio (solo RTK)



Figura E. 1 Componente de la pantalla FmX.

Componente	Descripción
1	Pantalla integrada FmX
2	Soporte RAM y tornillos

Cuadro E. 1 Componente de la pantalla FmX.

Vista trasera

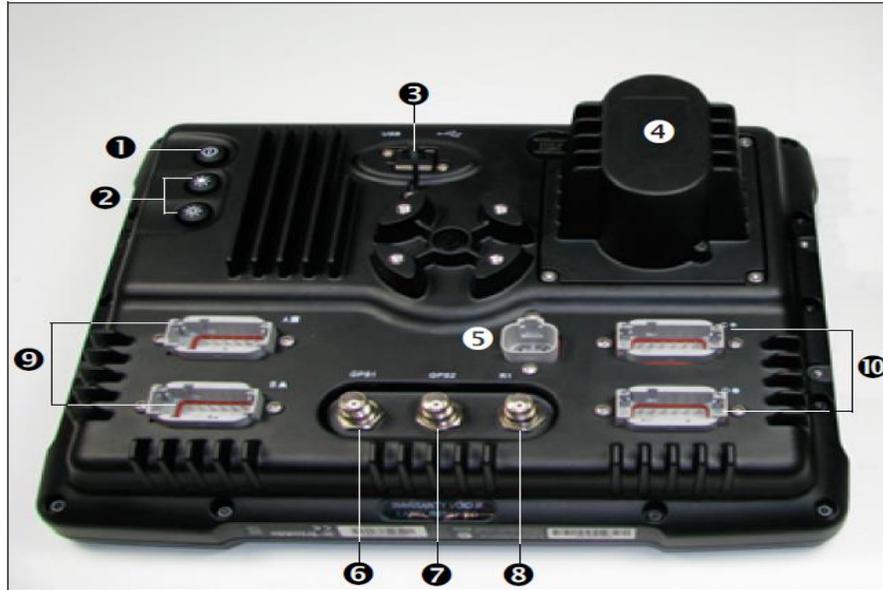


Figura E. 2 Vista trasera de la pantalla FmX.

Componente	Descripción	Úselo para
1	Botón de encendido	Apagar o encender la pantalla. Presione y mantenga presionado el botón de encendido durante aproximadamente medio segundo.
2	Controles de brillo	Aumentar o disminuir el brillo de la pantalla integrada FmX. Presione el botón correspondiente.
3	Conector de USB	Conectar un dispositivo de memoria USB a la pantalla para transferir datos.
4	Compartimiento para batería de reserva	
5	Puerto de alimentación	Conectar el cable de alimentación (N/P 66694) a la pantalla.
6	Conector GPS primario	Conectar el cable GPS (MAP55390017) a la pantalla
7	Conector GPS secundario	
8	Conector de antena RTK	Conectar el cable RTK (N/P 62120) a la pantalla
9	Conector de comunicación CAN(A/B)	Conectar dispositivos externos a la pantalla. Por ejemplo, estos conectores pueden usarse para conectar dispositivos tales como las cámaras AgCam
10	Conector de comunicación CAN(C/D)	

Cuadro E. 2 Descripción de los componentes de la pantalla FmX.

Componentes	Descripción	Serie
5	Puerto de alimentación	66694
	P1BATT(cable de alimentación al tractor)	R1PWR-P1BATT
6	Conector GPS primario	MAP55390017
8	Conector de antena RTK	24253-46 Frequency Rance 450-470 MHz
11	Cable swich (alimentación al voltaje al tractor)	75743
12	Conexión al modulo	S1CANVM – PUERTO 2
13	Conexión al modulo	84263-150_PUERTO1
14	Cable de conexión al circuito	58947-200_84263-150
15	Cable de conexión de válvula Vickers.	
16	Conexión del circuito con el modulo (1b)	
17	Amarrillo para bajar el implemento	
18	Verde para subir el implemento	
19	La que manda señal a los cable de movimiento (bajar y subir),	

