

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL INTELIGENTE DE PROFUNDIDAD APLICADO A LA LABRANZA VERTICAL

Neftalí Cuervo Piña

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Grado de:

Maestro en Ciencias
INGENIERÍA DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
Departamento de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
INTELIGENTE DE PROFUNDIDAD APLICADO A LA LABRANZA VERTICAL**

T E S I S

POR:

NEFTALÍ CUERVO PIÑA

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial, para optar al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal: _____
DR. Santos Gabriel Campos Magaña

Asesor: _____
DR. Martin Cadena Zapata

Asesor: _____
M.C. Héctor Uriel Serna Fernández

Asesor externo: _____
M.C. Marco Antonio Reynolds Chávez

DR. Fernando Ruiz Zarate
Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México.
Junio 2014

Agradecimientos

A todas las personas que hicieron posible directa e indirectamente la realización de este trabajo.

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.

Dr. Martín Cadena Zapata. Por las enseñanzas y apoyo para que este trabajo se realizara.

M.C. Héctor Uriel Serna Fernández. Por la disponibilidad que siempre lo ha caracterizado.

AL M.C. Marco Antonio Reynolds Chávez. Por el liderazgo y la entrega en todas las actividades que demandó la realización de este proyecto de tesis. Así como a su familia por todas las atenciones y afecto que han demostrado hacia mis niñas.

Al Ing. Juan A. López López. Por el apoyo, compañerismo y sus aportaciones a este trabajo.

A don Charles. Por proporcionarnos la mejor atención durante las pruebas en el rancho de la universidad.

A la Sra. **Flor Hernández.** Por darme esa tranquilidad de saber que mis niñas estaban bien cuidadas.

Neftalí Cuervo

*Con todo mi amor y cariño dedico este trabajo a **Natalia** y mi pequeña **Valentina**.*

COMPENDIO

Desarrollo y evaluación de un sistema de control inteligente de profundidad aplicado a la labranza vertical

POR:

Neftalí Cuervo Piña

MAESTRIA

Ingeniería de Sistemas de Producción

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2014

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña -Asesor-

Un sistema de control inteligente fue integrado a un arado articulado de cinceles para la aplicación de laboreo profundo variable. Este sistema fue manipulado usando el controlador FMX y su aplicación Field Level II, la cual se utiliza para la nivelación de terrenos sobre la marcha, permitiendo el control variable de la profundidad de una herramienta de corte de suelo en base al diseño de un mapa de prescripción generado de un mapa de alturas de cortes y rellenos. Basados en este principio, se diseñaron dos prescripciones con profundidades aleatorias de 0.20, 0.30 y 0.40 m simulando la localización de las capas compactadas del suelo. Un actuador hidráulico y una válvula proporcional fueron utilizados para el control de profundidad variable en forma continua. Se obtuvo como resultado una metodología que a través de una serie de instrucciones en el controlador es capaz de manipular un sistema electrohidráulico y sucesivamente un implemento de labranza profunda en forma variable.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Controlador FmX, señal RTK, Field Level II, y laboreo primario.

ABSTRACT

Development and evaluation of a depth intelligent control system applied to tine tillage.

By:

Neftalí Cuervo Piña

MASTER

Production System Engineering

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Saltillo, Coahuila, México.

June 2014

PhD. Santos Gabriel Campos Magaña -Advisor-

From a diagnosis map of penetration resistance soil (RP) with high precision, a map with three depth levels for variable primary tillage was generated. For this purpose, a survey was conducted with 4000 data collected. Prescription map for three ranges to 0.20, 0.30 and 0.40 m depth were settled in one hectare. The maps were edited in QGIS version 2.2.0. For field application phase of prescribed tillage an articulated chisel plow prototype with rear section attached the FMX Trimble drive controller was used. This system was integrated for the device FMX AgGPS, antenna RTK correction signal and electrohydraulic proportional valve. The prescription map has the requirements to be implemented by the Field Level II application features. The working depth was measured in real time by a sensor with less precision to 0.005 m, to contrast the prescribed versus actual depth . The results show that the Field Level II application is able to manipulate the primary tillage variable and automatically, using a map based on a prescription.

Keywords: Precision Agriculture, FMX drive controllers, RTK signal, Field Level II, and primary tillage.

Índice general

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo General	3
1.2. Objetivos Específicos	4
1.3. Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Labranza	5
2.1.1. Labranza Primaria	6
2.1.2. Labranza Vertical	7
2.1.3. Uso de Implementos para Labranza Vertical	8
2.2. Agricultura de Precisión	9
2.2.1. Variabilidad espacial y temporal	10
2.2.2. Tratamiento de la variabilidad	11
2.2.3. Manejo de sitio específico	12
2.2.4. Impacto de la Agricultura de Precisión	13
2.2.5. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	15
2.2.6. FmX	15

2.2.7. Señales de corrección	16
2.3. Uso de sensores para la agricultura	18
2.3.1. Manejo de la información	21
2.3.2. Aplicaciones en todo el mundo	22
2.3.3. Tendencia de adopción	26
2.3.4. Nuevas tendencias en la investigación de AP	28
2.4. Sistemas de control en la agricultura de precisión	30
2.4.1. Sistemas hidráulicos	31
2.5. Circuitos electrónicos	36
2.5.1. Sensores de profundidad de trabajo	38
2.5.2. Sensores Ultrasónicos	39
2.5.3. Sensores infrarrojos	39
2.5.4. Funcionamiento de tecnología infrarroja	40
2.5.5. Electrónica digital	41
2.5.6. Compuertas	41
3. MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1. Desarrollo y calibración de equipos	44
3.1.1. Desarrollo del Prototipo	44
3.1.2. Sensor de distancia	49
3.1.3. Evaluación Estática	51
3.1.4. Sensor para la medición de resistencia a la penetración del suelo	53
3.1.5. Sistema de control	54

3.1.6. Evaluación dinámica	57
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.1. Desarrollo y calibración de equipos	60
4.1.1. Desarrollo del Prototipo	60
4.1.2. Calibración del sensor de Distancia (Sonar).	62
4.1.3. Mapa de diagnóstico de capas compactadas	65
4.1.4. Evaluación del sensor de distancia bajo condiciones de campo.	66
4.1.5. Evaluación Estática	68
4.2. Metodología desarrollada para la prescripción de laboreo variable	71
4.2.1. Evaluación Dinámica	77
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1. Conclusiones	82
5.2. Recomendaciones	83
A. Planos de diseño del arado articulado	92
B. Metodología para la generación de Mapas de Prescripción	130
B.1. Agregar aplicaciones a la pantalla FmX	130
B.2. Configuración de la estación base RTK	131
B.2.1. Configuración del receptor	131
B.2.2. Cambiando el nombre y la descripción de la estación base	131
B.2.3. Configuración de la referencia latitud, longitud y altura de la estación base	132

B.2.4. Medición y cambio de la altura de la antena	133
B.3. Levantamiento topográfico	134
B.4. Conversión de coordenadas	136
B.4.1. Conversión de coordenadas GMS.d a G.d	136
B.4.2. Extracción de coordenadas del MBP	137
B.4.3. Conversión de coordenadas geográficas a UTM	139
B.5. Alturas de Prescripción	145
B.5.1. Adición de los puntos del Trazado (relativas) a la base Multiplane.txt	146
B.5.2. Procesado en el simulador de la pantalla FmX	148
B.5.3. Cargar mapa de prescripción a la pantalla FmX	151
B.5.4. Diseño de trabajo en FieldLevel II	152
B.6. Laboreo Variable en base al mapa de prescripción	154
B.6.1. Ajustes preliminares	154
B.6.2. Trabajo en campo	155

Índice de figuras

2.1. Centro abierto	33
2.2. Centro cerrado	34
2.3. Actuador hidráulico de doble efecto. (Unidad didáctica neumática e hidráulica)	35
2.4. Electroválvula de doble solenoide	36
2.5. Comparación gráfica de una señal analógica y una señal digital . .	41
2.6. Símbolo lógico de la compuerta NOR	42
3.1. Diagrama del proceso metodológico	43
3.2. Diseño del arado articulado	46
3.3. Ensamble y acabado del prototipo	46
3.4. Pruebas de movilidad del arado articulado	47
3.5. Rediseño en brazos superiores del paralelogramo.	48
3.6. Arado articulado	48
3.7. Diagrama de amplificador AD620.	49
3.8. Evaluación del sensor bajo condiciones de campo.	51
3.9. (a) Grosero 0.10 m arriba; (b) Grosero 0.20 m arriba; (c) Grosero 0.10 m abajo y (d) Grosero 020 m abajo.	52
3.10. Variables medidas	53

3.11. Ubicación del penetrómetro en el carro-portasensores.	54
3.12. Conexión de los dispositivos a la pantalla FmX	55
3.13. Pantalla FmX montada en el tractor	55
3.14. Estación base RTK en campo	56
3.15. Diagrama del proceso metodológico para la aplicación de labranza variable inteligente.	59
4.1. Prototipo de arado articulado	61
4.2. Desplazamiento superior.	62
4.3. Desplazamiento inferior.	62
4.4. Sonar LV-MaxSonar-EZ1	62
4.5. Gráfica de respuesta de calibración del sensor.	63
4.6. Ecuación de respuesta del sensor de distancia	64
4.7. Carro-portasensores.	65
4.8. Mapa 2D de Resistencia a la penetración para 0.40 m. de profun- didad.	65
4.9. Mapa 3D de Resistencia a la penetración para 0.40 m. de profun- didad.	66
4.10. Gráfica de comportamiento del sonar en campo R1.	67
4.11. Gráfica de comportamiento del sonar en campo R2.	67
4.12. Respuesta 100 mm hacia arriba	68
4.13. Respuesta 100 mm hacia abajo	69
4.14. Respuesta 200 mm hacia arriba	69
4.15. Respuesta 200 mm hacia abajo	70

4.16. Comparación de medias. Distancia $-1 = 100mm$, $1 = 200mm$; Dirección $-1 = Arriba$, $1 = Abajo$	71
4.17. Trazado de puntos de control en parcela de prueba	72
4.18. Captura de puntos trazados con la pantalla FmX	72
4.19. Mapa de alturas mostrado desde la pantalla FmX	73
4.20. Base de datos Multiplane.txt modificada	75
4.21. Ventana de aplicación <i>Editor de planos</i>	76
4.22. Diseño de un nuevo plano	77
4.23. (a) Recorrido 1; (b) Recorrido 3; (c) Recorrido 2 y (d) Recorrido 4.	79
4.24. (a) Recorrido 1; (b) Recorrido 3; (c) Recorrido 5 y (d) Recorrido 7.	80
4.25. (a) Recorrido 2; (b) Recorrido 4; (c) Recorrido 6 y (d) Recorrido 8.	81
B.1. Base de datos del trazado en hoja de cálculo de Excel	136
B.2. Conversión de coordenadas de latitud	137
B.3. Conversión de coordenadas de longitud	137
B.4. Visualización de coordenadas del MBP	138
B.5. Adición del MBP a la base del trazado	138
B.6. Guardar como Archivo de texto	138
B.7. Abrir archivo de texto en QGIS	139
B.8. Parámetros para la generación de una capa en QGIS	139
B.9. Selección del sistema de referencia de coordenadas	140
B.10. Ventana de QGIS Guardar como...	140
B.11. Ventana de QGIS Guardar capa vectorial como...	141
B.12. Añadir columnas de geometría	142

B.13. Parámetros para añadir columnas con coordenadas UTM	142
B.14. Abrir tabla de atributos	143
B.15. Copiar coordenadas UTM al portapapeles	143
B.16. Coordenadas UTM en Excel	144
B.17. Coordenadas relativas al MBP	144
B.18. Prescripciones	145
B.19. Carpeta generada en levantamiento	146
B.20. Archivo Multiplane.txt en Excel	147
B.21. Inserción de puntos de trazado a la base Multiplane	147
B.22. Aplicación de formato a base Multiplane	148
B.23. Ventana de advertencia del uso del formato Texto	148
B.24. Archivos sin borrar del campo	149
B.25. Selección del campo en simulador	150
B.26. Carpeta del campo Parcela1p pegada en la carpeta de campos de la memoria USB	151
B.27. Carga del mapa de prescripción a la pantalla FmX	152
B.28. Diseño de un nuevo plano	153
B.29. Ventana de aplicación <i>Editor de planos</i>	154
B.30. Configuración FieldLevel II	155
B.31. Fijar altura de referencia del MBP	156

Índice de cuadros

4.1. Descripción de los elementos que conforman el prototipo de la- branza vertical articulado.	61
4.2. Proporción entre valores de distancia y voltaje para la obtención de la constante de calibración.	64
4.3. Prescripción 1	78
4.4. Prescripción 2	80

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la optimización en el uso de insumos y rendimientos en el manejo de las producciones agrícolas es una tendencia global de la agricultura de precisión. El manejo de sitio específico es imprescindible para delimitar áreas de manejo dentro del lote. Un 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 de un cultivo específico es apropiado (Doerge, 1998). Por lo tanto, las zonas de manejo dentro de un campo pueden ser diferentes para diferentes insumos y delimitados en su aplicación para cada sitio. La forma de manejo de zonas distintas dentro de un campo es una función de la variabilidad natural dentro del campo, su tamaño y ciertos factores de manejo. Existen ciertas partes dentro de un campo que siempre producen por debajo de la línea de equilibrio, pueden ser aisladas para el desarrollo de un plan de manejo de sitio específico (Goddard, 1997).

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 continuo o sobre la marcha "ON-THE-GO" para campo, suelo y variabilidad de campo son demasiado caros, no son suficientemente precisos, no están disponibles o no son compatibles con las tecnologías ya desarrolladas en forma comercial.

Las bases de datos espaciales han sido generadas utilizando diversos sistemas de información geográfica, mediante la integración de mapas derivados de sensores remotos, muestreo de suelos, control de rendimiento y varios sensores. Los métodos de geo estadística avanzada se utilizan para analizar la variabilidad espacial y temporal (Pena-Yewtukhiw *et al.*, 2000). Chang *et al.* (2000) compararon diferentes enfoques para clasificar las zonas de manejo de nutrientes. Zhang *et al.* (1999) introdujeron los métodos de delimitación de zonas de manejo utilizando herramientas de filtrado espacial morfológico-y filtrado de herramientas espaciales. Las técnicas de cultivos de modelado se han incorporado para desarrollar mapas de potencial de rendimiento como una base para la prescripción de fertilizantes (Werner *et al.*, 2000). Según Gonçalves *et al.* (2001), una vez cuantificada la dependencia espacial de las propiedades del suelo, esta puede utilizarse para la interpolación entre observaciones, permitiendo el mapeo de la propiedad del suelo dentro del área. El mapeo de algunos factores de producción puede permitir que el campo sea subdividido, siendo el manejo de los insumos hecho de forma diferenciada en las sub-áreas (Evans *et al.*, 1995).

La variabilidad se puede lograr conducir mediante dos enfoques: a base del enfoque de mapas y el enfoque basado en el sensor, así mismo, su aplicación es realizada a través de la "VRT" o aplicación tecnológica variable. En esta tecnología, los insumos agrícolas, tales como agua, fertilizantes, productos químicos y así sucesivamente se aplican en base a los requerimientos de cada sección del campo (K. *et al.*, 2004). La aplicación de tecnología de tasa variable VRT utiliza controles por medio de dispositivos electromecánicos. Así mismo, utiliza sistemas basados en GPS+RTK para la localización precisa de esas áreas o zonas delimitadas originalmente desde su diagnóstico, posterior prescripción y su aplicación. Estos sistemas de posicionamiento requieren dos receptores, un enlace de radio y controlador de navegación que integra los sensores y datos del GPS para calcular la posición final del receptor (Misra y Enge, 2006).

En la aplicación de labranza primaria variable solo existen pequeñas con-

tribuciones a nivel experimental. Andrade-Sanchez *et al.* (2008) presentaron un procedimiento utilizando ESRI, ArcGIS 9.1v (ESRI, Redlands, California) un programa para la interpretación de la variabilidad espacial de la resistencia de un cortador de suelo dentro de un campo. Khalilian *et al.* (2002) reportaron la aplicación de un sistema de control para labranza variable profunda, utilizando un potenciómetro lineal para el envío de señales de posicionamiento a una válvula electrohidráulica proporcional que estaba conectada a un dispositivo de accionamiento hidráulico. Gorucu *et al.* (2001) evaluaron labranza primaria a diferentes profundidades (25, 33,38 y 45 cm) ajustando el cambio de posición en las ruedas del equipo de labranza.

El propósito de esta investigación fue desarrollar una metodología para la aplicación de labranza profunda variable, a partir del uso del controlador FmX y su aplicación FieldLevel II; además este sistema está integrado por un prototipo articulado de arado de cinceles para la aplicación de labranza, una válvula electrohidráulica proporcional y actuadores hidráulicos, los cuales permiten el control variable de la profundidad del implemento en base al diseño de un mapa de prescripción generado a partir de un diagnóstico de localización de capas compactadas. Basado en este principio, se diseñó una prescripción a partir de profundidades aleatorias de 0.20, 0.30 y 0.40 m simulando la localización de capas compactadas a las profundidades descritas y verificadas en tiempo real con un sensor de profundidad.

1.1 Objetivo General

Aplicar el laboreo primario de suelos basado en un mapa de prescripción de compactación del suelo, utilizando sistemas de control inteligente.

1.2 Objetivos Específicos

- Rediseñar un prototipo articulado para labranza vertical
- Elaborar una metodología para la generación de mapas de prescripción.
- Controlar la profundidad de laboreo en base al mapa de prescripción.

1.3 Hipótesis

Es posible controlar la profundidad de laboreo en base a un mapa de prescripción mediante un sistema de control inteligente.

Capítulo 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Labranza

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, 1999). Los sistemas de labranza constituyen un elemento principal dentro de los sistemas agrícolas de producción, donde muchas de las actividades posteriores afectan de forma directa al cultivo ya establecido y que dependen en gran medida del sistema de labranza aplicado a la preparación del terreno (Martínez, 1999)

Dentro de los sistemas de labranza están aquellos que hacen una remoción completa del suelo y en ocasiones una fragmentación excesiva de las partículas y no consideran la compactación del suelo, y que se conoce comúnmente como labranza tradicional. Por otro lado existe también el sistema de labranza de conservación, que se define como cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de labranza convencional (Lal,

1995).

Vivero (1998) señala que la escasa y fluctuante producción agrícola frente a un consumo creciente de alimentos obliga al productor agrícola a incrementar su producción con cultivos intensivos cada vez más mecanizados, con implementos inadecuados y en momentos inoportunos. 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 Multi-arado

2.1.1. Labranza Primaria

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. Los cambios promovidos por la labranza deben favorecer la producción de los cultivos y mantener la calidad física del suelo, pero debido al uso inadecuado de los implementos de labranza se provoca la erosión y degradación física de éste. La degradación física del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo (Velázquez, 2011).

Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie con el surgimiento de finas costras; por debajo de la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación Cabeda (1983) menciona que las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan.

Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo son (Cabeda, 1983): a) Cobertura inadecuada de la superficie del suelo: que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de lluvias; co-

mo consecuencia ocurre el colapso estructural de estos agregados, formándose costras con espesor medio de un milímetro, que reducen drásticamente la infiltración de agua. b) Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada: la labranza en exceso y superficial lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión).c) La reducción de la rugosidad: provocada por la labranza.

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). Por otro lado, el alto costo en las labores es debido a un gran número de pasos de implementos y por lo tanto, grandes consumos de energía en forma de combustible. Es un factor que puede limitar la actividad agrícola pues reduce el costo beneficio del sistema de producción. Steiner (1998) menciona que para muchos agricultores antes de una conciencia conservacionista, la principal razón de adopción de los sistemas de labranza de conservación es la posibilidad de reducción de costos.

Para Derpsch (2007) la reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícola, es un tema de gran importancia pues contribuye al éxito financiero de los mismos y con la disminución de subsidios y una gran competencia en el mercado globalizado, los agricultores consideran actualmente opciones de reducción de labores y gasto de energía para bajar los costos.

2.1.2. Labranza Vertical

La labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de

más de 30 % sobre la superficie (Velázquez, 2011).

La labranza vertical es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobre todo debido a que el vibro-cultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por consiguiente es posible preparar entre 50 hasta 80 % más de superficie por día con labranza vertical, si se la compara con labranza convencional (Barber *et al.*, 1993).

La principal característica de la labranza vertical es que utiliza brazos o flejes equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo, dejando en la superficie una cobertura protectora formada por los residuos del cultivo anterior y por las malezas arrancadas (Barber *et al.*, 1993).

2.1.3. Uso de Implementos para Labranza Vertical

Los implementos labranza vertical tipo cincel, demandan una menor cantidad de energía que los sistemas de labranza convencional (Hoogmoed, 1999); (Camacho-Tamayo y Rodríguez, 2007). De acuerdo con Raper y Bergtold (2007) se puede hacer mucho para disminuir el costo de operaciones con labranza vertical vía reducción de uso de energía, seleccionando la adecuada geometría de los implementos, la adecuada profundidad de trabajo y humedad en el perfil del suelo.

Entre los factores que inciden para que una herramienta de labranza requiera una menor o mayor fuerza de arrastre están, la humedad en el suelo al momento de la labor, 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 y

la velocidad de trabajo así como la geometría de las partes y aditamentos del implemento y la configuración cuando se trata de una combinación de herramientas como en la siembra directa (Godwin y O'Dogherty, 2007).

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 (Aluko y Seig, 2000), así como, la menor resistencia específica (Magalhães y Souza, 1990). Por otra parte, McKyes (1985) describe que 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 (McKyes, 1985).

2.2 Agricultura de Precisión

Khosla (2001) define a la agricultura de precisión como el arte y ciencia de utilizar tecnologías avanzadas para mejorar la producción de los cultivos reduciendo la contaminación ambiental.

Para Koch y Koshla (2003) la agricultura de precisión es una disciplina nueva en desarrollo que incorpora tecnologías avanzadas para incrementar la eficiencia en la aplicación de insumos agrícolas de una forma rentable, y sensible de cierta manera con el ambiente. Las tecnologías de precisión más usadas son el monitoreo del rendimiento y la aplicación variable de insumos. Se están desarrollando tecnologías como sistemas de guiado utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS) y manejo de sitio específico para incrementar la productividad al reducir el error, costo y tiempo. Estas tecnologías proveen herramientas para cuantificar y administrar la variabilidad que existe en el campo a través de un arreglo de los

sistemas de cultivo.