Cuadro E. 3 Descripción de los componentes en serie

1. Conexiones de cables de la pantalla FmX, válvula Vickers y circuito.

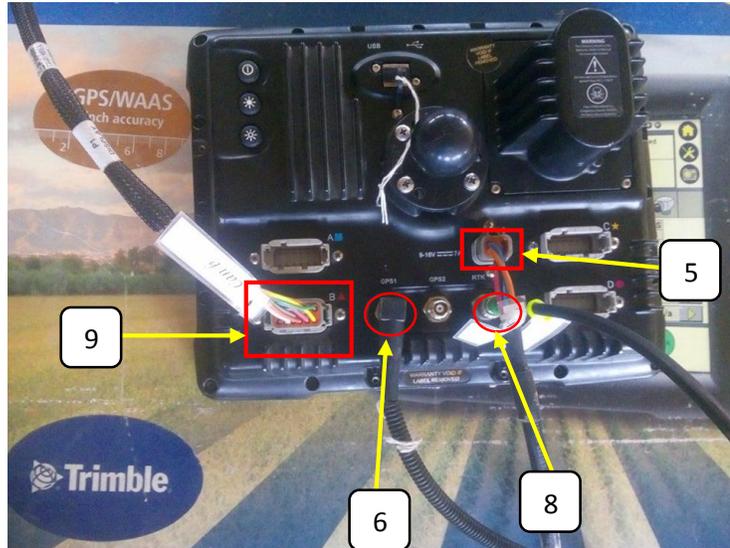


Figura E. 3 5) Puerto de alimentación, 6) Conector GPS primario, 8) Conector de antena RTK, 9) Conector de comunicación CAN (B).

2. Ensamble de la antena RTK Y GPS.



Figura E. 4 6) GPS, 8) Antena RTK.

3. Cable de alimentación de la pantalla con el de alimentación del tractor a 12 V.



Figura E. 5 5) Cable de alimentación a 12 V (R1PWR-P1BATT).

4. La conexión de la pantalla al módulo, tiene que ir conectado al canal b., al trabajar conectar el cable de la fuente de alimentación a la fuente de alimentación del tractor y encender el Switch.

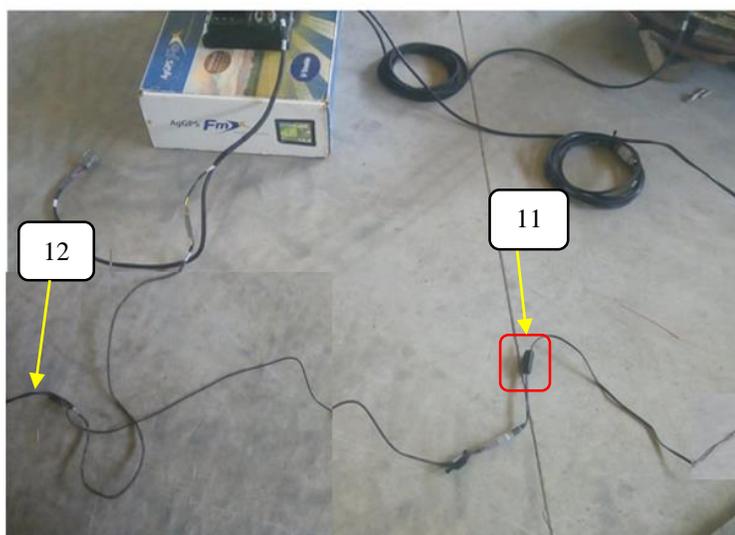


Figura E. 6 11) Cable switch (alimentación al voltaje al tractor), 12) Conexión al módulo en la entrada 2

5. Conexión al módulo.

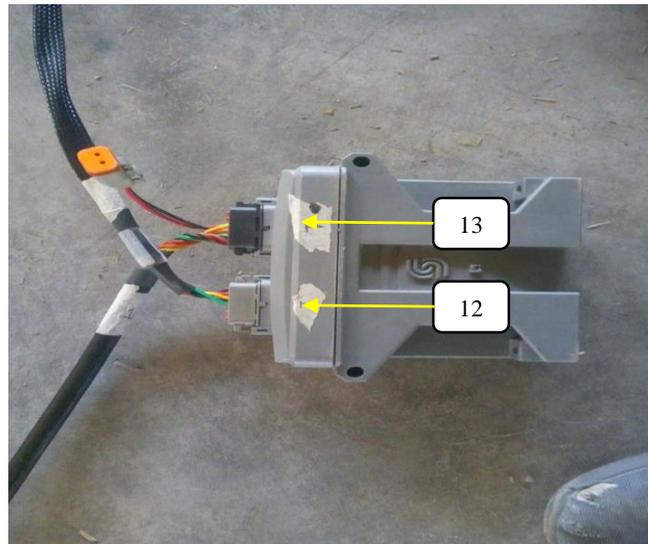


Figura E. 7 Modulo, 13) entrada canal 1(84263_150), conexión con el circuito, 12) entrada canal 2(S1CANVM), conexión con la pantalla FmX.

6. Cable de conexión al circuito.



Figura E. 8 Cable de conexión del circuito con el modulo, entrada 1 (58947_200-84263_150).

7. Conexión del módulo al circuito.

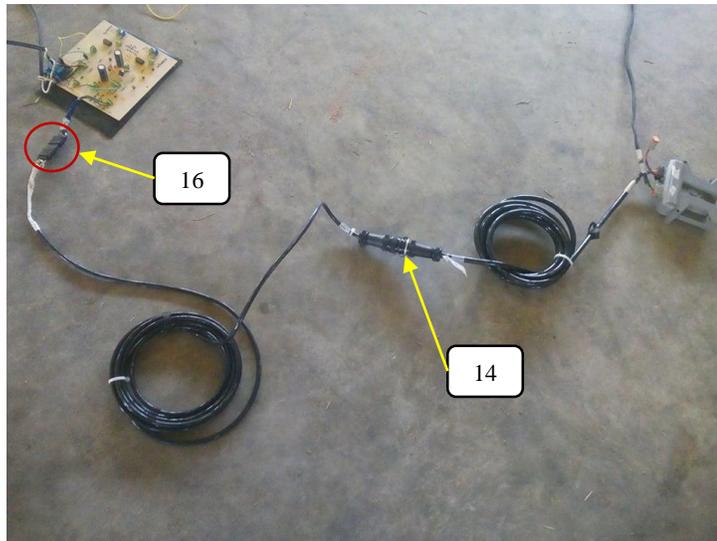


Figura E. 9 14) Cable de conexión del Circuito rectificador de señal con el modulo, entrada 1 (58947_200-84263_150), 16) Conexión del circuito con el modulo (1b).

8. Conexión de la válvula vickers.

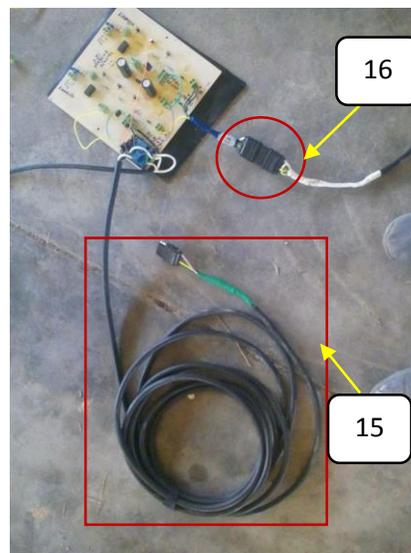


Figura E. 10 15) Cable de conexión de válvula Vickers, 16) Conexión del circuito con el modulo.