2.2.1. Variabilidad espacial y temporal

La variabilidad que tiene un efecto considerable en la producción agrícola; se puede clasificar en seis grupos:

1. Variabilidad en Rendimiento

Está dada por la distribución de los rendimientos históricos y actuales.

2. Variabilidad del terreno

La variabilidad en el terreno está dada principalmente por su topografía, pendiente, aspecto; y la cercanía al límite del terreno y arroyos.

3. Variabilidad del suelo

La fertilidad del suelo o su contenido de N, P, K, Ca, Mg, C, Fe, Mn, Zn, y Cu; las propiedades físicas del suelo (textura, densidad, resistencia mecánica, contenido de humedad y conductividad eléctrica); propiedades químicas (pH, materia orgánica, salinidad, y capacidad de intercambio catiónico); disponibilidad del agua del suelo para las plantas, capacidad de retención de humedad, conductividad hidráulica y profundidad del suelo.

4. Variabilidad del cultivo.

Densidad de plantas; altura de plantas; deficiencias de N, P, K, Ca, Mg, C, Fe, Mn, Zn, and Cu; estrés hídrico; propiedades fisiológicas (índice de área foliar), captación de la radiación fotosintéticamente activa y biomasa, contenido de clorofila de las hojas, y calidad de grano.

5. Variabilidad en factores externos

Infestación por malezas, insectos, nematodos; enfermedades; daño por viento y daño por acolchados con heno.

6. Variabilidad en el manejo de cultivo

Prácticas de labranza; semillas mejoradas; densidad de siembra; rotación de cultivos; aplicación de fertilizantes, pesticidas y sistemas de riego.

Dentro de estos tipos de variabilidad, la variabilidad en el rendimiento a menudo se considera la última variable dependiente, mientras que la mayoría de los demás tipos de variabilidad son considerados como variables independientes. La variable independiente que más se ha estudiado hasta la actualidad es el nivel de fertilidad del nitrógeno del suelo. A decir verdad las tecnologías de dosificación variable para aplicaciones químicas que más desarrollo han tenido son los aplicadores de fertilizantes nitrogenados (O'Neal *et al.*, 2000) .

2.2.2. Tratamiento de la variabilidad

La gestión de la variabilidad se puede lograr mediante dos enfoques: en base a un mapa y en base a un sensor. Con las tecnologías disponibles de GPS, percepción remota, monitoreo de rendimiento y muestreo de suelo, la opción en base a un mapa normalmente es más fácil de implementar. Ésta opción requiere del siguiente procedimiento: muestreo del suelo, analizar las muestras de suelo en laboratorio, generar un mapa de sitio específico y por último usar este mapa para controlar un dispositivo de dosificación variable. Para esta propuesta normalmente se requiere de un sistema de posicionamiento, como el GPS. Por otro lado, la opción basada en el uso de un sensor, mide las propiedades deseadas como las propiedades del suelo y planta usando sensores en tiempo real y de forma dinámica, controla dosificadores variables basados en las mediciones. Para los sensores no siempre es necesario un dispositivo de posicionamiento. La mayoría de los sistemas de agricultura de precisión experimentales son sistemas en base a un mapa, porque la mayoría de los sensores en tiempo real para el

monitoreo del campo, suelo y variabilidad del terreno son muy caros, no muy precisos o no están disponibles. Las bases de datos espaciales han sido generadas usando varios sistemas SIG integrando mapas derivados de sensores remotos, muestreo de suelo, monitoreo de rendimiento y varios sensores. Para analizar la variabilidad espacial y temporal se usan métodos geo-estadísticos avanzados (Pena-Yewtukhiw *et al.*, 2000). Se han integrado técnicas de modelado de cultivo para desarrollar mapas de potencial productivo que sirvan de referencia para la prescripción de fertilizantes (Werner *et al.*, 2000). Estos mapas se pueden usar para predecir la variabilidad en el crecimiento del cultivo y enfermedades basados en condiciones climáticas proyectadas. Para esto, la AP proporciona una herramienta ideal para la evaluación del riesgo agrícola y la planificación del trabajo de campo de forma racional.

2.2.3. Manejo de sitio específico

Las aplicaciones de insumos agrícolas por sitio específico se pueden implementar dividiendo un campo en zonas más pequeñas; que sean más homogéneas en las propiedades de interés que el campo en su totalidad. Un manejo de sitio específico se define como una porción del terreno 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). Así, el manejo de sitio específico en un campo puede ser diferente para los diferentes insumos. El manejo de un sitio puede ser delimitado por mas de un insumo agrícola. En este caso, se aplica una dosificación simple para cada insumo dentro del sitio. El número de los diferentes sitios dentro de un mismo campo esta 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 del 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. Sin embargo, en realidad, cuando se delimitan los sitios específicos se debe considerar el patrón que seguirá el equipo de aplicación en el campo (Kvien y Pocknee, 2000).

El concepto de manejo de zona puede ser percibido como un retroceso desde el concepto inicial de la AP 'la agricultura a pie'. Sin embargo, las zonas de manejo son más prácticas de implementar. La delimitación de zonas de manejo implica filtrado espacial para reducir los efectos del ruido en las mediciones de los factores individuales. La eliminación del exceso de detalles en la variabilidad dentro de campo simplifica las formas de las zonas y, por lo tanto, reduce los requisitos para el equipo VRT. Chang *et al.* (2000) compararon diferentes enfoques para clasificar las zonas de manejo de nutrientes. Zhang y Taylor (2000) introdujo los métodos de delimitación de zonas de manejo utilizando herramientas de filtrado espacial morfológico-y filtrado de herramientas espaciales

2.2.4. Impacto de la Agricultura de Precisión

El impacto de las tecnologías de AP en la producción agrícola se espera en dos áreas: rentabilidad para los productores y beneficios ecológicos y ambientales para la sociedad.

Rentabilidad

La AP permite un seguimiento preciso y fino de la producción agrícola . Las tecnologías de PA proporcionan a los agricultores la oportunidad de cambiar la distribución y el momento de fertilización y otros agroquímicos basados en la variabilidad espacial y temporal en un campo . Los agricultores pueden hacer análisis económicos basándose sobre la variabilidad de los rendimientos de

los cultivos en un campo para obtener una evaluación precisa de los riesgos. Al conocer el costo de los insumos , los agricultores también pueden calcular el retorno de efectivo sobre los costos por cada hectárea . Ciertas partes dentro de un campo , que siempre producen por debajo de la línea de equilibrio, puede ser aisladas para el desarrollo del plan de manejo de sitio específico (Goddard, 1997). Los beneficios económicos resultantes de la PA, sin embargo, han demostrado ser difíciles de medir (Lowenberg-DeBoer, 1996). Griffin *et al.* (2000) en comparación con la VRT tecnología de tasa uniforme (URT) para la aplicación de fósforo en un arroz y soja rotación en Arkansas y encontraron que la rentabilidad de la VRT fue altamente sensible a tanto P residual y el contenido de arcilla del suelo. Incluso cuando VRT se encontró rentable en limo campos marga , que cambian de URT a VRT durante un horizonte de planificación de 10 años pueden ser desaconsejable , ya que el aumento de los ingresos procedentes de los rendimientos no cubre el costo de la VRT aplicación . Si un enfoque integral de la explotación , que toma todas las actividades de cultivo y las limitaciones de recursos en cuenta , es una adaptación , tecnologías PA puede llegar a ser beneficioso para mejorar el potencial de ganancias y para reducir los riesgos (Oriade y Popp, 2000).

Ambiente

En algunos países como Estados Unidos, Australia, Reino Unido, Dinamarca y Alemania has desarrollado leyes ambientales estrictas para reducir el uso de agroquímicos. Con la AP se ha reducido considerablemente el uso de estos productos al ser aplicados con mayor eficiencia al suministrarlos en la dosis óptima y en las áreas donde se requiere.

Sin embargo los beneficios ambientales que conlleva la practica de la AP no han sido medidos sistemática y cuantitativamente. Algunos investigadores han publicado evidencias positivas. En los sistemas de producción como la papa, la lixiviación de nitratos ha sido uno de los principales problemas. Un estudio realizado en

dos campos adyacentes, uno tratado de forma tradicional en la fertilización nitrogenada y el otro con Tecnologías de Dosificación Variable (TDV), ha demostrado el efecto de las TDV al reducir la contaminación de los mantos acuíferos. Con la disponibilidad de datos topográficos para campos implementados con tecnologías de AP, se puede analizar la interacción

2.2.5. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

A finales de los años 80's, los sistemas de posicionamiento global (GPS), NAVSTAR-GPS y GLONASS, marcaron una nueva era. Para la milicia, el posicionamiento en tiempo real estuvo disponible en cualquier lugar y hora. Los dos tipos de información podían ser usados para propósitos civiles, incluso si la precisión obtenida era alterada. En la actualidad, el GPS se aprovecha para fines civiles principalmente. En Norte América y Europa los servicios de referencia proveen de posicionamiento de alta precisión de 1-5 m en tiempo real. Dispositivos más avanzados pueden llegar a alcanzar precisiones de centímetros permitiendo navegaciones de vehículos exactas o incluso automatizadas. En la agricultura, las posibilidades de aplicación están dirigidas al posicionamiento y navegación (Auernhammer (2001)).

2.2.6. FmX

La pantalla integrada Trimble FmX, que consiste tanto de software como de hardware, es un avanzado sistema de administración de datos de campo. 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. Ahora, con la pantalla integrada FmX, la misma precisión puede ser controlada con una interfaz táctil y proporcionar una dirección confiable, precisa y fácil.

2.2.7. Señales de corrección

CenterPoint RTK

PRECISIÓN: Menor a 2.5 cm.

INICIALIZACIÓN/CONVERGENCIA: Menor a 1 min.

CenterPoint RTK es más adecuado para:

- Establecimientos agrícolas a 12,5 km de una estación base RTK o red de estaciones base
- Establecimientos agrícolas sin obstrucción de la visual, tales como terrenos empinados o una abundancia de árboles
- Usar con cultivos en surco, labranza localizada, nivelación de terrenos y aplicaciones de drenaje que requieren de la mejor precisión horizontal y vertical posible.

CenterPoint RTX

PRECISION: 3.8 cm.

INICIALIZACION/CONVERGENCIA: Estándar.

CenterPoint RTX es más adecuado para:

- Establecimientos agrícolas de cualquier lugar del mundo
- Establecimientos agrícolas alejados de las zonas de cobertura de estación base RTK

- Usar con la pantalla integrada Trimble FmX, la pantalla CFX.750 o el receptor AG-372 GNSS
- Usar con cultivos y aplicaciones que necesiten precisión de 3,8 cm.

Omnistar XP

PRECISIÓN: 8-10 cm.

INICIALIZACIÓN/CONVERGENCIA: Estándar.

Omnistar XP es más adecuado para:

- Aplicaciones de siembra localizada y pulverización de cultivos con alta precisión
- Operaciones en zonas con clara visibilidad del cielo en todo momento

Omnistar G2

PRECISIÓN: 8-10 cm.

INICIALIZACIÓN/CONVERGENCIA: Estándar

Omnistar G2 es más adecuado para:

- Utilizar cuando se necesite un tiempo de cobertura más confiable, al usar satélites GLONASS además de los satélites GPS normales.
- Operaciones en zonas con clara visibilidad del cielo en todo momento.

2.3 Uso de sensores para la agricultura

Sensores de rendimiento

EL rendimiento en granos es medido usando cuatro tipos de sensores por impacto de rendimiento o sensores de flujo másico, sensores en base al peso, sensores ópticos de rendimiento, y sensores de rayos- γ . La mayoría de las compañías de equipos agrícolas proveen de sistemas de mapeo de rendimiento opcionales para sus cosechadoras combinadas. Las técnicas de monitoreo de rendimiento para la mayoría de los cultivos están bien avanzadas en su desarrollo. Para los forrajes, los monitores de rendimiento usan un sensor de desplazamiento, una célula de carga, un oscilador con control por capacitancia y se han estudiado sensores ópticos. Se ha utilizado un sensor óptico para medir el espectro de radiación en banda de onda roja e infrarroja cercana para estimar el rendimiento durante la temporada de cultivo y para guiar las TDV en las fertilizaciones con nitrógeno. Investigadores desarrollaron un sistema de monitoreo de rendimiento de flujo másico continuo, equipado con células de carga y un transductor angular resistente a la vibración junto con tecnología DGPS, para registrar datos de rendimiento variable espacial para tomate en tiempo real.

Sensores en Cultivos

Se han desarrollado sensores para medir diferentes características de un cultivo como altura de planta, densidad de plantas, deficiencias nutricionales, contenido de clorofila, temperatura del dosel, contenido de humedad del forraje, estrés por salinidad, enfermedades y agua; por mencionar algunos.

Sensores de Malezas

Comercialmente se han liberado diversos sensores de malezas. Tian *et al.* (1999) desarrollaron un sistema inteligente de sensado y aspersión para identificar las zonas infestadas por malezas con buena precisión. Feyaerts *et al.* (1998) desarrollaron un sensor óptico de malezas basándose en un estudio de características espectrales de malezas, cultivos y suelo. Se usó un transductor infrarrojo de temperatura de plantas desarrollado por Michels *et al.* (2000) para medir los cambios en la temperatura de la planta provocados por una infestación de pulgón verde.

Dosificadores de agroquímicos

Muchos fabricantes se dedican a la producción de controladores, pulverizadores, aspersores, sistemas de amoniaco anhidro y aplicadores de herbicidas con Tecnología de Dosificación Variable. Desarrollaron un sistema de boquilla de inyección directa para la aplicación de herbicidas. Diseñaron un sensor óptico para medir el flujo de fertilizantes granulados en columnas de aire para control de retroalimentación de un esparcidor de flujo variable.

Sistemas de guiado automático

Un sistema de guiado automático puede posicionar un vehículo en movimiento en un rango de 30 cm o menos usando un DGPS de alta precisión.

Sistemas de cosecha robóticos

Investigadores Japoneses un desarrollaron un sistema de vehículo con seguimiento automático y un vehículo autónomo para diversas tareas agrícolas.

Existen de forma comercial robots cosechadores para tomate, tomate cherry, melón, fresa, uva y sandía.

Los sistemas en red

Un sistema de control distribuido mediante una red área controlada (CAN) la comunicación entre los sensores y actuadores individuales, un controlador de supervisión, y un sistema de navegación fue diseñado e instalado para controlar tamaño de gota asperjada y tasa de aplicación para los productos químicos agrícolas Stone *et al.* (1999).

La teledetección o sensores remotos

Las técnicas de teledetección o sensores remotos han tenido un uso limitado en la AP debido a la necesidad de alta resolución en las imágenes espaciales. De acuerdo con la literatura reciente , imágenes de tele-observación se han utilizado para predecir necesidad de nitrógeno en el maíz (Scharf y Lory, 2000) , para estimar rendimiento de fibra de algodón (Li *et al.*, 2000; Hendrickson y Han, 2000) , para evaluar los daños de insectos en el trigo (Riedell *et al.*, 2000) , para detectar los ácaros de araña en algodón (Fitzgerald *et al.*, 2000) , para ayudar en la aplicación de insecticidas (Seal *et al.*, 2000) , para estimar la concentración de arcilla en la superficie del suelo (Chen *et al.*, 2000) , para detectar las malas hierbas (Varner *et al.*, 2000) ,para cuantificar daños por granizo o el viento en los cultivos (Erickson *et al.*, 2000) o para detectar y clasificar las anomalías (fenómenos inusuales) (Carter y Johannsen, 2000) .

La tele-observación o sensores remotos por satélite ha resistido muchas promesas para el monitoreo de un mismo campo, pero aún tiene que demostrar evidencia sólida para el éxito completo. Los problemas incluyen puntualidad, la nubosidad, el costo, la mala resolución espacial, y la falta de procesamiento para

producir datos de imágenes de uso a los gerentes de los cultivos. Los sensores hiper-espectrales son relativamente tecnología nueva que es capaz de proporcionar información casi continua de un espectro en las bandas de onda visibles, NIR y MIR. Las imágenes obtenidas a partir de sensores hiper-espectrales han sido utilizadas para la estimación y predicción de vigor y rendimiento del cultivo; la discriminación entre los cultivos, malezas, residuos y suelos; y cuantitativas mediciones del contenido de agua en los cultivos y el índice de área foliar. La medición en el MIR de banda también tiene potencial para proporcionar información sobre los nutrientes de las plantas y propiedades del suelo (Deguise y McNairn, 2000).

2.3.1. Manejo de la información

Después de más de una década de investigación y práctica, la AP ha acumulado una enorme cantidad de datos y ahora se enfrenta a un grave problema de "desbordamiento de datos". Para la información espacial / temporal que se ha recogido, hay una necesidad urgente de herramientas diseñadas específicamente para el almacenamiento, procesamiento, gestión y análisis. También hay una fuerte necesidad de intercambio de datos de normalización.

SIG (Field-level) a nivel de campo

Paquetes de SIG de propósito general, como ArcView, Idrisi y SURFER, proporcionan muchas funciones, algunas de las cuales ofrecen poco valor para aplicaciones de AP. La mayoría de estos paquetes son caros y requieren plataformas de computadoras que no por lo general los agricultores no poseen. Para hacer frente a la urgente necesidad de aplicaciones de AP a nivel de campo, muchos paquetes de SIG comerciales, tales como los paquetes de software introducidas por AGRIS Corporation, FarmWorks™, Agri-Logic, Inc., John Deere y Precisión

Farming Group, Case Corporation, Rockwell International, y RDI Technologies, Inc., se han desarrollado (Ess *et al.*, 1999). Algunos sistemas interactúan directamente con dispositivos DGPS o sensores de rendimiento para la adquisición de ubicación y datos de rendimiento en tiempo real. Runquist *et al.* (2001) desarrollaron un SIG a nivel de campo (FIS) que contiene funciones analíticas para el análisis de datos espaciales en la investigación de la AP.

Las tecnologías de AP son tecnologías basadas en la información. Como la cantidad de datos generados a partir de ambas fuentes móviles y estáticas, aumenta la necesidad de estandarizar, se ha reconocido la comunicación de datos y de archivos. Se han hecho grandes esfuerzos para establecer un estándar internacional (ISO 11783) para protocolos de comunicación en las máquinas móviles, agrícolas y forestales utilizando sistemas CANs para proporcionar intercambiabilidad entre los productos de sensores y actuadores proporcionadas por diferentes fabricantes y para permitir el diseño modular de nuevos productos. Archivos y formatos de datos se han estandarizado en la norma ISO 11787 (en lo sucesivo «ADIS »* / agrícola norma de intercambio de datos) y están en uso por algunos fabricantes. Con estas normas, la información puede ser intercambiada sin problemas y eficientemente entre los sensores, procesadores, controladores y paquetes de software de diferentes fabricantes (Stafford, 2000).

2.3.2. Aplicaciones en todo el mundo

La investigación de AP se inició en los EE.UU., Canadá, Australia y Europa occidental a mediados o finales de 1980. Aunque un considerable esfuerzo de investigación ha sido gastado, sólo una pequeña parte de los agricultores han practicado algún tipo de tecnologías de la AP. La implementación de la AP ha sido principalmente a través de la utilización de la maquinaria de campo existente, mediante la adición de controladores y GPS para permitir las aplicaciones espacialmente variables. Hasta la fecha, el líder la aplicación de AP todavía es la

aplicación específica en sitio de fertilizantes. En Australia, el monitoreo y mapeo de la variabilidad espacial en el cultivo de granos pequeños, han recibido mucha publicidad. Los monitores de rendimiento de cultivos están disponibles para la papa, cosechadoras de maní y forraje y , todavía están en desarrollo para las cosechadoras de algodón que vigilará los parámetros cuantitativos y cualitativos. El número total de monitores de rendimiento granos que operan en Australia están por debajo de 200 en la actualidad, en comparación con EE.UU., que tiene entre 5000 y 10 000 unidades operativas (mitad con capacidad de DGPS). El movimiento hacia AP en Australia se considera no fuerte (Whelan *et al.*, 1997). En Japón, el Ministerio de Agricultura ha comenzado a invertir en proyectos de investigación de AP, centrándose en la detección y los controles relacionados con la mecanización agrícola. Japón es caracterizado por una agricultura a pequeña escala y de mano de obra en base a manejo por individuo de la planta. La agricultura japonesa se ha enfrentado a muchos problemas graves durante las dos últimas décadas, incluyendo excedentes de arroz a la producción, la reducción rápida en la fuerza de trabajo en la agricultura, cambio de grupo de edad de los agricultores, y las crecientes preocupaciones ambientales. LA agricultura japonesa es diversa en el tamaño del campo , la variedad de cultivos, la elevación del campo , el esquema de gestión de agua, el clima , el suelo, y similares. Se creía que las tecnologías de AP pueden encajar en diferentes escalas de granja, sólo después de una reorganización de la estructura de la agricultura (Shibusawa, 1998).

A pesar de que la mayoría de los experimentos AP se concentraron en aplicaciones VRT de fertilizantes y herbicidas, diversos tipos de tecnologías de AP han sido experimentados en todo el mundo. Los informes sobre experimentos AP en China, Corea, Indonesia, Bangladesh, Sri Lanka, Turquía , Arabia Saudita, Australia, Brasil, Argentina , Chile , Uruguay , Rusia, Italia , Países Bajos , Alemania , Francia , Reino Unido, Estados Unidos y Canadá han sido encontrados en la literatura reciente. La tecnología VRT reciente ha sido probado con éxito en la región sureste de los EE.UU. (Heiniger y Meijer, 2000) . La tecnología VRT tam-

bién fue probado en los híbridos de maíz y la densidad de siembra en Colorado (Shanahan *et al.*, 2000) . Bauer *et al.* (2000) . Las pruebas de campo realizadas en Missouri para determinar las densidades de siembra óptimas en diferentes campos. Un experimento similar realizado en Kansas no mostró ningún beneficio económico mediante la variación de la tasa de plantación (Zhang *et al.*, 1999). En California, se están evaluando los potenciales de las tecnologías de la AP en la producción de arroz a través de un estudio intensivo (Roel *et al.*, 2000) . También en California, un experimento fue llevado a cabo para estudiar la viabilidad de las tecnologías de la AP en la producción de tomate (Rosa *et al.*, 2000) . En Costa Rica, se llevó a cabo un experimento para aplicar las tecnologías de la AP en una plantación de plátanos. El sistema permite a los agricultores para vincular a una base de datos de suelos y para hacer decisiones específicas del sitio sobre la fertilidad y los problemas relacionados con las enfermedades del suelo a través de monitoreo de rendimiento. Un sistema de cable se utiliza para sustituir los caros sistemas de DGPS (Stoorvogel y Orlich, 2000).