9. Fuente de alimentación del circuito.

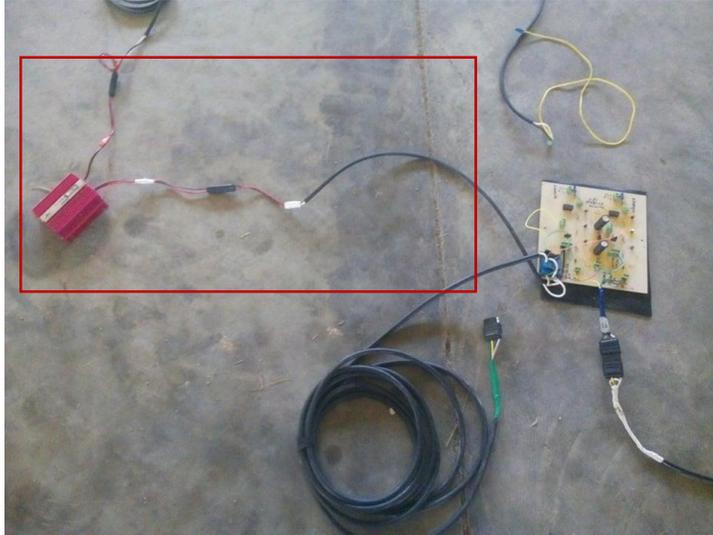


Figura E. 11 Fuente de alimentación del circuito de 12 V.

10. Conexión de la fuente de alimentación del circuito a la fuente de alimentación del tractor a 12 V.

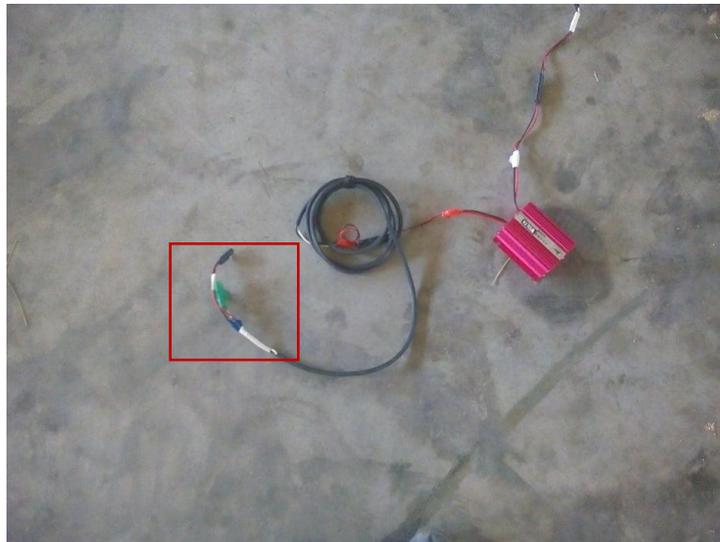


Figura E. 12 Conexión de la fuente, con la fuente de alimentación del tractor a 12 V.

11. Fuente de alimentación del tractor a 12 V.

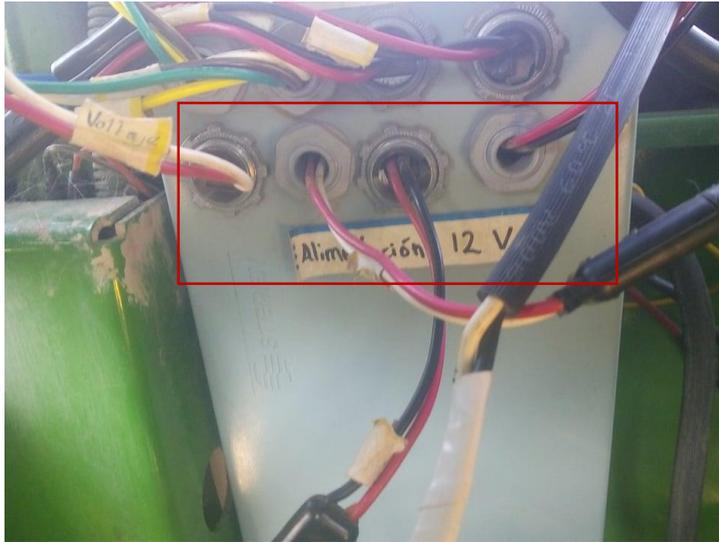


Figura E. 13 Fuente de alimentación del tractor a 12 V.

12. Conexión de la válvula Vickers al circuito.



Figura E. 14 Conexión del cable del circuito con la válvula Vickers del implemento.