Johnson y Bradow (2000) estudiaron los efectos de una serie de propiedades del suelo, incluyendo Mn del suelo, Mg y K, en la calidad de la fibra de algodón en Luisiana y se cree que Tecnologías de AP pueden aplicarse para mejorar la calidad. Gimenez y Lamothe (2000) llevaron a cabo un experimento de campo en Uruguay para evaluar el beneficio de sitio específico en manejo de Zn y concluyó que el beneficio obtenido por la VRT en la aplicación Zn puede llegar a \$ 50 por hectárea. La AP también fue utilizada para optimizar las operaciones de riego. En Carolina del Sur , el estrés de agua en la planta se controló utilizando termómetros infrarrojos en un sistema de riego de pivote central para controlar el funcionamiento del sistema (Evans *et al.*, 2000) . En Arizona, Adamsen *et al.* (2000) estudiaron los sistemas de riego por gravedad y se encontró que la aplicación de agua es inherentemente no uniforme en estos sistemas debido a la variabilidad espacial y temporal de las características de infiltración del suelo. Por lo tanto, el ajuste del diseño físico del sistema de riego o el desarrollo de manejo

de prácticas específicas para campos individuales puede llegar a ser beneficioso para los agricultores. McKinion *et al.* (2001) aplicaron un enfoque de AP a la producción de algodón en Mississippi para automatizar el cálculo de agua óptima y dosis de N. Ellos creían que la AP, junto con los modelos de simulación de cultivos y SIG pueden optimizar los rendimientos y reducir al mínimo las entradas de agua y nitrógeno. El Control de plagas de sitio específico ha sido probado en diferentes cultivos . En el Reino Unido, el potencial para variar la tasa de nematicidas en los campos de papa fue estudiado por (Stafford y Evans, 2000). El Control del sitio específico de gusanos de la raíz del maíz del norte se estudió en el sur de Dakota (Ellsbury *et al.*, 2000).

McLaughlin y Burt (2000) utilizaron sensores para la toma de fuerza en un enganche de tres puntos de un tractor para registrar los datos de la fuerza de tiro e hizo un mapa de labranza - energía en Ontario, Canadá. Estos mapas pueden proporcionar una capa de mapa adicional, de bajo costo para obtener información relacionada con el suelo para Aplicaciones de AP. La fuerza de tiro sobre un arado de vertedera fue grabado por Hayhoe *et al.* (2000). Ellos aplicaron el análisis de Fourier sobre las señales periódicas de fuerza y encontraron que componentes de baja frecuencia de las señales pueden estar relacionados con la variabilidad espacial local en las propiedades físicas del suelo , tales como la humedad del suelo , la textura del suelo , la materia orgánica y fuerza / compactación del suelo. En Wisconsin, Schuler y Lowery (2000) utilizan un sensor TDR en subsolador para medir el contenido de humedad del suelo, mientras que en el subsolado. La señal fue utilizada para controlar la profundidad de funcionamiento del subsolador para que coincidiera con diferentes condiciones del suelo. Tecnologías de AP se experimentó en el heno y la producción de forraje en Quebec, Canadá (D. *et al.*, 1999). Los sensores que miden continuamente los pesos en la empacadora y el carro de arrastre y los sensores que miden simultáneamente flujo de masa y contenido de humedad se ensayaron. El desarrollo exitoso de estos sensores puede permitir varias aplicaciones de AP, incluyendo la selección de cultivares, la

optimización de heno o ensilado, mapeo de rendimiento y el manejo del cultivo de forraje. Tecnologías de AP también se han utilizado en la producción de bosque. En Washington, el GPS receptores y registradores de datos se utilizaron para rastrear las actividades de máquinas cosechadoras de registro (Reutebuch *et al.*, 1999).

2.3.3. Tendencia de adopción

En 1998, una encuesta a nivel nacional se llevó a cabo por el USDA sobre casi 8.500 productores agrícolas en los EE.UU. De acuerdo con los resultados de la encuesta, se estimó que, antes de 1998, sólo cuatro por ciento de todas las granjas utilizan una o más tecnologías de AP para la producción de cultivos. Sin embargo, hay una variación significativa en las tasas de adopción por tecnología específica, región, tamaño de la explotación, tipo de explotación y las características del operador. La tecnologías más ampliamente adoptadas fueron de muestreo con cuadrícula (el 2% de todas las explotaciones) y VRT para fertilizantes (2%) , seguido de control de rendimiento (1%) y mapeo de rendimiento (1%) . La tecnología variable de semillas y aplicación de plaguicidas y de teledetección (sensores remotos) se utilizan sólo con menos de 1% de todas las fincas. El tamaño de la explotación, medido en términos de las ventas brutas, fue una correlación positiva con la tasa de adopción. Se encontró que las granjas de granos / semillas de oleaginosas tuvieron la mayor tasa de adopción (14%), principalmente debido a la amplia disponibilidad de producir monitores. El índice de adopción de las frutas especializada, vegetal, y las granjas de nueces es del 5%. La principal tecnología de AP utilizadas en estas explotaciones eran VRT para el control de plaguicidas (Daberkow y McBride, 2000).

Cook *et al.* (2000) encontraron que los agricultores de Australia están adoptando tecnologías AP más lentamente de lo esperado. Ellos atribuyen la lenta adopción a cuatro factores : (1) el costo de adopción , (2) la falta de percepción

del beneficio de la adopción , (3) falta de voluntad para llegar temprano a los adoptantes , y (4) la falta de mecanismo de entrega de tecnología. Aunque el coste, la falta de percepción del beneficio, y el conservacionismo entre los agricultores, de hecho haber causado la lentitud en la adopción, el problema en la entrega de las tecnologías de la AP a los agricultores ha sido identificado como el principal obstáculo. La entrega de las tecnologías de AP para los agricultores requiere conocimientos y habilidades que la mayoría de las agencias de consultoría en la actualidad no poseen. El conservacionismo del sector de la consultoría parecía crear más dificultades que el conservacionismo de los agricultores en la adopción de tecnologías de la AP. En el Reino Unido, una encuesta fue realizada entre el 25 % de los cerca de 350 agricultores que son actualmente la realización de mapas de rendimiento a través de GPS. Los resultados de la encuesta mostraron que los adoptantes de mapeo de rendimiento han pasado la primera fase de captación inicial y entusiasmo y ahora están de pie en la segunda etapa de la implementación de la AP. Los agricultores que adoptan mapeo de rendimiento están en las necesidades urgentes de los buenos consejos de agrónomos sobre la interpretación de los mapas de rendimiento y su conversión en la gestión de planes. La Información de mapeo de rendimiento tiene que integrarse con sistemas de apoyo y decisiones a las granja agrícolas (Griffin, 2000).

Un estudio similar realizado en Arkansas indicó que los primeros en adoptar la AP representan menos del 20 por ciento de los agricultores de Arkansas. Estos adoptantes son jóvenes, educados, utilizan un ordenador o equipo de cómputo y agricultores experimentados, con una gran cantidad de superficie de cultivo dedicada principalmente al cultivo de arroz y la soja. Mientras que los representantes del sector agrícola están ayudando a promover tecnologías de AP. Personal del Servicio de Extensión Cooperativa ha servido como la principal fuente de consulta técnica. Los agricultores están a la espera de los resultados de investigación en la rentabilidad de las distintas tecnologías AP antes de aumentar su inversión de manera significativa a adoptar más tecnologías (Popp y Griffin, 2000).

Los siguientes obstáculos que hay que superar antes de que las tecnologías de AP puedan ser ampliamente implementadas en un ritmo rápido:

1) Desbordamiento de datos para el manejo agrícola. Este problema tiene que ser superado por el desarrollo de herramientas de integración de datos, sistemas expertos y sistemas de soporte de decisiones.

2) La falta de procedimientos racionales y estrategias para la determinación de los requisitos de aplicación de forma localizada y la falta de pruebas en paralelo científicamente validada para los supuestos beneficios para el concepto de AP.

3) Mano de obra intensiva y costosa recopilación de datos. El desarrollo de detección rápida de sistemas debe tener lugar antes de que la AP pueda ser una práctica generalizada.

4) La falta de canales de transferencia de tecnología y personal. Los programas educativos con participación de investigadores, industriales, especialistas en extensión y consultores son urgentemente necesarios.

La Tecnología de AP probablemente debe ganar más reconocimiento cuando los beneficios adicionales, tales como cargas ambientales reducidos y aumento del flujo de información, se reconocen como un parte de su recompensa (Auernhammer, 2001).

2.3.4. Nuevas tendencias en la investigación de AP

Las siguientes nuevas tendencias en la investigación PA se han observado de la reciente literatura:

Los enfoques integrados

La mayoría de los investigadores han utilizado los enfoques de mapas y sensores por separado a la dirección de problemas individuales de la AP. Sin embargo, un grupo de científicos de Alemania están haciendo un esfuerzo para integrar estos dos enfoques para la aplicación de fertilizantes nitrogenados VRT. Esto requiere el desarrollo de los valores de referencia de requerimiento de nitrógeno de cultivos específicos, detección en línea de las condiciones de nitrógeno y agua en la planta y en el suelo, la integración de datos de observación remota-, la adquisición en tiempo real de datos y la transmisión, y el establecimiento de la base de datos para el uso universal de la fertilización de sitio específico y evaluaciones económica / ecológica (Auernhammer *et al.*, 1999).

Debido a mezclas, a veces, los resultados y las opiniones en conflicto mezclados con respecto a la utilización de tecnologías de AP, un enfoque de equipo más agresivo para determinar la viabilidad y la economía de las estrategias actuales y futuras de la AP. Johnson y Bradow (2000) inició un proyecto de investigación de campo en Minnesota, con la participación de una asociación entre la investigación universitaria y especialistas en extensión, los agricultores y los sectores de agroindustria para analizar el impacto económico y biológica y para evaluar los riesgos relacionados con la diferentes estrategias de AP.

Planteamientos prospectivos

Características dinámicas de las operaciones agrícolas requieren un enfoque con visión de futuro para responder a los fertilizantes, pesticidas, y las necesidades de agua de forma proactiva en porciones de un campo. Un proyecto de investigación llevado a cabo en los Países Bajos utiliza sensores, modelos de simulación en tiempo real de datos meteorológicos para realizar un seguimiento de las condiciones reales en el campo. La advertencia de señales se generó una vez

que se ha detectado la deficiencia. La producción de cultivos podría por lo tanto ser maximizada sin exceder las limitaciones de aplicación química impuestas por el medio ambiente legislación (Van Alphen *et al.*, 2000) .

Red de información basada en Internet

En Alemania, se hizo un esfuerzo para desarrollar una comunicación basada en Internet y red de información para todos los aspectos de la agroindustria, incluyendo granjas, cooperativas, empresas agrícolas, contratistas, concesionarios y proveedores, con el fin de desarrollar una estrategia de gestión integral para toda la agroindustria, lo que permite a más agricultores a participar y beneficiarse de las tecnologías PA (Lutticken, 2000).

2.4 Sistemas de control en la agricultura de precisión

Los sistemas de control automático en lo que consta a su operación, no tiene demasiada complejidad, algunos autores lo definen como algo esencial e indiscutiblemente primordial en nuestra sociedad. Navarro (2004), lo define como un conjunto formado por el proceso y el sistema de control. Para conseguir este objetivo son indispensables una serie de dispositivos adicionales, que de alguna manera lleven a cabo el control o regulación del proceso con el fin de sustituir la acción del hombre por un dispositivo llamado controlador o regulador. El conjunto que forman los componentes que llevaran a cabo el control automático de un proceso se le llama sistema de control automático.

Acedo (2006), define un sistema de control automático el cual mide una variable y actúa de una forma determinada, para que esa variable se mantenga en un valor deseado de referencia. Un sistema de control no automático, puede hacer cambiar el valor de la variable pero no llevarla al valor de referencia.

En la actualidad existen plantas industriales que solo requieren para su operación de unas cuantas personas que supervisen sus procesos de producción, los cuales se realizan automáticamente bajo el control de sistemas computarizados. Estos sistemas efectúan el control directo de las variables, ajustan los parámetros de acuerdo a las condiciones de operación, informan a los operadores de las condiciones anormales de la planta y aun sugieren las acciones de corrección en caso de falla.

El desarrollo de los sistemas de control automático se ha logrado en poco tiempo ya que podemos considerar que este se inició, como conocimiento estructurado en la década de 1920, (Cavada, 1998).

Acedo (2006), hace referencia sobre los controladores automáticos en donde han incorporado una habilidad que corresponde al ser humano. Esa habilidad es la de (Sentir) una condición correcta o incorrecta y actuar para corregirla.

2.4.1. Sistemas hidráulicos

Los sistemas hidráulicos se han hecho imprescindibles en las máquinas agrícolas. La facilidad de manejo y la regulación automática de algunos órganos de las máquinas es posible gracias a que el accionamiento de algunos órganos se realiza a través de cilindros o motores hidráulicos.

Los componentes básicos de un sistema hidráulico son: bomba, filtro, recipiente de almacenamiento de aceite, válvulas, actuadores, fluidos hidráulico, todos estos elementos son unidos o conectados entre sí, por medio de tubos y mangueras.

Tipos de sistemas hidráulicos

- **Circuito hidráulico de centro abierto:** caudal constante, presión variable. Con el sistema de centro abierto, la bomba es de cilindrada, y por lo tanto el caudal, constante. El sistema se implementa con bombas de tipo engranajes (normalmente el cuerpo se fabrica en fundición de acero o aluminio) que están accionadas de forma continua. Como la bomba envía de forma permanente un caudal constante se necesita una válvula que limite la presión ya sea bien para que el aceite retorne a depósito o bien cuando llega el final del requerimiento hidráulico. Es decir, si no se requiriese caudal entonces el flujo de aceite se desvía al depósito por la línea de retorno. En el caso de accionar un distribuidor (servicios externos, elevador) la válvula de control orienta el caudal hacia la demanda, siendo la velocidad de respuesta directamente proporcional al caudal de la bomba. La presión subirá entonces hasta alcanzar el valor requerido para la función exigida en el actuador y tras realizar ese trabajo la bomba vuelve a funcionar bajo condiciones de baja presión.

Otra característica del sistema es que las bombas con caudal fijo una vez que se abre un distribuidor se consume la máxima potencia de que dispone el sistema hidráulico, incluso sin tener nada acoplado, porque el caudal excedente se tiene que ir por la válvula limitadora (alivio de presión) El centro abierto es muy utilizado en tractores agrícolas ya que es de gran simplicidad en la disposición de los componentes, y porque es un sistema que se adapta perfectamente a la normal operación del sistema hidráulico en un tractor, es decir, de forma intermitente y con un número limitado de actuadores. Pero el centro abierto también se usa en aparatos tan complejos como puede ser un avión si bien es cierto que normalmente se usa en aviones ligeros como avionetas en las cuales no se necesita un suministro continuo de presión (tren de aterrizaje o flaps) si no que necesitan suministro hidráulico durante un periodo corto de tiempo. Normalmente la presión nominal de trabajo en

centro abierto oscila entre los 80 y los 130 kg/cm^2 .

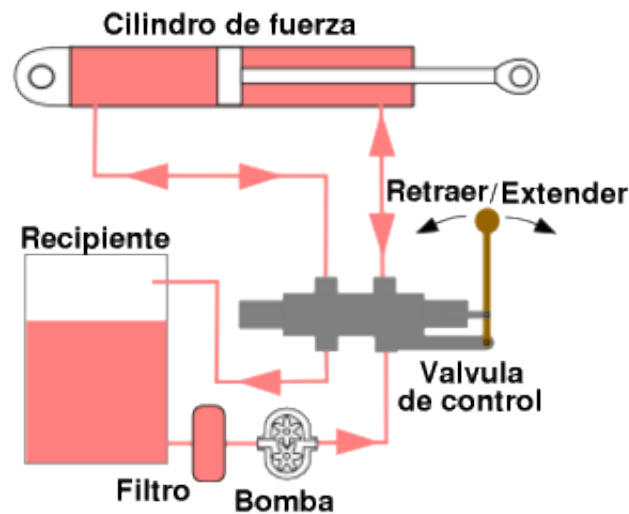


Figura 2.1: Centro abierto

- **Circuito hidráulico de centro cerrado:** caudal variable, presión constante. El sistema de centro cerrado suministra aceite a la demanda capaz de suplir operaciones simultáneas y con una sola bomba. La implementación de estos circuitos se hace con bombas de caudal variable (cilindrada variable) pero manteniendo la presión. Cuando el circuito no requiere caudal la bomba está en cierto reposo y el aceite no retorna continuamente al depósito mientras que mantiene la presión del aceite en un margen estrecho de variación.

La cilindrada de la bomba varía en función de la carga del sistema proporcionando el caudal a la demanda y siempre manteniendo la presión dentro de límites estrechos. En el caso de necesitarse alimentar varios actuadores en paralelo con demandas diferentes entonces se controla el caudal bien por tubos de diferente diámetro o bien por válvulas dosificadoras calibradas. En la práctica esto significa que el accionamiento de un actuador no interfiere en el trabajo de los demás cuando se accionen de forma simultánea.

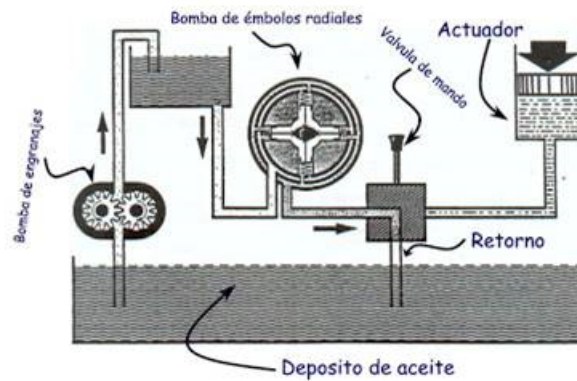


Figura 2.2: Centro cerrado

Actuadores hidráulicos

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas. Estos actuadores se basan, para su funcionamiento, en la presión ejercida por un líquido, generalmente un tipo de aceite. Las máquinas que normalmente se encuentran conformadas por actuadores hidráulicos tienen mayor velocidad y mayor resistencia mecánica y son de gran tamaño, por ello, son usados para aplicaciones donde requieran de una carga pesada. De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos en 2 tipos:

- De efecto simple: se utiliza fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa, diferente, para contraer.
- De acción doble: se emplea la fuerza hidráulica para efectuar ambas acciones.

Cilindro de efecto doble: La carga puede colocarse en cualquiera de los lados del cilindro. Se genera un impulso horizontal debido a la diferencia de presión

entre los extremos del pistón cuando el líquido entra en este.

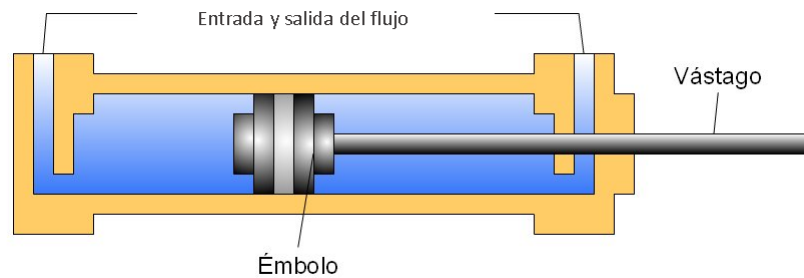


Figura 2.3: Actuador hidráulico de doble efecto. (Unidad didáctica neumática e hidráulica)

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, (figura 2.11). 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.

Válvulas direccionales

Las Válvulas direccionales accionadas por un solenoide o electroválvulas, funcionan al enviar un pulso eléctrico que hace reaccionar una bobina, lo que

produce se mueva el núcleo o corredera. Los solenoides pueden funcionar con corriente alterna o con corriente (AC) directa (DC).

Electroválvulas de doble solenoide. El funcionamiento de éstas consiste para que la válvula vaya de una posición a otra, basta con aplicar un pequeño pulso eléctrico a la bobina que está en la posición opuesta. Allí permanecerá sin importar que dicha bobina siga energizada y hasta que se aplique un pulso en la bobina contraria. La principal función en estos sistemas es la de “memorizar” una señal sin que el controlador este obligado a tener permanentemente energizada la bobina.



Figura 2.4: Electroválvula de doble solenoide

2.5 Circuitos electrónicos

Dentro de los dispositivos electrónicos más empleados para regular la operación de mecanismos se encuentran los Controles Lógicos Programables (PLC) y los microcontroladores, los primeros construidos basándose en los segundos. Los PLCs han inundado la industria manufacturera y desempeñan un papel muy importante en la automatización de los procesos, pero también están siendo usados para controlar máquinas de CNC, aparatos electrónicos de línea blanca, etc., dando origen a dispositivos mecatrónicos.

Un PLC es un equipo electrónico programable que permite almacenar una secuencia de ordenes (programa) en su interior y ejecutarlo de forma cíclica con el fin de realizar una tarea. Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación. Los PLC actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

Son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular. Por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación.

2.9.1 Microcontroladores.

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de E/S (entrada/salida).

Es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de «Controlador incrustado» (embedded controller).

El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/ salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar y todos los recursos complementarios disponibles tiene como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para la tarea asignada, (Angulo y Angulo1999).

El microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes necesarios para controlar el funcionamiento de una tarea

determinada, como el control de una lavadora, un teclado de ordenador, una impresora, un sistema de alarma etc. Para esto el microcontrolador utiliza muy pocos componentes asociados. Un sistema de microcontrolador debe disponer de una memoria donde se almacena el programa que controla el funcionamiento del mismo, una vez programado y configurado, solo sirve para realizar la tarea que se le asigne. (Palacios et al., 2004).

2.10 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:

- Suministro de energía
- Elemento sensor
- Emisor de señal
- Acondicionamiento de señal.

2.5.1. Sensores 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).

2.5.2. Sensores Ultrasónicos

Son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias de hasta 8m. 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 ultrasónicoLV-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.

2.5.3. Sensores infrarrojos

El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. El circuito de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema pueda entender. La señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios sensores a la vez, esto es muy utilizado en la robótica en casos en que se necesita tener más de un emisor infrarrojo y solo se quiera tener un receptor. Los sensores infrarrojos pueden ser:

- Sensor infrarrojo de barrera: Las barreras tipo emisor-receptor están compuestas de dos partes, un componente que emite el haz de luz, y otro componente que lo recibe.
- Sensor auto réflex: La luz infrarroja viaja en línea recta, en el momento en que un objeto se interpone el haz de luz rebota contra este y cambia de dirección permitiendo que la luz sea enviada al receptor y el elemento sea censado, un objeto de color negro no es detectado ya que este color absorbe la luz y el sensor no experimenta cambios.
- Sensor auto réflex: La luz infrarroja viaja en línea recta, en el momento en que un objeto se interpone el haz de luz rebota contra este y cambia de dirección permitiendo que la luz sea enviada al receptor y el elemento sea censado, un objeto de color negro no es detectado ya que este color absorbe la luz y el sensor no experimenta cambio.

2.5.4. Funcionamiento de tecnología infrarroja

Infrarrojo: El principio tecnológico de las barreras de infrarrojos se funda en la emisión y la recepción de un haz infrarrojo. Con una longitud de onda superior a la de la luz visible (950nm), los haces infrarrojos son invisibles a simple vista, de este modo toda protección perimetral utilizando esta tecnología está discreta.

Infrarrojo activo, cuando el haz es generado por una fuente de luz de infrarrojos en la dirección de un receptor que analiza la señal recibida. A fin de obtener buenos resultados del alcance de la señal, los haces emisores son forzados, de este modo hay mucha energía en los haces prolongando la duración de los componentes.

2.5.5. Electrónica digital

El gran desarrollo experimentado por la electrónica en los últimos años ha propiciado que la mayoría de los equipos actuales funcionen con sistemas digitales. Un sistema digital se caracteriza por utilizar señales discretas, es decir, señales que toman un número finito de valores en cierto intervalo de tiempo.

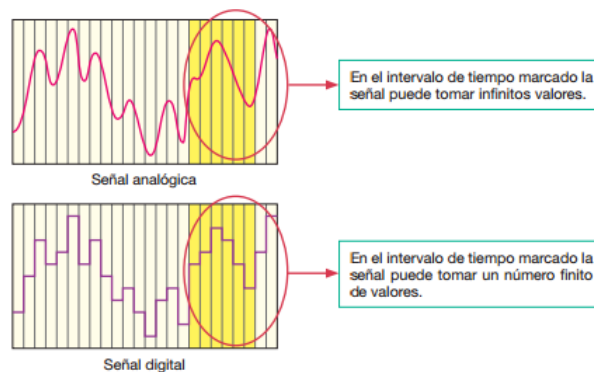


Figura 2.5: Comparación gráfica de una señal analógica y una señal digital

Los circuitos digitales también llamados compuertas lógicas se pueden construir mediante componentes electrónicos (diodos, transistores y elementos pasivos) conectados de tal forma que la salida del circuito sea el resultado de una operación lógica básica aplicada a las entradas del circuito.

2.5.6. Compuertas

Las compuertas son circuitos que se emplean para combinar niveles lógicos digitales (unos y ceros) en formas específicas. Para expresar la salida en términos de las entradas, se emplea un sistema denominado álgebra Booleana. Las compuertas básicas son AND, NAND, OR, NOR y el inversor.

Una compuerta **NOR** es un circuito que produce un 0 en su salida cuando una o más de las entradas es 1. NOR es una contracción de las palabras ingles-

sas “not” y “or”. El símbolo correspondiente es un símbolo OR con una salida invertida, o con círculo de inversión.

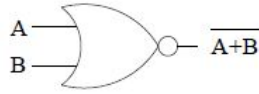


Figura 2.6: Símbolo lógico de la compuerta NOR

entre labranza y erosión y por ende, reducir la erosión.

Capítulo 3

MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades que enmarcan el estudio del presente trabajo se resumen en la Figura 3.1:

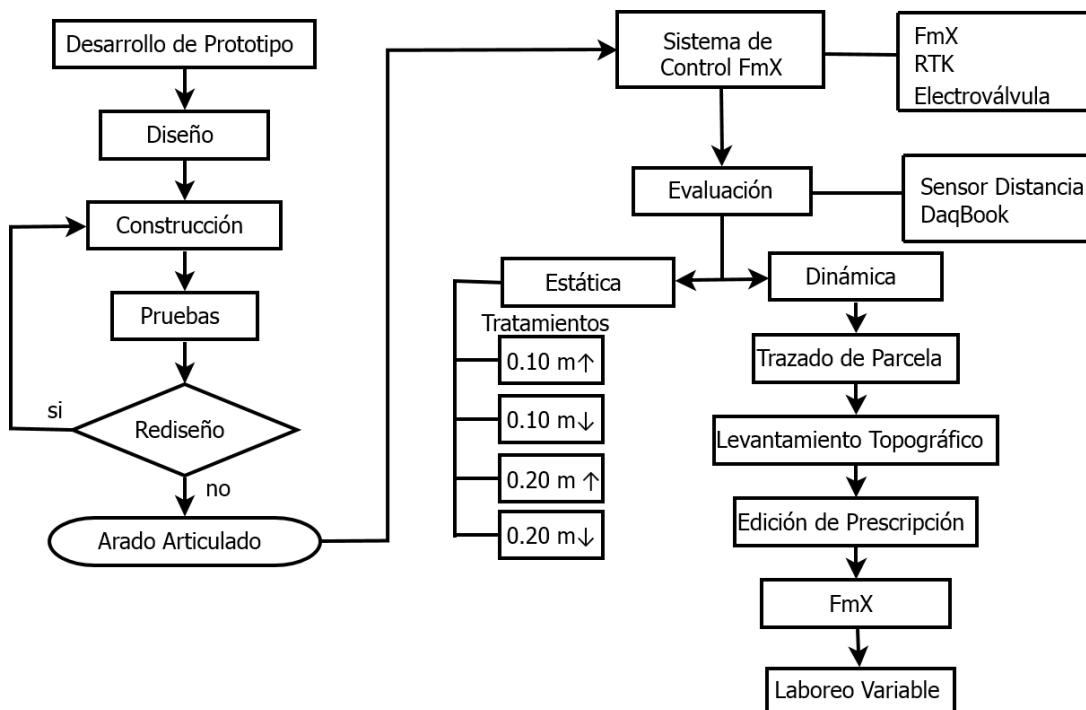


Figura 3.1: Diagrama del proceso metodológico

3.1 Desarrollo y calibración de equipos

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

- Arado articulado de cinceles
- Sensor de distancia
- Sistema acondicionador de señales y de adquisición de datos DaqBook, LogBook.
- Sensor para el diagnóstico de resistencia a la penetración del suelo.
- Sistema de control inteligente de profundidad
- Metodología para la generación de mapas de prescripción de laboreo profundo ejecutable por el controlador.

3.1.1. Desarrollo del Prototipo

Con el objetivo de aplicar laboreo variable profundo y al no existir antecedentes e información publicada sobre el desarrollo de esta tecnología de precisión, se diseñó y construyó un prototipo articulado de arado de cinceles capaz de realizar labranza vertical a profundidades variables.

Diseño

Para el diseño del prototipo se consideraron los siguientes parámetros:

1. Que se pudiera acoplar a los tres puntos de enganche del tractor.

2. La sección trasera debería ser articulada y paralela a la sección delantera; capaz de ajustar su rango de profundidad mínima a 0.20 m y su profundidad máxima a 0.40 m.
3. Que el ancho de trabajo del implemento permita configurar los cuerpos de cinceles con cuatro delanteros y dos traseros con un espaciamiento de 0.60 m.
4. La movilidad de la sección trasera articulada debería permitir un desplazamiento hacia arriba y hacia abajo respecto de la nivelación de la sección delantera por medio de dos actuadores hidráulicos bidireccionales.
5. El espaciamiento entre la estructura frontal y trasera, el espaciamiento de trabajo entre cinceles someros, el espaciamiento entre cinceles profundos, el ancho de la punta del cincel y las profundidades de trabajo, cinceles someros por delante de profundos y el uso de alas expansoras estarán sujetos a los principios de la teoría de la profundidad crítica según estudios reportados por Godwin y O'Dogherty (2007).
6. El cálculo de las secciones, los materiales estarán condicionados a los materiales que utiliza la empresa Tecnomec S.A. de C.V. ya que la mencionada empresa participó en especie con los materiales y la construcción del diseño.

Las piezas se diseñaron con el software Creo Parametrics 2.0; en la Figura 3.2 se muestra el modelo del arado articulado.

Construcción

Los planos del diseño fueron enviados a la empresa Tecnomec Agrícola S.A. de C.V. para su construcción. En el departamento de Maquinaria Agrícola de la

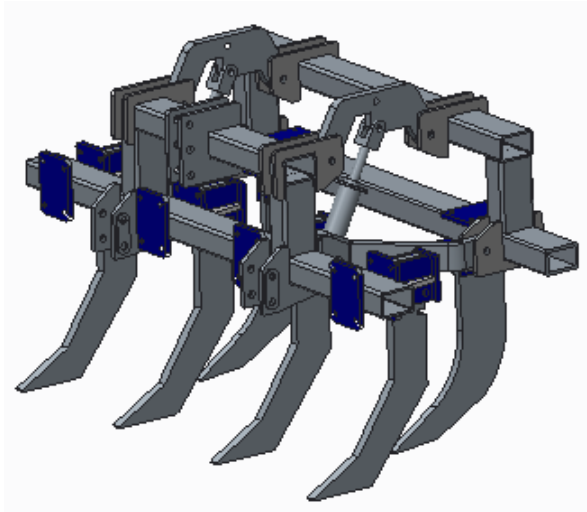


Figura 3.2: Diseño del arado articulado

UAAAN, se ensambló y se le dio el acabado de pintura (Figura 3.3). En el Anexo A se encuentran los planos de las secciones del implemento.



Figura 3.3: Ensamble y acabado del prototipo

Pruebas

Se realizaron pruebas de inspección visual y movilidad para determinar el correcto funcionamiento de los mecanismos (Figura 3.4).



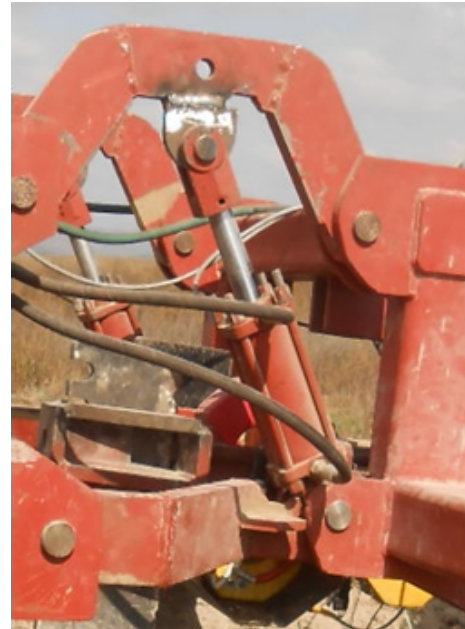
Figura 3.4: Pruebas de movilidad del arado articulado

Rediseño

Se recortaron los vástagos de los actuadores para reducir la longitud y poder disminuir la carrera de los actuadores; para esto se hicieron modificaciones en ambos brazos superiores del paralelogramo y poder ubicar el punto adecuado de conexión para que la estructura móvil desplazara una distancia de por lo menos 0.30 m (Figura 3.5).



(a)



(b)

Figura 3.5: Rediseño en brazos superiores del paralelogramo.

Arado articulado

En la Figura 3.6 se muestra el arado listo para hacer pruebas en campo.



Figura 3.6: Arado articulado

3.1.2. Sensor de distancia

Acondicionamiento del sensor de medición de profundidad de laboreo (Sonar).

Una vez verificada la linealidad de la señal del sensor LV-MaxSonar-EZ1. Se procedió a la construcción del circuito, para esto se utilizó el amplificador de señal AD620, funcionando como diferencial para la señal de salida y una combinación de resistencias y capacitores electrolíticos para funcionar como filtro pasa-bajo (RC). Para verificar el funcionamiento del sensor se construyó y simuló el circuito en el programa PROTEUS (Ares e Isis v8.0).

Evaluación del amplificador AD620.

Se utilizó el amplificador funcionando como diferencial para la señal de salida. El AD620 es un amplificador de instrumentación de alta precisión, que requiere sólo una resistencia externa para ajustar las ganancias de 1 a 10,000. Por otra parte, el AD620 tiene característica de bajo nivel de ruido. Ruiz, (2014). En la Figura 3.7 se muestra el diagrama de conexión del amplificador AD620.

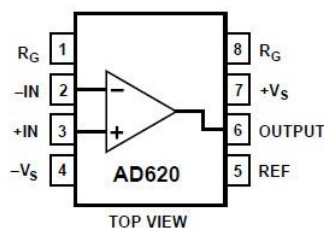


Figura 3.7: Diagrama de amplificador AD620.

Evaluación y calibración Sensor de Distancia (Sonar).

Para la obtención de la altura real a la que se desplaza el marco trasero respecto de la parte frontal del implemento, fue necesario un sensor de medición,

para lo cual se utilizó el sensor tipo LV-MaxSonar-EZ1.

Para obtener la linealidad y constante de calibración del sensor se emplearon: el acondicionador de señales (DBK-43A), el convertidor analógico digital (DakBook- 2000) y una computadora.

La frecuencia de muestreo establecida en el Daq-Book fue de 20 Hz obteniendo un total de 4,000 datos para un desplazamiento de 0.0 a 0.40 m en intervalos de 0.05 m. Para generar la ecuación de calibración del sensor, se graficaron los datos obtenidos en el programa 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 16 para la determinación de la constante de calibración.

Verificación de la señal del sensor de distancia (Sonar) bajo condiciones de campo.

Para la verificación de la señal del sensor se realizó un diseño completamente al azar con 4 repeticiones en una parcela de 1.5 has a tres distintas profundidades 0.20, 0.30 y 0.40 m. Una vez concluida las repeticiones antes mencionadas, se procedió al análisis de los datos recolectados por el sensor. Para el análisis de los datos se tomó una lectura promedio por cada escalón de la gráfica, cada lectura por escalón en V corresponde a la distancia a la que se aleja o se acerca el sensor aplicados cada 500 datos. Los V son proporcionales a la altura real a la que se desplazó el equipo. Posteriormente 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, una vez que está en cero, se multiplica la lectura por la constante de calibración $C=28.04 \text{ cm}\cdot V^{-1}$ del sensor y con ello permite observar la altura real a la que se

desplazó la parte articulada.



Figura 3.8: Evaluación del sensor bajo condiciones de campo.

3.1.3. Evaluación Estática

Para el desarrollo de esta evaluación se utilizó el arado articulado de cinceles con el tractor encendido a 1800 rpm como fuente de poder, pero sin movimiento. Se conectó el puerto de comunicación entre el controlador FmX y la válvula proporcional. Se nivelaron los marcos frontal (fijo) y posterior (móvil) del prototipo. Se acopló el sensor sonar de profundidad en el marco frontal y la base reflectora se posicionó en la parte móvil, dicho sensor de proximidad usado para la medición del desplazamiento de la parte móvil con respecto a la fija, permitiendo registrar los cambios de altura en tiempo real.

Se ajustaron los datos de prueba en el DaqBook/2000 a una frecuencia de registro de 20 datos por segundo para el registro de la información. Los tratamientos evaluados fueron instrucciones de cambio de distancia de la función grosero de 0.10 y 0.20 m hacia arriba (Figura 3.9a y 3.9b) y hacia abajo (Figura 3.9c y 3.9d) ajustados y programados a través de la pantalla y su aplicación Field Level II, dando un total de cuatro tratamientos, seleccionados en base a los rangos utilizados en la labranza profunda y simulando los posibles cambios de profundidad

variable que van de: labranza de 0.20 m a 0.30m , labranza de 0.30 m a 0.40m o labranza de 0.20 m a 0.40 m en ambos sentidos de dirección al momento de realizar dicha operación en campo.

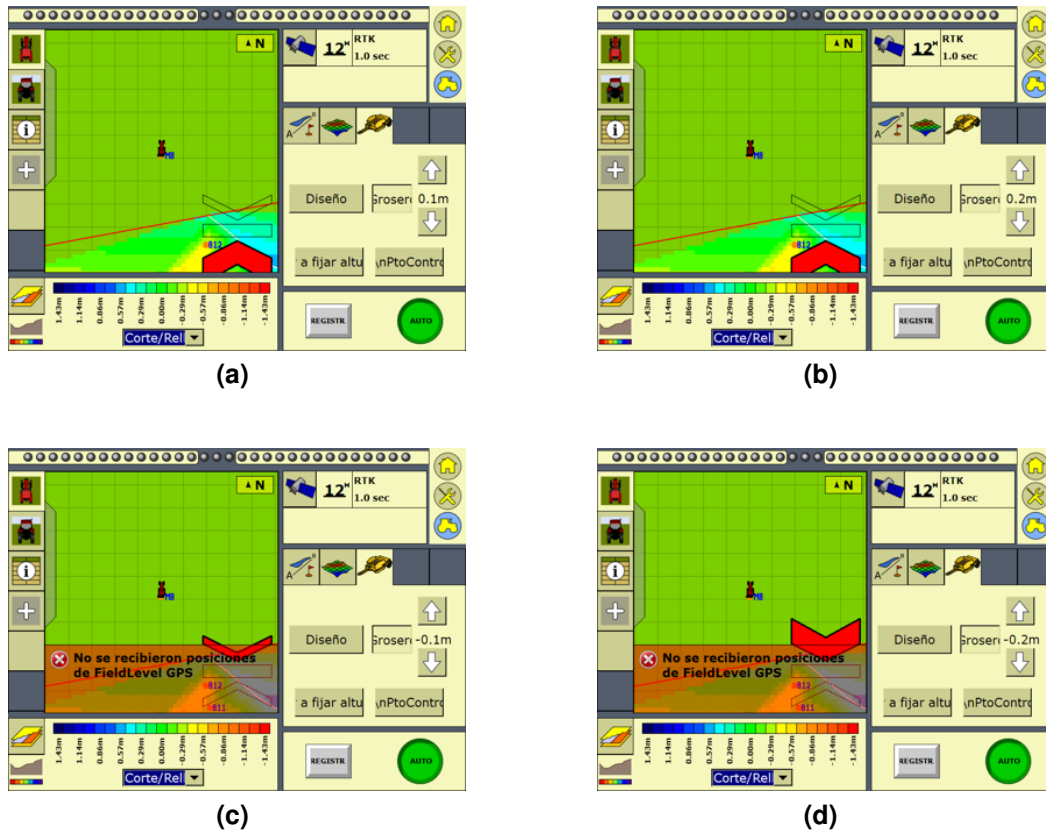


Figura 3.9: (a) Grosori 0.10 m arriba; (b) Grosori 0.20 m arriba; (c) Grosori 0.10 m abajo y (d) Grosori 0.20 m abajo.

Las variables de respuesta a medir del sistema de control fueron: distancia total recorrida (mm), distancia por pulsos (mm s^{-1}), retardo entre pulsos (s) y error (mm) (Figura 3.10).

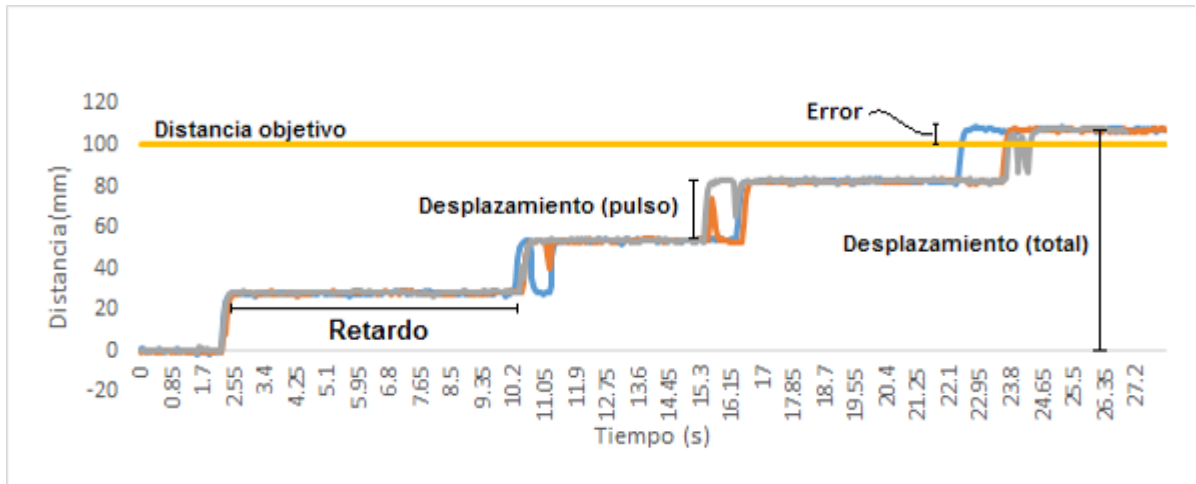


Figura 3.10: Variables medidas

3.1.4. Sensor para la medición de resistencia a la penetración del suelo

Para la generación de los mapas de diagnóstico primero se determina la resistencia a la penetración, para esto se utiliza un penetrómetro con capacidad de medición de hasta 9 MPa acoplado a un carro portasensores acondicionado con un actuador hidráulico acoplado al tractor para el accionamiento hidráulico. En la Figura 3.11 se muestra la ubicación del penetrómetro en el carro-porta sensores, el sensor de fuerza y el de profundidad.