13. Los cables que mandan señal al arado articulado.

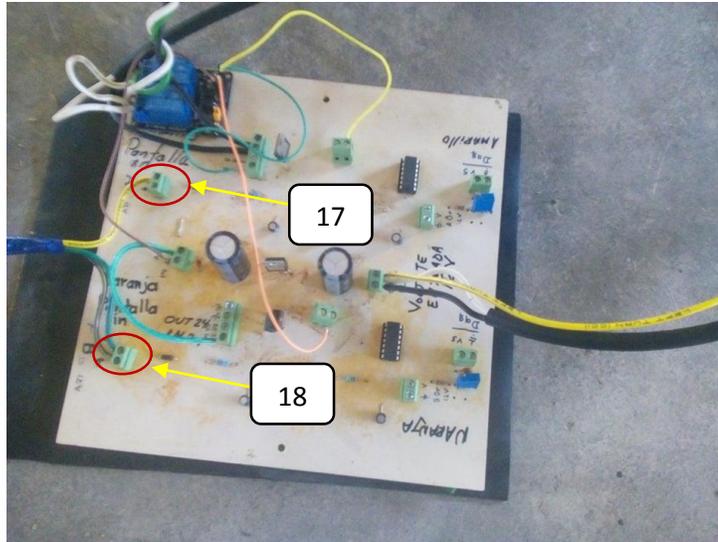


Figura E. 15 Cables de señal de movimiento del arado, 17) Amarillo para bajar el implemento, 18) Verde para subir el implemento.

14. El cable amarillo es la que debe de estar conectado a cada cable al momento de mandar la señal de corte y relleno al arado articulado.

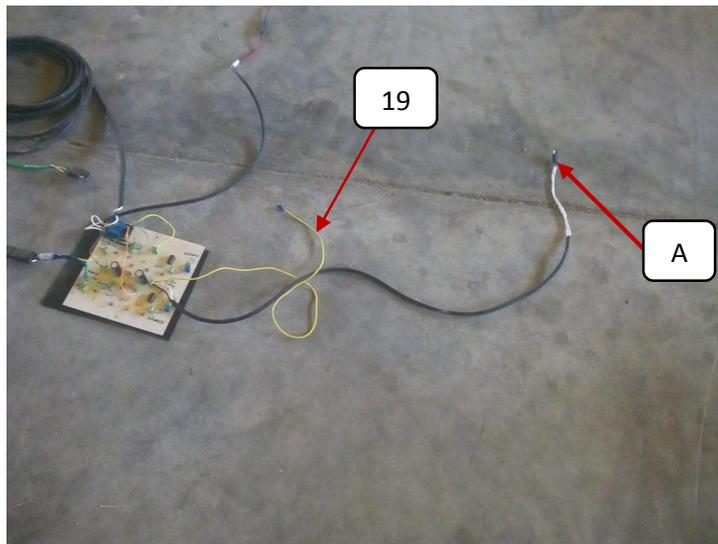


Figura E. 16 19) cable de señal de corte y relleno, A) cable de alimentación de la fuente de alimentación de tractor a 12 V.

15. Conexión del sistema hidráulico al implemento de arado articulado.



Figura E. 17 Conexión del sistema hidráulico.

16. Al momento de hacer ajuste al arado antes de trabajar a campo, desconectar la conexión del circuito al cable que manda señal a la pantalla FmX, y para trabajar en campo en forma automático conectar la Conexión del circuito con el modulo (1b), para la función en corte y relleno.

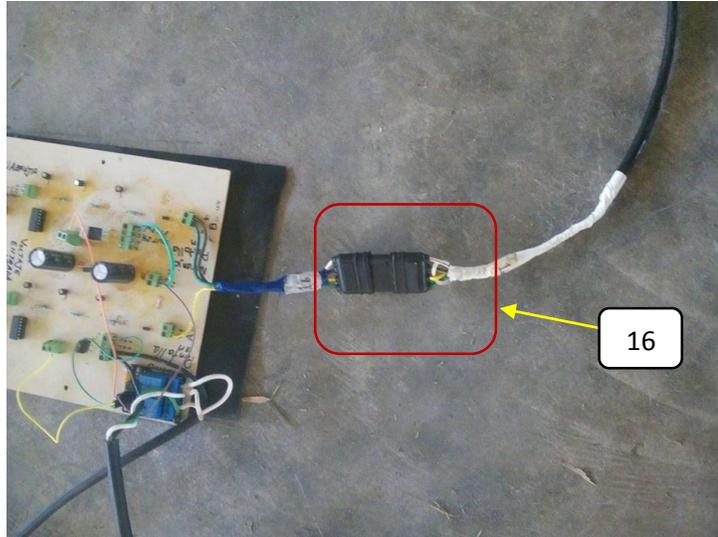


Figura E. 18 Ajuste del implemento arado articulado para elaborar en campo.