Después de haber obtenido los datos en campo, se procesa la información para obtener resultados de RP y se utiliza la ecuación (3.1) (ASAE 2002a)

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

A partir de los datos determinados por la ecuación se utiliza el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighting) para la generación de mapas de diagnóstico de capas compactadas utilizando un SIG.

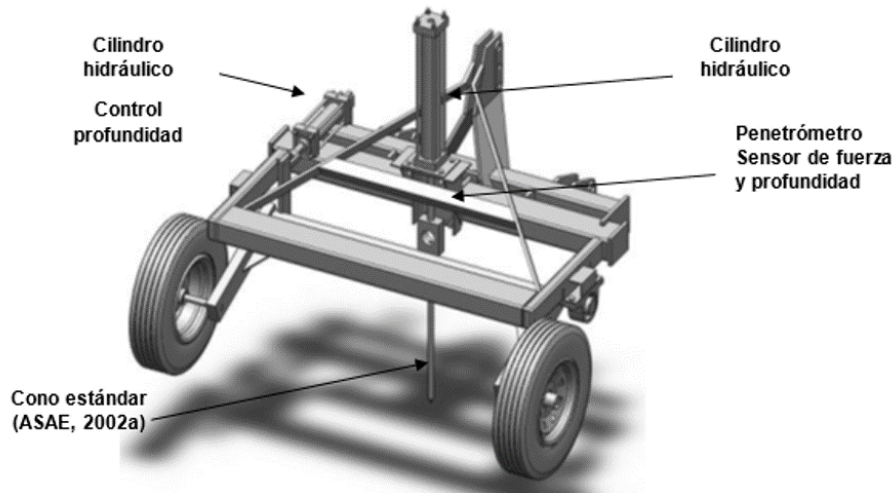


Figura 3.11: Ubicación del penetrómetro en el carro-portasensores.

3.1.5. Sistema de control

El sistema de control está integrado por los siguientes componentes:

- Pantalla FmX.
- Antena de corrección RTK.
- Válvula electrohidráulica proporcional.
- Actuadores hidráulicos.

Pantalla FmX

A la pantalla se le conecta una antena de recepción de señal RTK, una antena de recepción satelital (GPS), un módulo de control de la válvula electrohidráulica Sauer Danfoss y el cable de alimentación eléctrica; en la Figura 3.12 se muestra una vista trasera de la pantalla y como conectar los dispositivos ya mencionados.

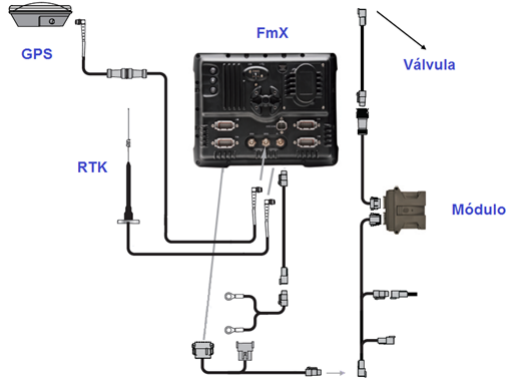


Figura 3.12: Conexión de los dispositivos a la pantalla FmX

Para posicionar la pantalla en la cabina del tractor (Figura 3.13) se construyó una base plegable sujeta al marco de seguridad. El tractor cuenta con una fuente de voltaje de 127 V AC, por lo que solo se conectó un regulador de voltaje a la toma de corriente del transformador para suministrar un voltaje de 12 V DC a la pantalla.



Figura 3.13: Pantalla FmX montada en el tractor

Configuración

La pantalla tiene aplicaciones para controlar diversos equipos utilizados en las actividades agrícolas, En este trabajo se utilizaron dos aplicaciones; *Survey* y *FieldLevel II* para realizar el levantamiento topográfico y el control variable de la profundidad de la sección trasera respectivamente. Para configurar la pantalla y activar solo las aplicaciones necesarias se siguió el procedimiento que se describe en el Anexo B.1.

Estación base RTK

La estación base RTK (Figura 3.15) se instaló a 500 metros del sitio de prueba, a cielo abierto, a una frecuencia de 450 MHz y con una fuente de alimentación eléctrica cercana, la batería del receptor tiene una duración de 8 horas de trabajo. Proporciona una precisión de 2.5 cm, con un alcance de 18 km, además manda mensajes de corrección al receptor hasta 5 veces por segundo. Para configurar la antena ver el Anexo B.2.



Figura 3.14: Estación base RTK en campo

Válvula proporcional *Sauer Danfoss*

Para el control de la parte articulada del prototipo, se tiene un sistema hidráulico integrado por una válvula electrohidráulica proporcional marca Danfoss y dos actuadores hidráulicos bidireccionales.

El carrete de la válvula cambia el control direccional en ambos sentidos en respuesta a señales de comando variables o pulsos emitidos por el controlador FmX, proporcionando así el flujo de salida deseado. Una vez que el carrete llega a la posición establecida, el circuito electrónico interno envía una señal de retroalimentación al controlador de la unidad para mantener esa posición o continuar con algún otro desplazamiento establecido.

3.1.6. Evaluación dinámica

Para el desarrollo de la evaluación en campo se utilizó una parcela de 1.5 hectáreas, se trazaron 15 puntos en 3 franjas con 2.40 m correspondiente al ancho de trabajo del implemento. Para esta etapa se debe contar con la integración de todos los componentes del sistema de monitoreo y control que son:

- Prototipo articulado de arado de cinceles.
- Sensor de profundidad sonar.
- Carro porta-sensores para el diagnóstico.
- Válvula electrohidráulica proporcional.
- Actuadores hidráulicos.
- Controlador FmX.
- Aplicación FieldLevel II Liberada.

- Manual para la aplicación de laboreo variable profundo utilizando el controlador FmX.

En la evaluación dinámica del sistema se generaron dos mapas de prescripción correspondientes al ancho de trabajo del implemento con espaciamientos de 100 m entre puntos de control. Los cambios de profundidad se definieron en forma aleatoria y ejecutables por el controlador FmX, tomando como referencia los puntos de control considerando la pendiente natural del terreno.

El registro de datos con el LogBook fue a una frecuencia de 20 datos por segundo; la velocidad del tractor fue de $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Para la elaboración del manual de procedimientos, configurar la pantalla y su software para la prescripción se siguió el siguiente proceso:

- Familiarizarse con la pantalla a través del uso del simulador del controlador FmX.
- Familiarizarse con el software de aplicación FieldLevel II.
- Trazado del sitio de pruebas.
- Levantamiento topográfico realizado con la facilidad *Survey*.
- Reconocimiento de una prescripción en el controlador FmX.
- Diagrama para la aplicación del laboreo variable profundo inteligente.

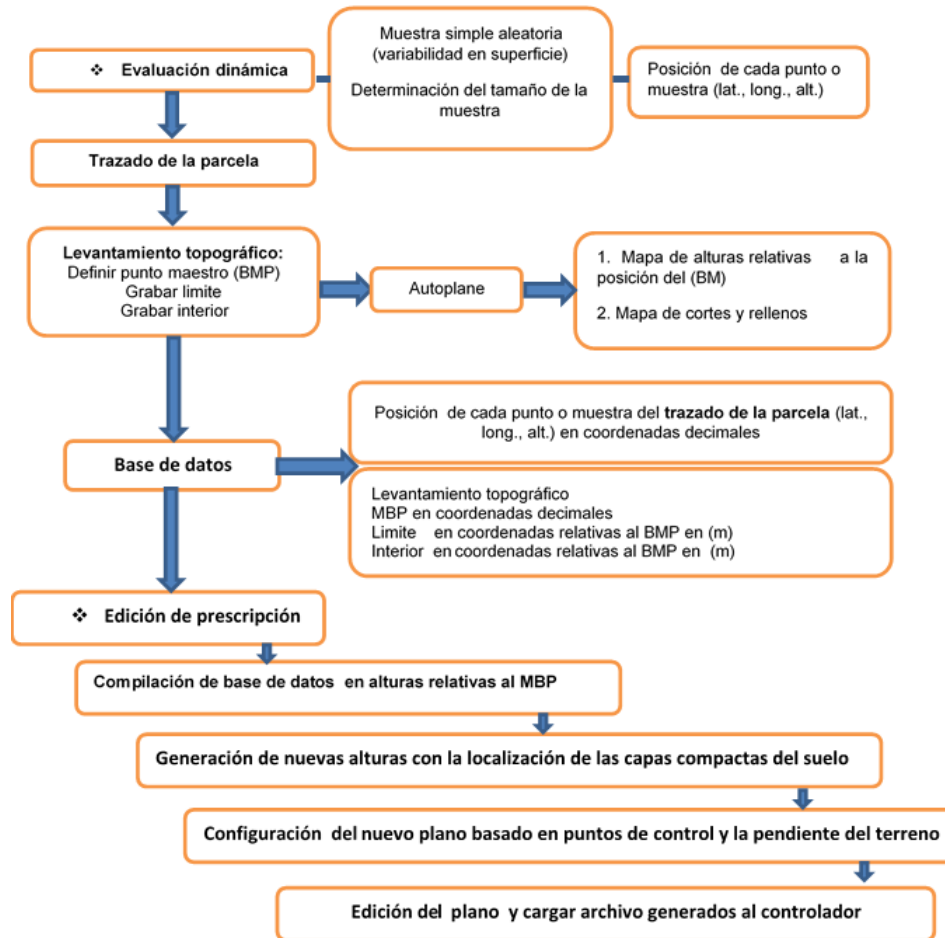


Figura 3.15: Diagrama del proceso metodológico para la aplicación de labranza variable inteligente.

Capítulo 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Desarrollo y calibración de equipos

4.1.1. Desarrollo del Prototipo

El arado articulado consiste de dos secciones, la parte frontal o fija y la parte trasera o móvil. Ambas estructuras permiten el acoplamiento de cuatro y dos cinceles respectivamente, están unidas por un sistema de paralelogramo el cual es movido por dos actuadores hidráulicos (Figura 4.1). En el cuadro 4.1 se describen las partes que conforman el arado articulado.

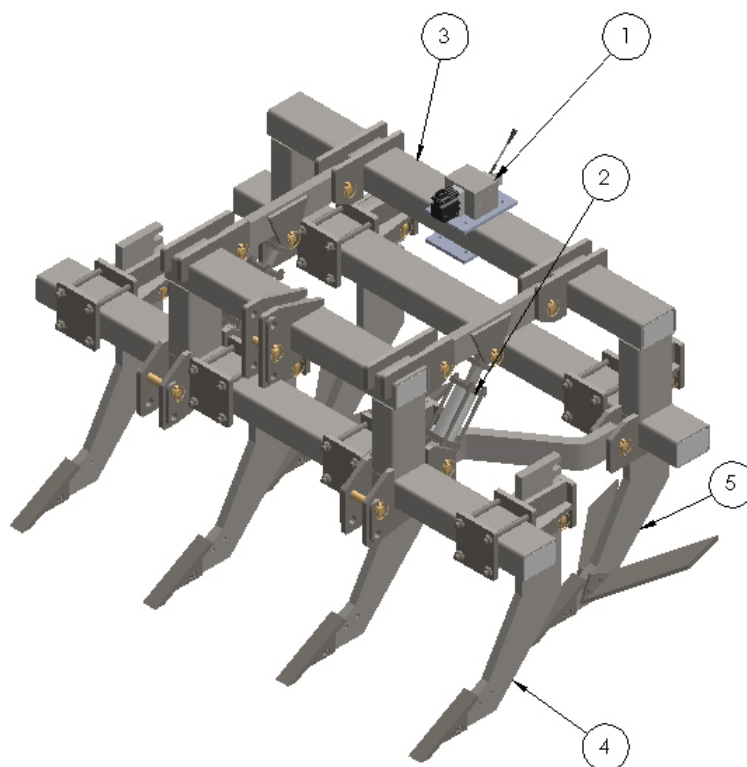


Figura 4.1: Prototipo de arado articulado

Cuadro 4.1: Descripción de los elementos que conforman el prototipo de labranza vertical articulado.

Elementos	Descripción	Cantidad	Especificaciones
1	Válvula proporcional Danfoss	1	Presión Max. 30 bares [435Psi].
2	Actuadores hidráulicos	2	Diámetro del cilindro 34.87176. Máximo desplazamiento del vástago 0.19cm. Mínimo desplazamiento del vástago 0.06m.
3	Bastidor paralelogramo	4	0.47m
4	Cinzel frontal	4	Cinceles someros de 0.75m de largo a 0.20m de profundidad de trabajo
5	Cinzel Profundo	2	Cinceles con alas de 0.60m a profundidad variable de trabajo 0.20,0.30,0.40m

El desplazamiento máximo de la sección trasera respecto de la delantera es de 0.36 m; permitiendo un desplazamiento hacia arriba de 0.17 m (Figura 4.2) y hacia abajo de 0.19 m (Figura 4.3) cuando las mesas se encuentran paralelas. Con ello asegurándonos que el sistema de paralelogramo permitirá trabajar a profundidades variables en un rango de 0.20 a 0.40 m.

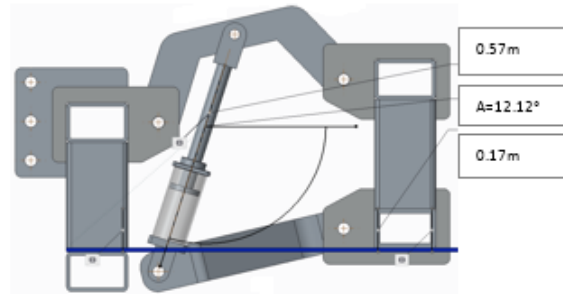


Figura 4.2: Desplazamiento superior.

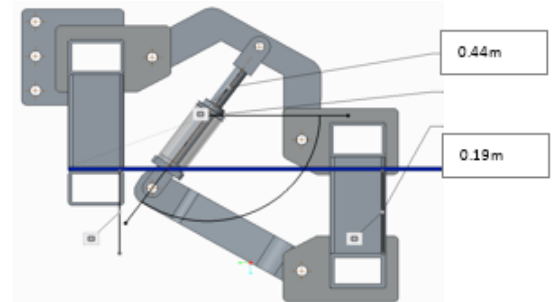


Figura 4.3: Desplazamiento inferior.

4.1.2. 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 4.4) para el cual se utilizó el sensor de tipo LV-MaxSonar-EZ1.

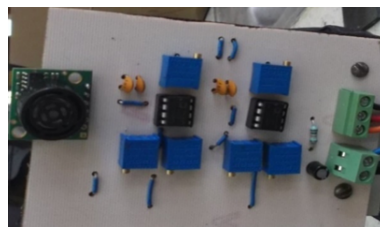


Figura 4.4: Sonar LV-MaxSonar-EZ1

Para obtener la linealidad y constante de calibración del sensor se emplearon: el amplificador de señales (DBK-43A), el convertidor analógico digital (DakBook- 2000) y una computadora.

En la Figura 4.5, se muestra un ejemplo de la gráfica de los datos obtenidos en la calibración bajo condiciones de laboratorio del sensor de profundidad, observando el número de datos para las distancias aplicadas vs la deformación en V y la sensibilidad del sensor.

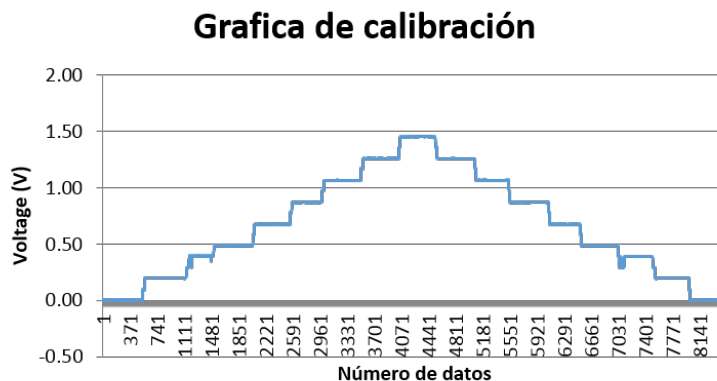


Figura 4.5: Gráfica de respuesta de calibración del sensor.

En el cuadro 4.2 se muestran los datos en volts (V) para un rango de distancia de medición de 0.0 a 0.40 m.

En la Figura 4.6 se observa la línea de regresión que se obtuvo mediante los datos de calibración, bajo condiciones de laboratorio empleando el programa estadístico de Minitab V16, en él se aprecia un alto coeficiente de correlación (R-Sq) del 99.6% y obteniendo una ecuación de calibración con sensibilidad de $280.4mmV^{-1}$ entre las distancia aplicadas (mm) y los valores obtenidos en (mV).

Cuadro 4.2: Proporción entre valores de distancia y voltaje para la obtención de la constante de calibración.

Número de repeticiones de lectura del sensor (V)					
Distancia (m)	I	II	III	IV	V
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.19	0.20	0.20	0.19	0.19
0.10	0.38	0.39	0.40	0.39	0.39
0.15	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
0.20	0.67	0.68	0.68	0.67	0.67
0.25	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86
0.30	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06
0.35	1.25	1.25	1.26	1.26	1.25
0.40	1.45	1.46	1.45	1.45	1.44
0.35	1.25	1.26	1.26	1.26	1.25
0.30	1.06	1.07	1.06	1.06	1.07
0.25	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
0.20	0.67	0.68	0.68	0.67	0.67
0.15	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
0.10	0.38	0.39	0.39	0.38	0.39
0.05	0.19	0.2	0.2	0.19	0.19
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

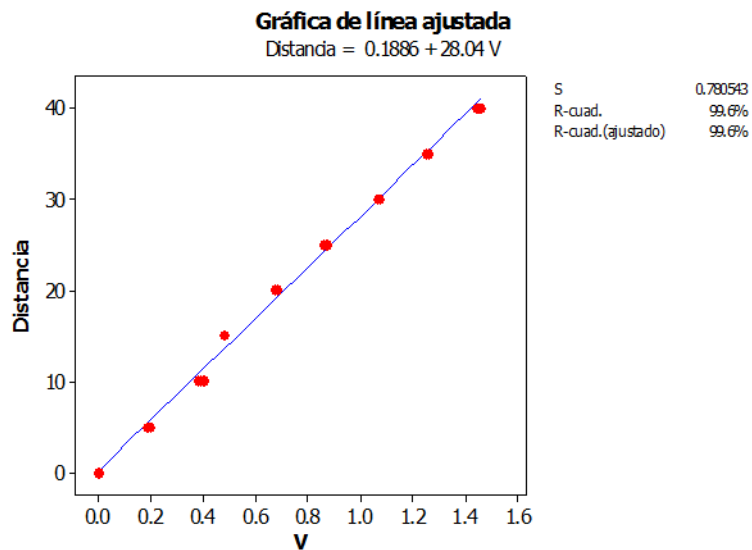


Figura 4.6: Ecuación de respuesta del sensor de distancia

4.1.3. Mapa de diagnóstico de capas compactadas

En la Figura 4.7 se observa el carro porta-sensores acondicionado con el sensor de resistencia a la penetración, el cual cumple con las normas ASAE de los parámetros técnicos para el monitoreo en campo.

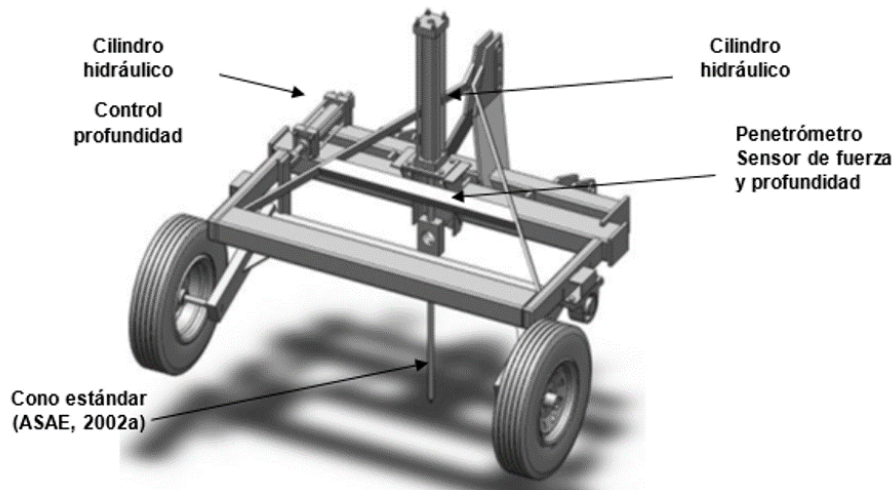


Figura 4.7: Carro-portasensores.

En la Figura 4.8 y 4.9 se muestran los mapas para la profundidad de 0.40 m, se puede observar los valores clasificados por la interpolación en un rango de 1.71 a 3.96 MPa.

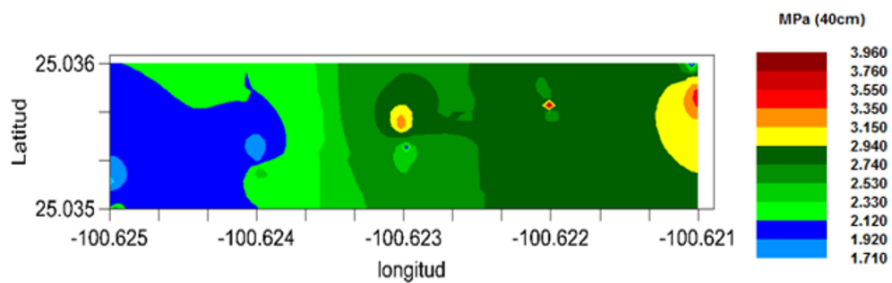


Figura 4.8: Mapa 2D de Resistencia a la penetración para 0.40 m. de profundidad.

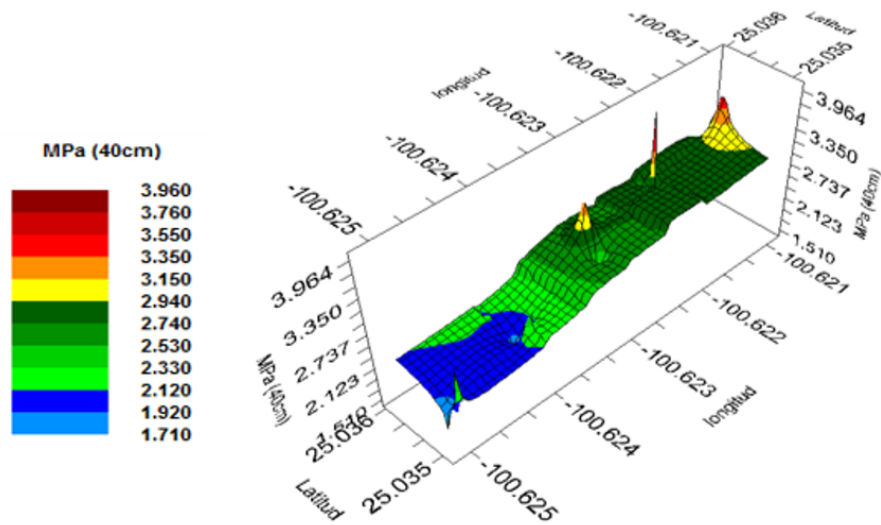


Figura 4.9: Mapa 3D de Resistencia a la penetración para 0.40 m. de profundidad.

Para la profundidad de 0.40 m. se observa que existe presencia de capas duras superiores a 2 MPa en un 80 % de la superficie muestreada.

4.1.4. Evaluación del sensor de distancia bajo condiciones de campo.

Una vez obtenida la linealidad y la ecuación de calibración del sensor se realizaron las pruebas de funcionamiento del sensor LV-MaxSonar-EZ1, para obtener la altura a la que se desplazaba el marco articulado respecto a la parte fija del equipo. En las Figuras 4.10 y 4.11 se muestran dos ejemplos de las curvas de la medición en tiempo real al cambio de profundidad de laboreo bajo condiciones de campo.

En estas Figuras, se observan las distintas profundidades a la que trabajó el equipo de labranza vertical bajo condiciones de campo, el primer escalón (a) corresponde a la primera profundidad de laboreo 0.40m; el segundo escalón (b) a una profundidad de 0.20m; el tercer escalón (c) a 0.40m; y el cuarto escalón (d)

a 0.30m. Es importante mencionar que la profundidad de 0.30 m, es la posición en donde la parte articulada se encuentra nivelada con la fija. Para alcanzar la profundidad mínima de laboreo es necesario desplazar 0.10m hacia arriba y para alcanzar la profundidad máxima de laboreo es necesario desplazar 0.10m hacia abajo.

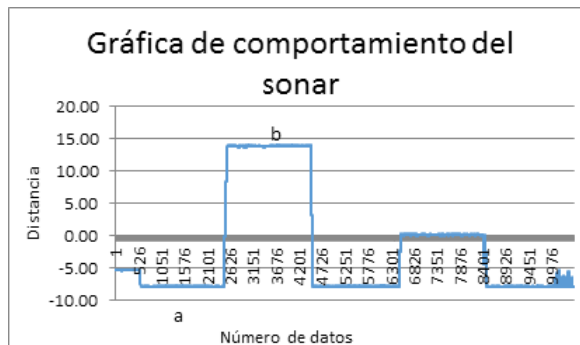


Figura 4.10: Gráfica de comportamiento del sonar en campo R1.

En la gráfica de la Figura (4.12) se observa dos profundidades de trabajo a 0.20m y 0.30m a las que trabaja el equipo de labranza vertical bajo condiciones de campo. El primer escalón (a) corresponde a la profundidad de laboreo 0.20m ó prescripción de 0.10m por encima de la referencia. El segundo escalón (b) corresponde a la profundidad de laboreo 0.30m ó prescripción de 0.0m posición de referencia (el marco fijo está en posición paralela con la parte articulada).

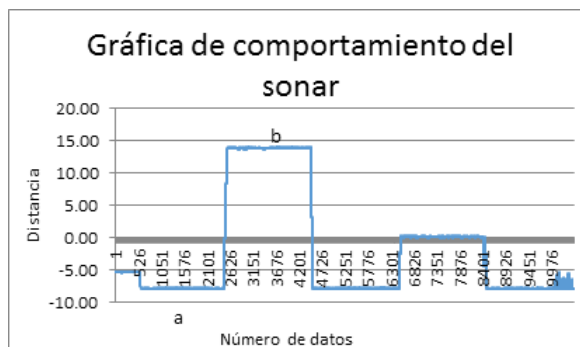


Figura 4.11: Gráfica de comportamiento del sonar en campo R2.

En los cuadros 4.10 y 4.11 se muestran los valores que se desplazó el marco

articulado respecto a la parte fija del equipo a diferentes profundidades de laboreo 0.20, 0.30 y 0.40m.

En la columna profundidad registrada del cuadro 4.11 se aprecia el rango de profundidades reales obtenidas por el sonar. Se realizó un desplazamiento de 0.10 m de la parte articulada hacia arriba y abajo con respecto a la parte fija del prototipo. Es importante señalar que cuando la parte fija y la articula se encuentran niveladas existe una profundidad del implemento de 0.30m, misma posición que se utiliza de referencia para posteriormente establecer la profundidad de 0.20 y 0.40 m. Los rangos de profundidad de trabajo quedaron establecidos en tres posiciones.

4.1.5. Evaluación Estática

Cuando se ajustó el desplazamiento a una distancia de 100 mm a la sección trasera a través de la aplicación FieldLevel II el desplazamiento real obtenido con el sensor de distancia fue de 107.68 mm con un tiempo de 21.43 segundos (Figura 4.12). En la dirección opuesta el recorrido fue de 107.78 mm en 50.25 segundos

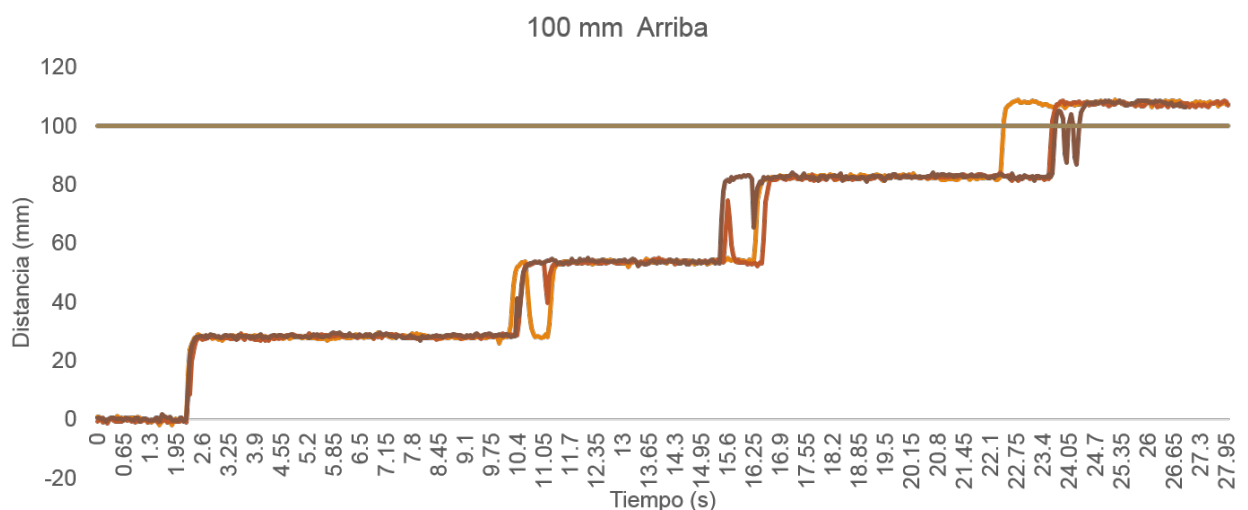


Figura 4.12: Respuesta 100 mm hacia arriba

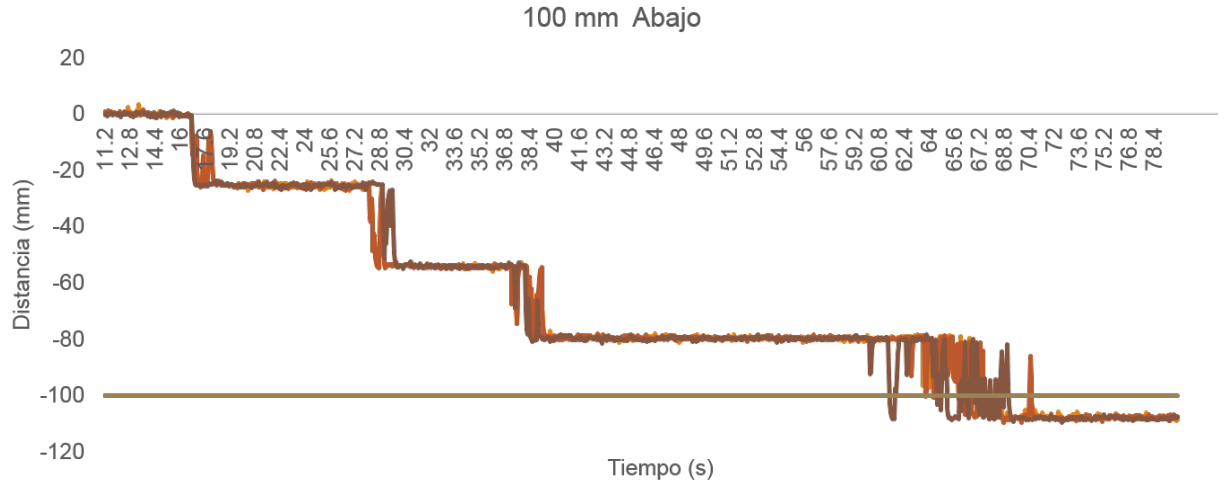


Figura 4.13: Respuesta 100 mm hacia abajo

La instrucción de 200 mm hacia arriba y hacia abajo produjo un desplazamiento de 216.18 mm en 54.02 segundos (Figura 4.14) y 187.8 mm en 74.5 segundos (Figura 4.15) respectivamente.

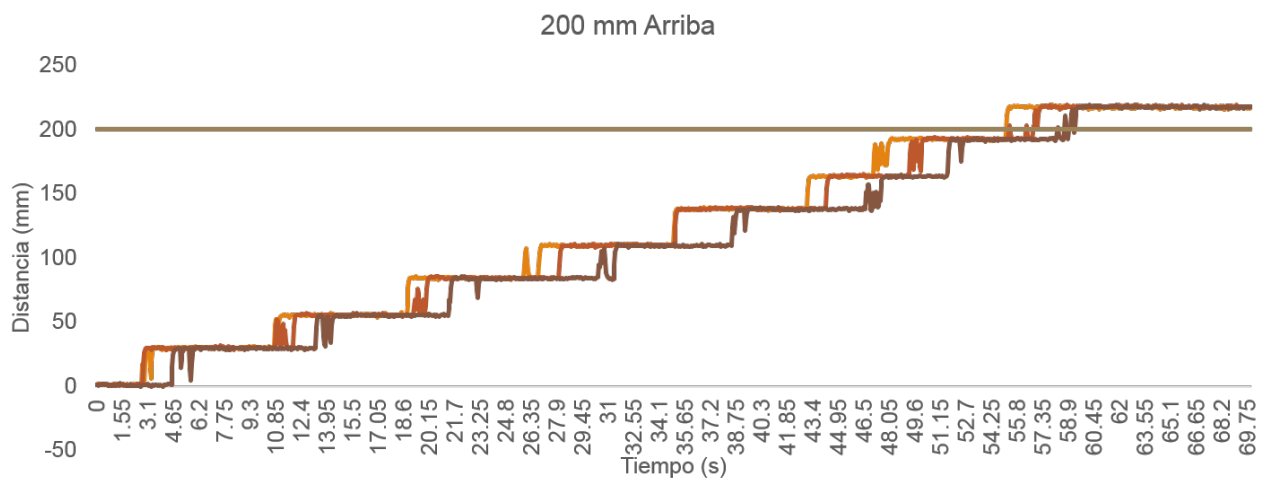


Figura 4.14: Respuesta 200 mm hacia arriba

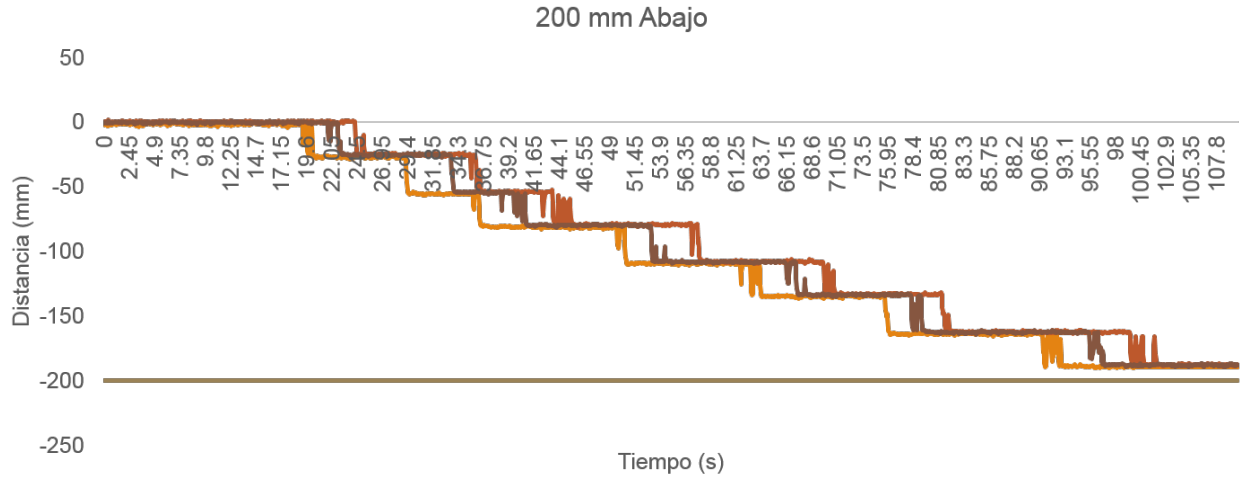


Figura 4.15: Respuesta 200 mm hacia abajo

La distancia recorrida en cada pulso fue en promedio de 24.5 mm en ambas direcciones, con un retardo de 7.2 segundos hacia arriba, mientras que hacia abajo realizó los pulsos cada 10.7 segundos en promedio.

En la Figura 4.16 se observa la comparación de medias del desfase o error entre la distancia programada y la distancia real recorrida debido al factor *distancia* y *dirección*, por lo que se dedujo que se tuvo el mayor error cuando se instruyó al sistema un recorrido de 200 mm en la dirección *arriba*, mientras que en la instrucción de 100 mm hacia *arriba* se obtuvo un menor desfase.

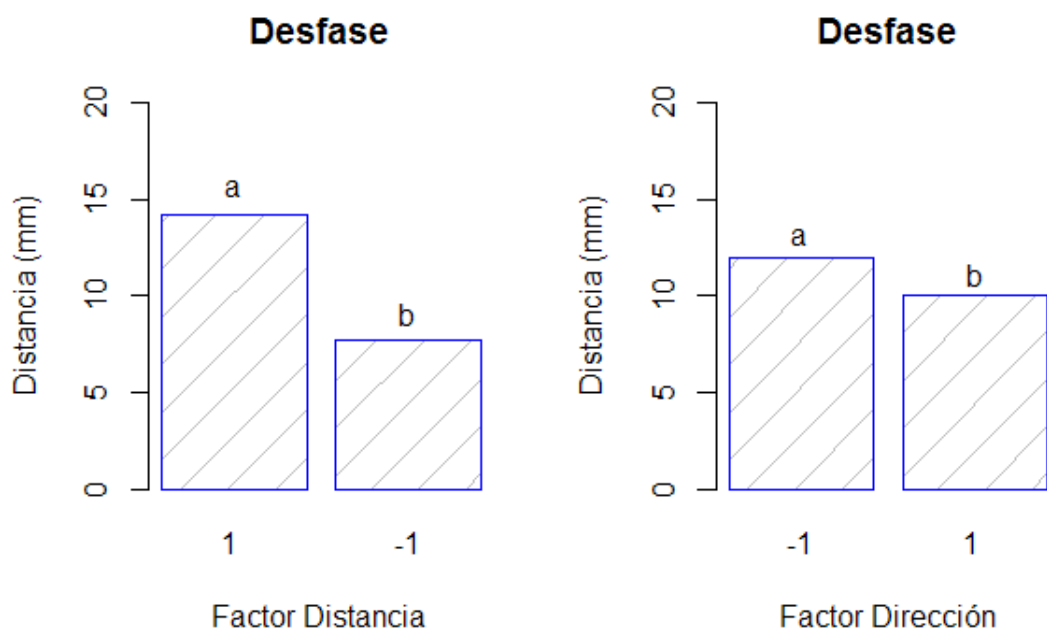


Figura 4.16: Comparación de medias. Distancia $-1 = 100mm$, $1 = 200mm$; Dirección $-1 = Arriba$, $1 = Abajo$.

4.2 Metodología desarrollada para la prescripción de laboreo variable

Se generó una metodología para la generación de mapas de prescripción ejecutables por el controlador FmX y su aplicación FieldLevel II. Las actividades que contempla la metodología se describen a continuación: La metodología se encuentra en el apéndice x

Trazado de parcela

El sitio de prueba utilizado fue una superficie de 1.5 hectáreas, se trazaron 15 puntos en 3 franjas con 2.40 m correspondiente al ancho de trabajo del implemento, con un espaciamiento de 10 m entre franjas y 100 m entre punto de

muestreos (Figura 4.17); Posteriormente se capturó la latitud, longitud y altitud en coordenadas geográficas en cada punto usando la pantalla FMX con la señal de corrección RTK (Figura 4.18). Esta actividad se realizó para simular un diagnóstico de profundidad de capas compactadas en el que a cada franja de puntos se le asignó de forma aleatoria una profundidad de 0.20, 0.30 y 0.40 m.



Figura 4.17: Trazado de puntos de control en parcela de prueba



Figura 4.18: Captura de puntos trazados con la pantalla FmX

Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó con la aplicación *Survey* de la pantalla FmX. Primero se define y registra un punto maestro o **MBP** (*Master Bench Point*), considerando posicionarlo cerca del sitio de prueba y en una superficie plana o nivelada, después se delimita el lote de pruebas, haciendo un recorrido por el **LÍMITE** exterior del mismo; posteriormente se realizó un recorrido **INTERIOR** de la parcela para que el sistema registrara la pendiente natural del terreno, los espaciamientos de este recorrido fueron definidos de acuerdo a los puntos de las franjas del trazado. La pantalla realiza el registro de estos puntos en coordenadas métricas relativas al MBP, generando una base de datos en un archivo nombrado **Multiplane** con extensión **txt**. A partir de estos registros de información como base de datos el sistema es capaz de generar dos mapas, uno de alturas (Figura 4.19) y otro de cortes y rellenos. La información obtenida del levantamiento puede ser extraída por medio de un dispositivo de almacenamiento USB. Las instrucciones necesarias para realizar esta tarea se enlistan en el Anexo B.3

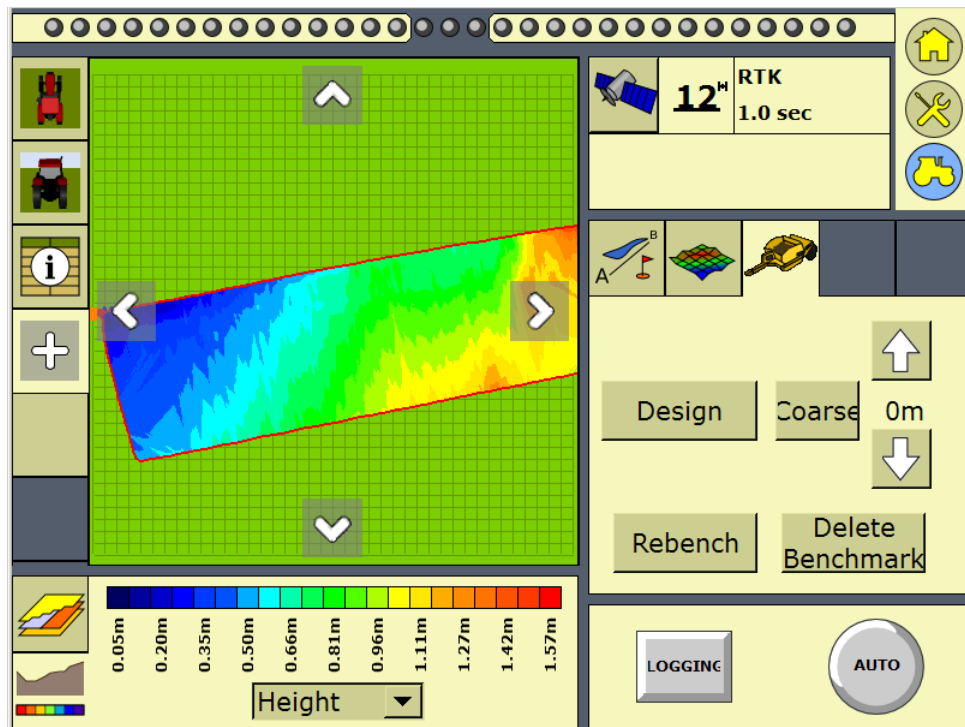


Figura 4.19: Mapa de alturas mostrado desde la pantalla FmX

Edición de Prescripción

En este paso metodológico se emplean dos bases de datos, la primera que se obtuvo en el trazado de la parcela con 15 puntos y la segunda base de datos que fue generada durante el levantamiento topográfico por la pantalla. La base de datos del trazado contiene la ubicación y altitud de los puntos en GMS.d (Grados, Minutos y Segundos decimales) y en metros sobre el nivel del mar (msnm) respectivamente. La base de datos generada por la pantalla contiene la ubicación del MBP en G.d (Grados decimales) y los puntos que definen el lote (límite) y pendiente (interior) están en coordenadas métricas relativas al MBP; la altitud de cada punto se expresa en metros sobre el nivel del MBP. Para integrar los puntos del trazado a la base de datos del FmX es necesario convertir las coordenadas y alturas del trazado de GMS.d a coordenadas relativas al MBP (Anexo B.4).