G.1 Circuito rectificador de señal

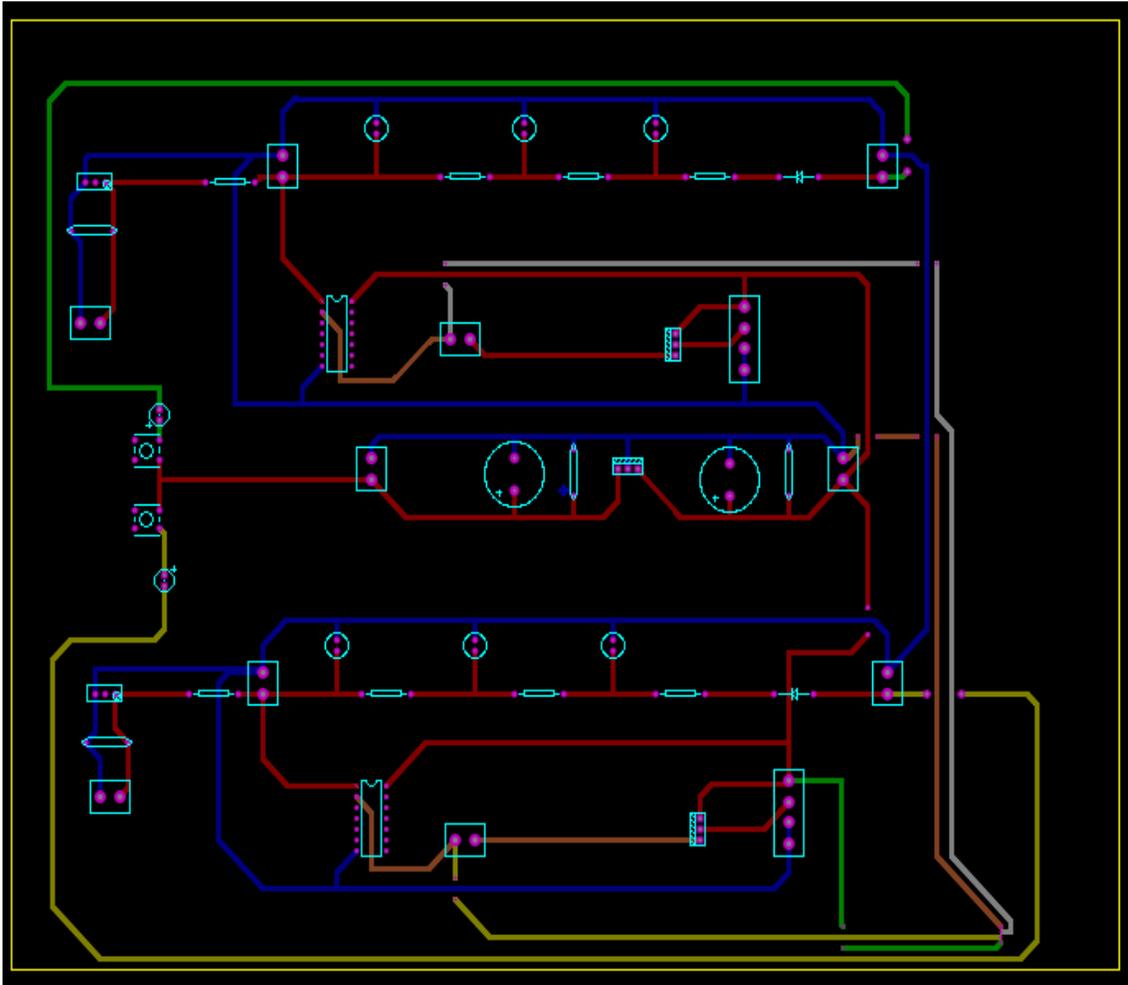


Figura G. 1 Diseño conceptual de circuito rectificador.