Al contar con la base de datos del trazado con la ubicación y altitudes de todos los puntos en coordenadas relativas al MBP, es posible usarlos como puntos de control (BM) dentro de la pantalla FmX; por lo que previamente se deben definir las nuevas alturas en cada punto de acuerdo con la profundidad de las capas compactadas; en esta aplicación se definieron de forma aleatoria de tal manera que a los puntos con prescripción de 0.20 m profundidad, se le sumo 0.10 m; a los puntos con prescripción de 0.30 m no se hizo modificación; mientras que a los puntos con prescripción de 0.40 m, se le restó 0.10 m. El proceso de edición se describe a detalle en el Anexo B.5.

Ingreso del mapa al simulador FmX

La base de datos editada (Multiplane.txt) con los puntos del trazado debe estar con el mismo formato que utiliza el controlador(Anexo B.5.1); se caracteriza por tener seis columnas:

1. **Índice de punto.** En la fila 1 se encuentra la información del *MBP*; después se enlistan los puntos de control *BM*; las filas siguientes corresponden a los puntos que definen el lote *B* (Límite); posteriormente registra los datos de elevación sin etiqueta y por último registra los puntos de sección con la etiqueta *S*, que en este trabajo no se utilizaron.
2. **Coordenadas X.** En esta columna se encuentran las coordenadas relativas al MBP en metros (latitud).
3. **Coordenadas Y.** Muestra las coordenadas de longitud en metros y en referencia al MBP.
4. **Altitud.** De igual forma en esta columna registra la altitud en metros sobre el nivel del MBP.
5. **Identificador.** Se observan las etiquetas del tipo de punto **MBP** para el Punto de Control Principal (Master Bench Point); **BM** (Bench Mark) o punto de control; **B** (Bench) puntos de Límite; **S** (Section) para los puntos que definen una sección; los puntos del recorrido interior no son etiquetados.
6. **Altitud del MBP.** Es una columna con un solo dato, correspondiente a la altura de desfase del MBP.

Station	X (m)	Y (m)	Elevation (m)	Point Type
0001	0.000	0.000	0.000	MB N25:02:8.228 / w100:37:25.590
2	315.51	10.74	1.170000	BM1
3	317.05	1.00	1.240000	BM2
4	318.94	-8.90	1.160000	BM3
5	220.75	-25.26	0.780000	BM4
6	218.83	-15.74	0.640000	BM5
7	216.85	-5.74	0.530000	BM6
8	118.38	-22.35	0.531000	BM7
9	119.83	-32.10	0.580000	BM8
10	121.44	-41.96	0.670000	BM9
11	23.20	-58.31	0.430000	BM10
12	21.48	-48.47	0.190000	BM11
13	19.57	-38.70	0.285000	BM12
14	-78.97	-56.24	-0.040000	BM13
15	-77.49	-66.02	0.130000	BM14
16	-75.49	-75.79	2.390000	BM15
17	308.30	26.97	1.451570	B
18	308.30	26.96	1.461570	B

Figura 4.20: Base de datos Multiplane.txt modificada

Posteriormente se procesa la base de datos en el simulador de la pantalla FmX tal como se detalla en el Anexo B.5.2; en este paso se generan todos los archivos necesarios para cargarlos a la pantalla FmX. El manual para cargar la base generada por el simulador se encuentra en el Anexo B.5.3.

Diseño de trabajo en FieldLevel II

Este proceso se realiza con el software de la aplicación FieldLevel II de la pantalla FmX, se selecciona *Plano Nuevo* y en la ventana de edición se configura la dirección de la pendiente principal por medio de dos puntos seleccionados de acuerdo a la dirección que tendrán los surcos, posteriormente se agregan los puntos de control *BM* que interceptan la dirección de la pendiente. Se puede observar la aceptación de los puntos intermedios por el sistema al mostrar en la columna de cortes y rellenos el valor de 0.0, lo que significa que en esos puntos el sistema desplazará la cuchilla a la altura definida en la columna *Altura o Height* (4.21).

Plane Editor

Benchmarks	Height	Cut/Fill
MB	0.0m	0.2mF
B1	1.2m	0.0mC
B2	1.2m	0.1mC
B3	1.2m	0.0m
B4	0.8m	0.1mF
B5	0.6m	0.2mF
B6	0.5m	0.3mF
B7	0.5m	0.0mF
B8	0.6m	0.0mC
B9	0.7m	0.1mC
B10	0.4m	0.2mC
B11	0.2m	0.1mF
B12	0.3m	0.0mC
B13	0.0m	0.0m
B14	0.1m	0.2mC
B15	2.4m	2.4mC

Primary Slope: 0.300 % Primary Heading: 80.36°
 Cross Slope: 0.000 % Flip: 350.36 1/2%
 Height Above Piv: 0.00 m

Buttons: New Plane, Choose Pivot, OK

Figura 4.21: Ventana de aplicación *Editor de planos*

4.2.1. Evaluación Dinámica

Se generaron dos prescripciones, la primera para comprobar si el sistema respondía al mapa de prescripción definido por los puntos de control editados de acuerdo al manual metodología propuesta; el segundo mapa se hizo con la intención de corroborar la respuesta debido a los puntos de control. Las características de los dos mapas y la respuesta del sistema a éstos, se describen a continuación:

Primera Aproximación de prescripción. En el primer mapa se definió la dirección de la pendiente que va del BM13 al BM1, dirección en la que se realizarán los recorridos; también se agregan los puntos intermedios del recorrido al diseño (BM1, BM6, BM7, BM12 y BM13) (Figura 4.22).

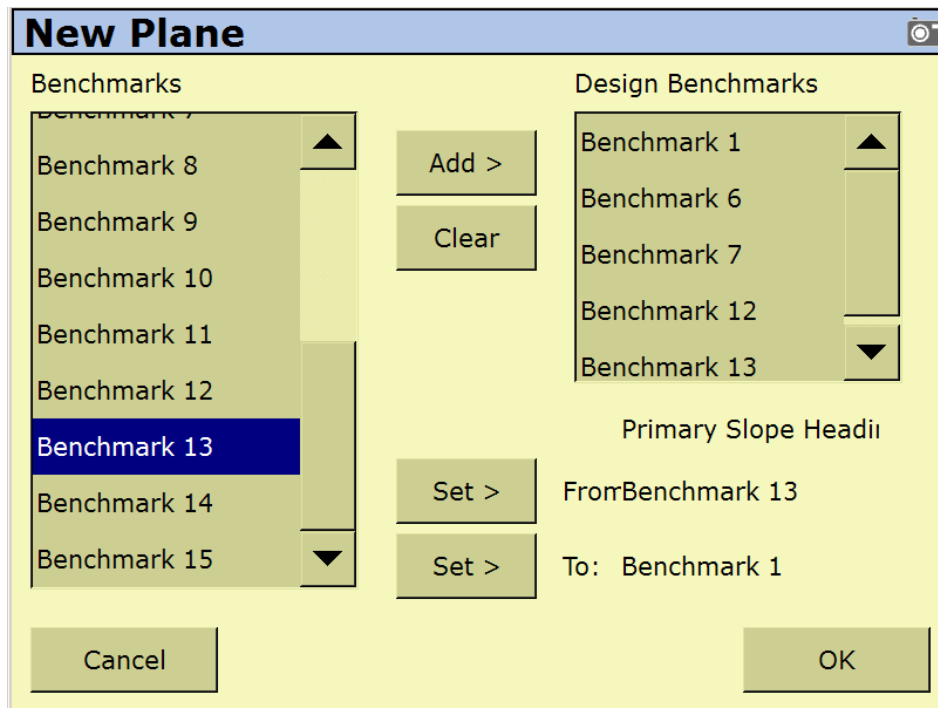


Figura 4.22: Diseño de un nuevo plano

Las alturas de la primer prescripción se muestran en el cuadro 4.3; En la columna Altura se muestra la distancia entre el MBP y el punto de control; la columna Profundad contiene la distancia entre el punto de control y la capa com-

pactada en distancias de 0.2, 0.3 y 0.4 m, definidas de forma aleatoria para este estudio; en un trabajo real, se definirán de acuerdo a un diagnóstico de localización de capas compactadas; la columna ajuste indica la cantidad a sumar a la columna de Altura y así generar la última columna que contiene las nuevas alturas que sirven de control al realizar el diseño en la pantalla FmX.

Cuadro 4.3: Prescripción 1

Punto de Control	Altura	Profundidad	Ajuste	Prescripción
BM1	1.27	-0.4	-0.10	1.17
BM2	1.24	-0.3	0.00	1.24
BM3	1.06	-0.2	0.10	1.16
BM4	0.68	-0.2	0.10	0.78
BM5	0.74	-0.4	-0.10	0.64
BM6	0.63	-0.4	-0.10	0.53
BM7	0.53	-0.3	0.00	0.53
BM8	0.58	-0.3	0.00	0.58
BM9	0.57	-0.2	0.10	0.67
BM10	0.33	-0.2	0.10	0.43
BM11	0.29	-0.4	-0.10	0.19
BM12	0.29	-0.3	0.00	0.29
BM13	0.06	-0.4	-0.10	-0.04
BM14	0.13	-0.3	0.00	0.13
BM15	0.15	-0.2	0.10	0.25

En el segundo mapa la dirección fue en base a los mismos puntos (BM13 y BM1) pero solo se tomaron en cuenta los puntos de diseño BM13, BM12, BM6 y BM7 por que al incluir el BM1 como punto de diseño, se modificaron las demás alturas de control, debido a esto no se consideró el BM1 en el nuevo diseño.

La respuesta del sistema a la primer prescripción se muestran en la Figura 4.23

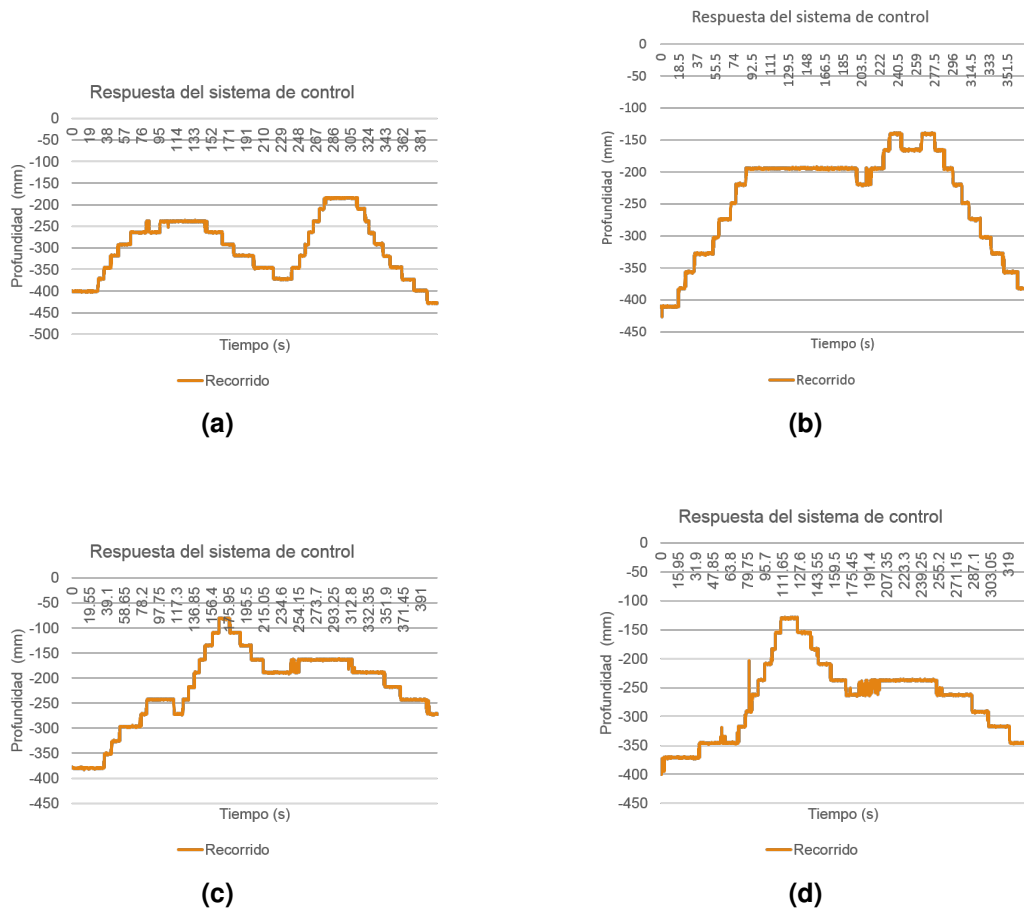


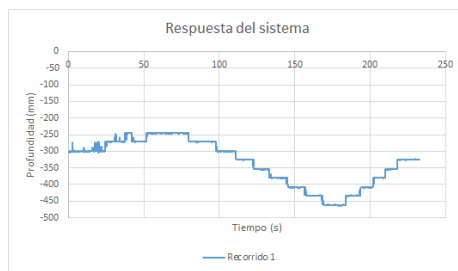
Figura 4.23: (a) Recorrido 1; (b) Recorrido 3; (c) Recorrido 2 y (d) Recorrido 4.

Las Figuras 4.23a y 4.23b corresponden al recorrido del BM13 al BM1 a la respuesta del sistema en tiempo real y medida con el sensor de distancia. El segundo mapa de prescripción fue generado para el mismo lote, realizando un nuevo levantamiento y todas las operaciones para la edición de prescripción indicadas en el manual para generar los puntos de control. Las alturas de los puntos de control de la segunda prescripción se presentan en el cuadro 4.4.

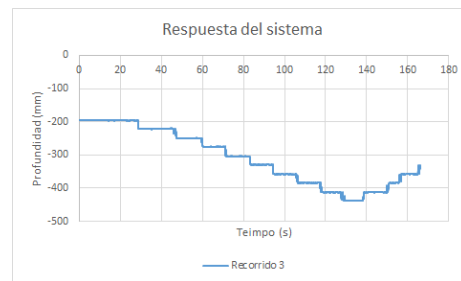
Cuadro 4.4: Prescripción 2

Punto de Control	Altura	Profundidad	Ajuste	Prescripción
BM1	1.31	-0.2	0.10	1.41
BM2	1.33	-0.3	0.00	1.33
BM3	1.17	-0.4	-0.10	1.07
BM4	0.76	-0.2	0.10	0.86
BM5	0.75	-0.2	0.10	0.85
BM6	0.73	-0.3	0.00	0.73
BM7	0.67	-0.4	-0.10	0.57
BM8	0.68	-0.4	-0.10	0.58
BM9	0.68	-0.3	0.00	0.68
BM10	0.41	-0.4	-0.10	0.31
BM11	0.40	-0.3	0.00	0.40
BM12	0.35	-0.2	0.10	0.45
BM13	0.21	-0.3	0.00	0.21
BM14	0.24	-0.4	-0.10	0.14
BM15	0.25	-0.2	0.10	0.35

La respuesta del sistema a la segunda prescripción se muestra en la Figura 4.24 y 4.25.



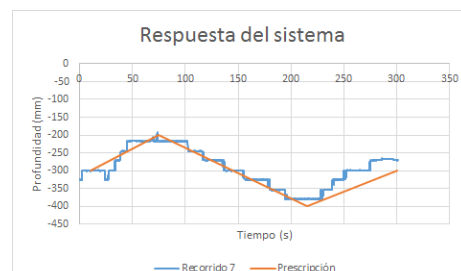
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.24: (a) Recorrido 1; (b) Recorrido 3; (c) Recorrido 5 y (d) Recorrido 7.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.25: (a) Recorrido 2; (b) Recorrido 4; (c) Recorrido 6 y (d) Recorrido 8.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El prototipo articulado de arado de cinceles permitió la aplicación de labranza variable con un rango de desplazamiento de 0.20, 0.30 y 0.40 m, mediante la manipulación del sistema electrohidráulico a una señal emitida por el controlador.

El sensor de distancia verificó en tiempo real los desplazamientos hacia arriba y hacia abajo de la sección articulada con respecto a la fija con una confiabilidad del 99.6 %.

Se obtuvo un manual que describe el procedimiento para la aplicación de labranza profunda variable inteligente utilizando el controlador FmX y la facilidad Survey y FieldLevel II.

El sistema de control ha sido capaz de aplicar el laboreo profundo de forma variable e inteligente.

Para la aplicación de labranza variable es necesario diseñar un plano el cual se aplica particularmente en una franja definida por los puntos de control empleados para hacer el diseño del plano.

5.2 Recomendaciones

Se propone realizar estas pruebas con los cinceles en operación, posteriormente hacer un muestreo del perfil de suelo para medir la variabilidad de la profundidad de laboreo en campo.

Diseñar un mapa con una sola profundidad de prescripción para medir la respuesta del sistema a cambios de prescripción debidos a la pendiente del terreno.

Generar los mapas de prescripción con el software Multiplane, por la facilidad que tiene de generar mapas de prescripción con diferentes pendientes dentro de una misma parcela.

LITERATURA CITADA

- Adamsen, F., Barnes, E., Hunsaker, D., Bautiska, E. y Clemmens, A. (2000), Surface irrigation and precision crop management, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture', Bloomington, MN, USA.
- Aluko, O. y Seig, D. (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.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198700001562>
- Andrade-Sanchez, P., S.K. Upadhyaya, C. P. y Poutre, B. (2008), 'Development and field evaluations of a field-ready soil compaction profile sensor for real-time applications', *Transactions of ASABE* **24**(6), 743–750.
- Auernhammer, H. (2001), 'Precision farming — the environmental challenge', *Computers and Electronics in Agriculture* **30**(1–3), 31 – 43.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169900001538>
- Auernhammer, H., Demmel, M., Maidl, F., Schmidhalter, U., Schneider, T. y Wagner, P. (1999), 'On-farm communication system for precision farming with nitrogen real-time application', *American Society of Agricultural Engineers (ASAE Paper No. 99- 1150)*.
- Barber, R., Navarro, F. y Orellana, M. (1993), *Labranza Vertical*, Centro de Investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical y Proyecto de Desarrollo Tierras Bajas del Este del Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia.
- Bauer, M., Davis, J., Sudduth, K. y Drummond, S. (2000), Agronomic and economic evaluation of variable-rate seeding on missouri soils, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Cabeda, M. (1983), Degradação física e erosão., *in* 'I Simpósio de manejo do solo e plantio direto no sul do Brasil e III Simpósio de conservação de solos do planalto', Passo fundo, RS. Anais.

- Camacho-Tamayo, J. y Rodríguez, G. (2007), 'Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua en el suelo.', *Agricultura Técnica* **67**(1), 60–67.
- Carter, P. y Johannsen, C. (2000), Agricultural cropland anomaly classification system for use with remote sensing data, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Chang, J., Clay, D., Carlson, C., Clay, S. y Reese, C. (2000), The influence of different approaches for identifying inorganic n and p management zones on fertilizer recommendation, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Chen, F., Kissel, D., West, L. y Adkins, W. (2000), Estimation of soil clay concentration with atlas sensor data, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Cook, S., Adams, M. y Bramley, R. (2000), What is obstructing the wider adoption of precision agriculture technology?, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- D., M., Savoie, P., Martel, H. y Theriault, R. (1999), 'Precision agriculture for hay and forage crops: a review of sensors and potential applications', *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE Paper No. 99-1053).
- Daberkow, S. y McBride, W. (2000), Adoption of precision agriculture technologies by us farmers, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Deguisse, J. y McNairn, H. (2000), Hyperspectral remote sensing for precision agriculture, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Derpsch, R. (2007), The no tillage revolution in south america, *in* 'FarmTech Proceedings', pp. 54–68.
- Doerge, T. (1998), 'Defining management zones for precision farming', *Crop Insights* **8**, 21.
- Ellsbury, M., Malo, D., Clay, D., Clay, S. y Carlson, C. (2000), Spatial distribution of soil dwelling stages of northern corn rootworm in relation to measurable soil and crop characteristics, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Erickson, B., Johannsen, C. y Vorst, J. (2000), Using remote sensing to detect stand loss and defoliation in maize, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.

- Ess, D., Parsons, S. y Strickland, R. (1999), 'Evaluation of commercially-available software for grain yield mapping', *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE Paper No. 97-1033).
- Evans, D., Sadler, E., Camp, C. y Millen, J. (2000), Spatial canopy temperature measurements using center pivot mounted irts, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Evans, R., Han, S. y Kroeger, M. W. (1995), 'Spatial distribution and uniformity evaluations for chemigation with center pivots', *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* (38), 85–92.
- Feyaerts, F., Pollet, P., Gool, L. y Wambacq, P. (1998), Sensor for weed detection based on spectral measurements, *in* 'Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture', St. Paul, MN, pp. 1537–1548.
- Fitzgerald, G., Maas, S. y DeTar, W. (2000), Multispectral multitemporal remote sensing for spider mite detection in cotton, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Gimenez, A. y Lamothe, A. (2000), Site specific management: Zinc deficit in an irrigated corn field, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Goddard, T. (1997), What is precision farming, *in* 'Proceedings of Precision Farming Conference', Taber, Alberta, Canadá.
- Godwin, R. y O'Dogherty, M. (2007), 'Integrated soil tillage force prediction models', *Journal of Terramechanics* **44**(1), 3 – 14.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022489806000024>
- Gonçalves, A. C. A., Folegatti, M. V. y Mata, J. D. V. (2001), 'Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um argissolo vermelho', *Acta Scientiarum* **23**(5), 1149–1157.
- Gorucu, S., Khalilian, A., Han, Y. J., Dodd, R. B., Wolak, F. J. y Keskin, M. (2001), 'Variable depth tillage based on geo-referenced soil compaction data in coastal plain region of south carolina', *ASAE Paper No.01-1016*.
- Griffin, S. (2000), Benefits and problems of using yield maps in the uk*/a survey of users, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Griffin, T., Popp, J. y Buland, D. (2000), Economics of variable rate applications of phosphorus on a rice and soybean rotation in arkansas, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.

- Hayhoe, H., Lapen, D., McLaughlin, N., Topp, G. y Curnoe, W. (2000), Spectral analysis and filtering of measurements of mouldboard plow draft, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Heiniger, R. y Meijer, A. (2000), Why variable rate application of lime has increased grower profits and acceptance of precision agriculture in the southeast, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Hendrickson, L. y Han, S. (2000), A reactive nitrogen management system, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Hoogmoed, W. B. (1999), Tillage for soil and water conservation in the semi-arid tropic, PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Johnson, R. y Bradow, J. (2000), Potential for precision management of cotton fiber quality, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- K., N., Amaha, K. y Otani, R. (2004), Development of positioning system for precision sprayer, *in* 'Automation Technology for Off-Road Equipment', Proceedings of the 7-8 October Conference, Kyoto, Japan.
- Khalilian, A., Y. J. Han, R. D., J. Mice, S. S. y Keskin, M. (2002), 'A control system for variable depth tillage', *ASAE paper No. 021209*.
- Khosla, R. (2001), 'Zoning in on precision ag', *Colorado State University Agronomy Newsletter* **21**(1), 2–4.
- Koch, B. y Koshla, R. (2003), 'The role of precision agriculture in cropping systems', *Journal of Crop Production* **9**(1/2(17/18)), 361–381.
- Kvien, C. y Pocknee, S. (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.
- Lal, R. (1995), 'Tillage systems in the tropics: Management options and sustainability implications', *Soils Bulletin*. Roma, Italia.
- Li, H., Lascano, R., Barnes, E., Booker, J., Wilson, L., Bronson, K. y Segarra, E. (2000), Autoregressive analysis of cotton lint yield: plant spectral characteristics and field variability, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Lowenberg-DeBoer (1996), Economics of precision farming: payoff in the future, Technical report, Purdue University, IN, USA.
URL: <http://pasture.-ecn.purdue.edu/-mmorgan/PFI/pfiecon.html>

- Lutticken, R. (2000), Development of an internet-based communication and information network to progress the implementation of precision agriculture, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Magalhães, P. y Souza, W. (1990), 'Subsolador: Influência de parâmetros geométricos no mecanismo de forças', *XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola* **2**(1033).
- Martínez, J. A. (1999), 'Evaluación agrotécnica y tecnológico-explotativa de un multiarado modelo m-250.', *Tesis, Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo. de México*.
- McKinion, J., Jenkins, J., Akins, D., Turner, S., Willers, J., Jallas, E. y Whisler, F. (2001), 'Analysis of a precision agriculture approach to cotton production', *Computers and Electronics in Agriculture* **32**(3), 213 – 228.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169901001661>
- McKyes, E. (1985), *Soil cutting and tillage*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- McLaughlin, N. y Burt, S. (2000), Spatial mapping of tillage energy, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Michels, G., Piccinni, G., Rush, C. y Fritts, D. (2000), Using infrared transducers to sense greenbug infestation in winter wheat, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Misra, P. y Enge, P. (2006), *Global position systems: Signals, measurements and performance*, 2nd ed. edn, Ganga-Jamuna Press., Lincoln, MA, USA.
- O'Neal, M., Frankenberger, J. y Ess, D. (2000), Spatial precipitation variability in the choice of nitrogen fertilization rates, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Oriade, C. A. y Popp, M. P. (2000), Precision farming as a risk reducing tool: a whole-farm investigation, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Pena-Yewtukhiw, E., Grove, J. y Beck, E. (2000), Nonparametric geostatistics/probabilistic sourcing of nitrate to a contaminated well, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Popp, J. y Griffin, T. (2000), Adoption trends of early adopters of precision farming in arkansas, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.

- Raper, R. L. y Bergtold, J. S. (2007), 'In row subsoiling: A review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation.', *Appl. Eng. Agric.* **23**, 463–471.
- Reutebuch, S., Fridley, J. y Johnson, L. (1999), 'Integrating realtime forest machine activity with gps positional data', *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE Paper No. 99-5037).
- Riedell, W., Hesler, L., Osborne, S. y Blackmer, T. (2000), Remote sensing of insect damage in wheat, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Roel, A., Plant, R., Pettygrove, G., Williams, J., Young, J. y Deng, J. (2000), nterpreting yield patterns for california rice precision farm management, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Rosa, U., Upadhyaya, S., Koller, M., Josiah, M. y Pettygrove, S. (2000), Precision farming in a tomato production system, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Runquist, S., Zhang, N. y Taylor, R. K. (2001), 'Development of a field-level geographic information system', *Computers and Electronics in Agriculture* **31**(2), 201 – 209.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169900001551>
- Scharf, P. y Lory, J. (2000), Calibration of remotely sensed corn color to predict nitrogen need, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Schuler, R. y Lowery, B. (2000), Tdr soil moisture sensor for a subsoiler shank, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Seal, M., Dupont, K., Bethel, M., Johnson, J., Willer, J., Hood, K. y Hardwick, J. (2000), Development and implementation of large-scale spatially variable insecticide experiments in cotton, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Shanahan, J., Doerge, T., Snyder, C., Luchiari, A. y Johnson, J. (2000), Feasibility of variable rate management of corn hybrids and seeding rates, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Shibusawa, S. (1998), 'Precision farming and terra-mechanics', *Fifth ISTVS Asia-Pacific Regional Conference in Korea* .

- Stafford, J. y Evans, K. (2000), Spatial distribution of potato cyst nematode and the potential for varying nematicide application, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Stafford, J. V. (2000), 'Implementing precision agriculture in the 21st century', *Journal of Agricultural Engineering Research* **76**(3), 267 – 275.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863400905778>
- Steiner, K. (1998), 'Conserving natural resources and enhancing food security by adopting no tillage.', *TÖB Publication* .
- Stone, M., Giles, D. y Dieball, K. (1999), 'Distributed network system for control of spray droplet size and application rate for precision chemical application', *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE Paper No. 99-3112).
- Stoorvogel, J. y Orlich, R. (2000), An integrated system for precision agriculture in bananas, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Tian, L., Reid, J. y Hummel, J. (1999), 'Development of a precision sprayer for site-specific weed management', *Transactions of the ASAE* **42**(4), 893–900.
- Van Alphen, J., Stoorvogel, J. y Peters, P. (2000), An operational, forward-looking approach to precision agriculture: a case study for dutch arable farming, Technical report.
- Varner, B., Gress, T., Copenhaver, K., Wax, L., Spragne, C. y Tranel, P. (2000), Detection of cocklebur (*xanthium strumarium* L.) in soybeans using hyperspectral imagery, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Velázquez, J. U. (2011), 'Rediseño de prototipo para labranza de precisión.'. Tesis de licenciatura.
- Vivero, W. (1998), Prácticas de conservación de suelos, *in* 'Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable de Montañas', Quito, Ecuador, pp. 36–361.
- Werner, A., Doelling, S., Jarfe, A., Kuhn, J., Pauly, S. y Roth, R. (2000), Deriving maps of yield-potentials through the use of crop growth models, site information and remote sensing, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.
- Whelan, B., McBratney, A. y Boydell, B. (1997), The impact of precision agriculture, *in* 'Proceedings of the ABARE Outlook Conference', 'The Future of Cropping in NW NSW', Moree, UK, p. 5.
- Zhang, N. y Taylor, R. (2000), Applications of a field-level geographic information system (gis) in precision agriculture, *in* 'Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)', Bloomington, MN, USA.

Zhang, N., Taylor, R., Schrock, M. y Staggenborg, S. (1999), 'Applications of a field-level geographic information system (fis) in decision making for precision agriculture', *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE Paper No. 99-3046).

Anexo A

Planos de diseño del arado articulado

FIG. 1

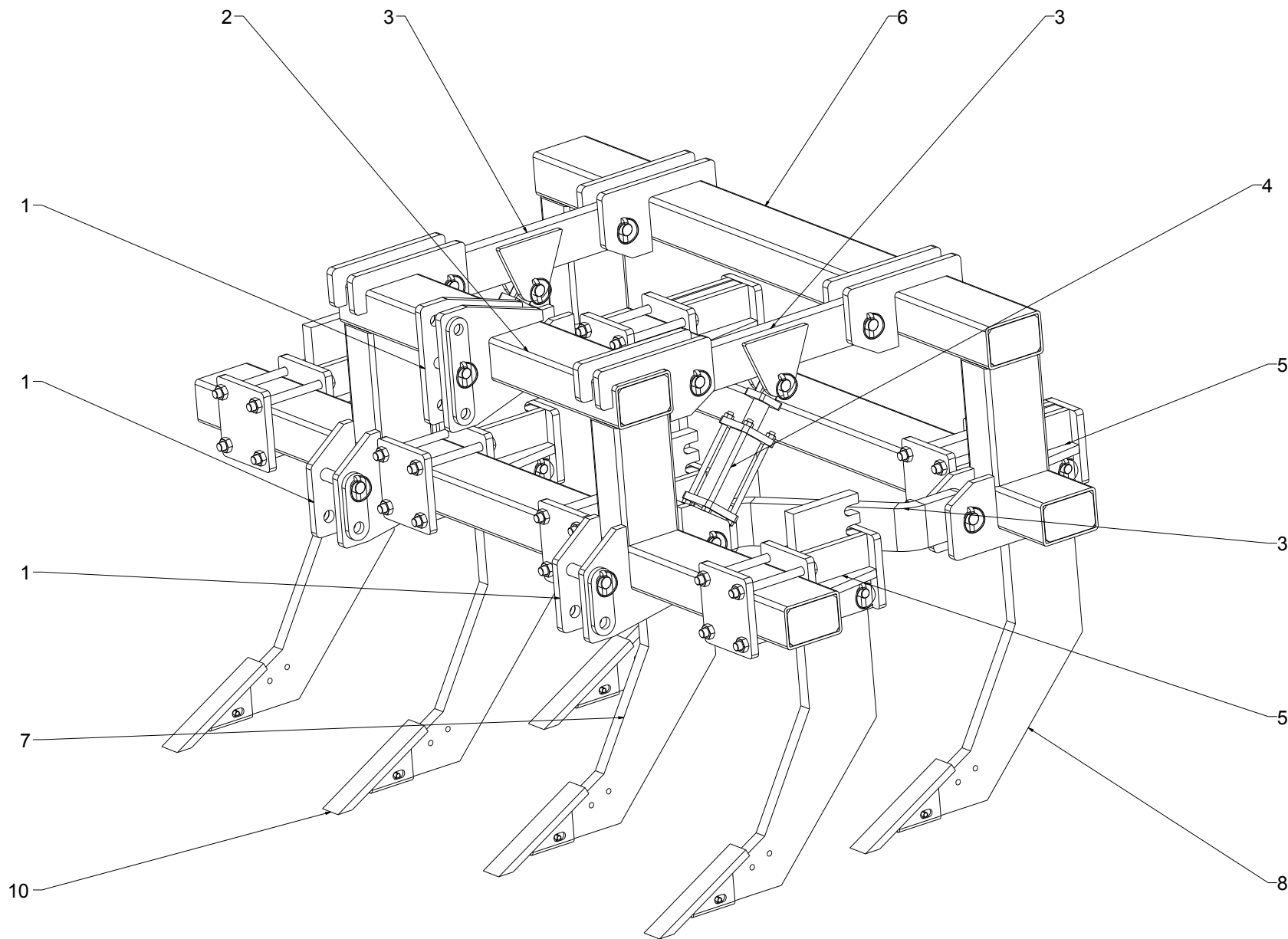


FIG. 2

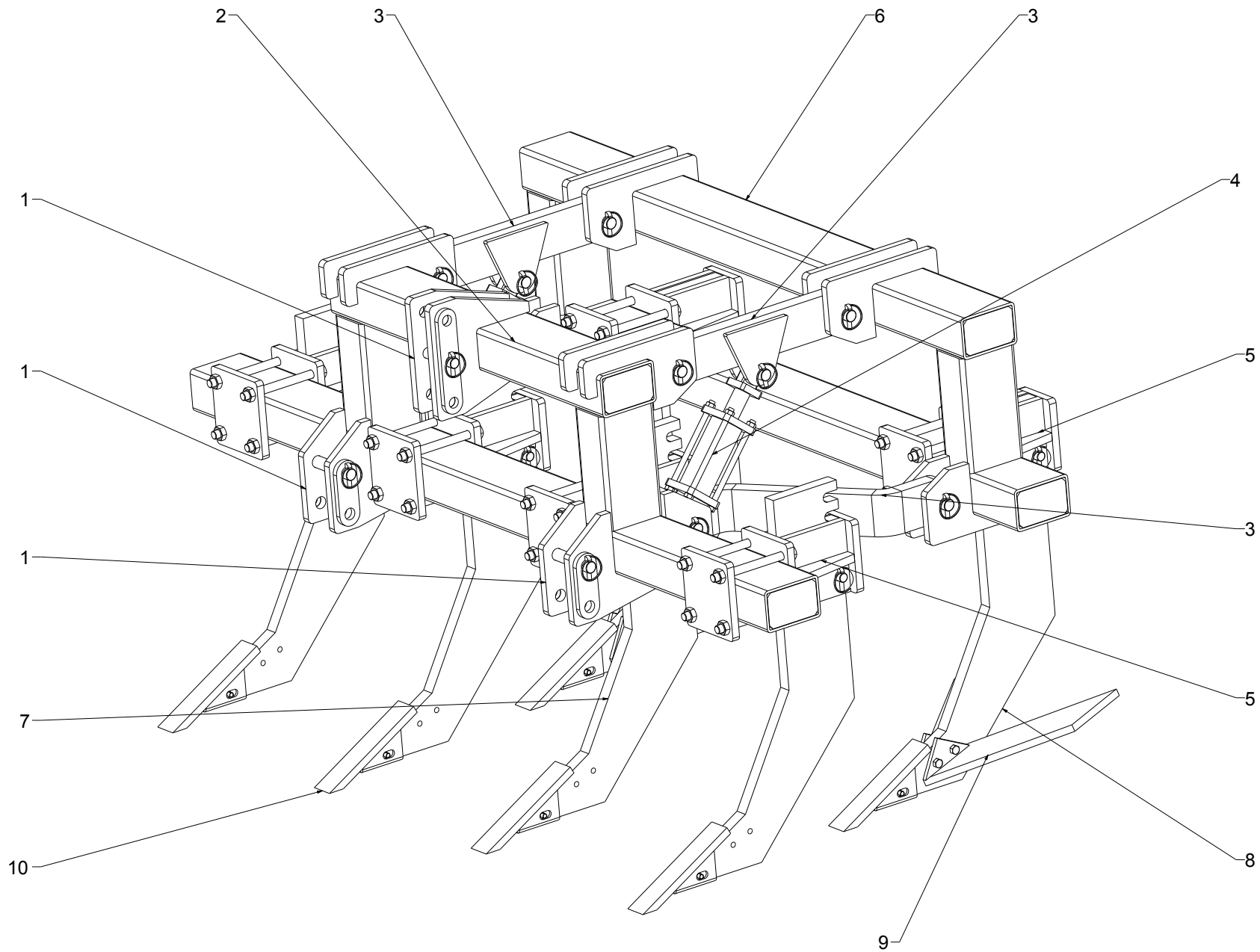


FIG. 3

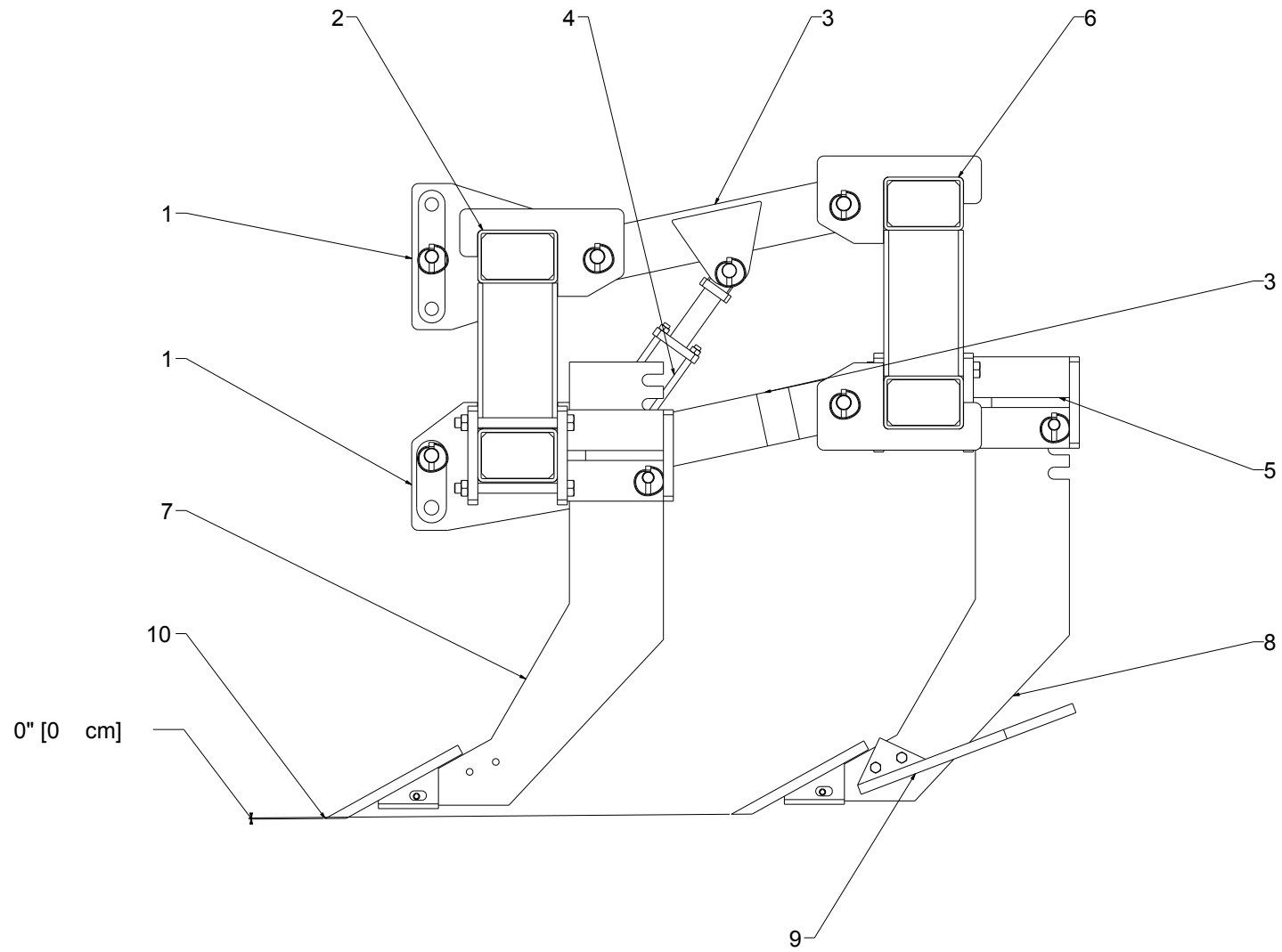


FIG. 4

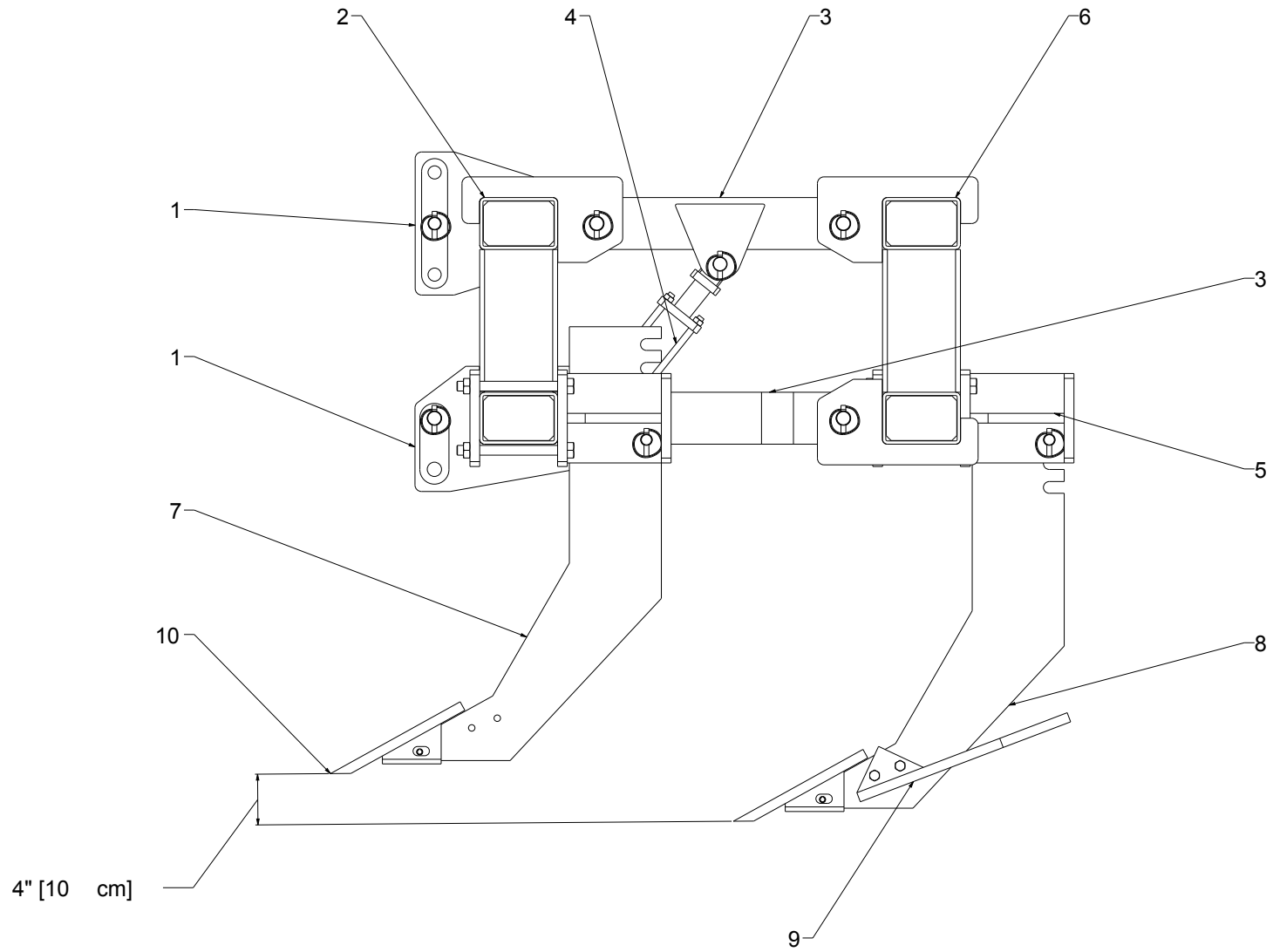
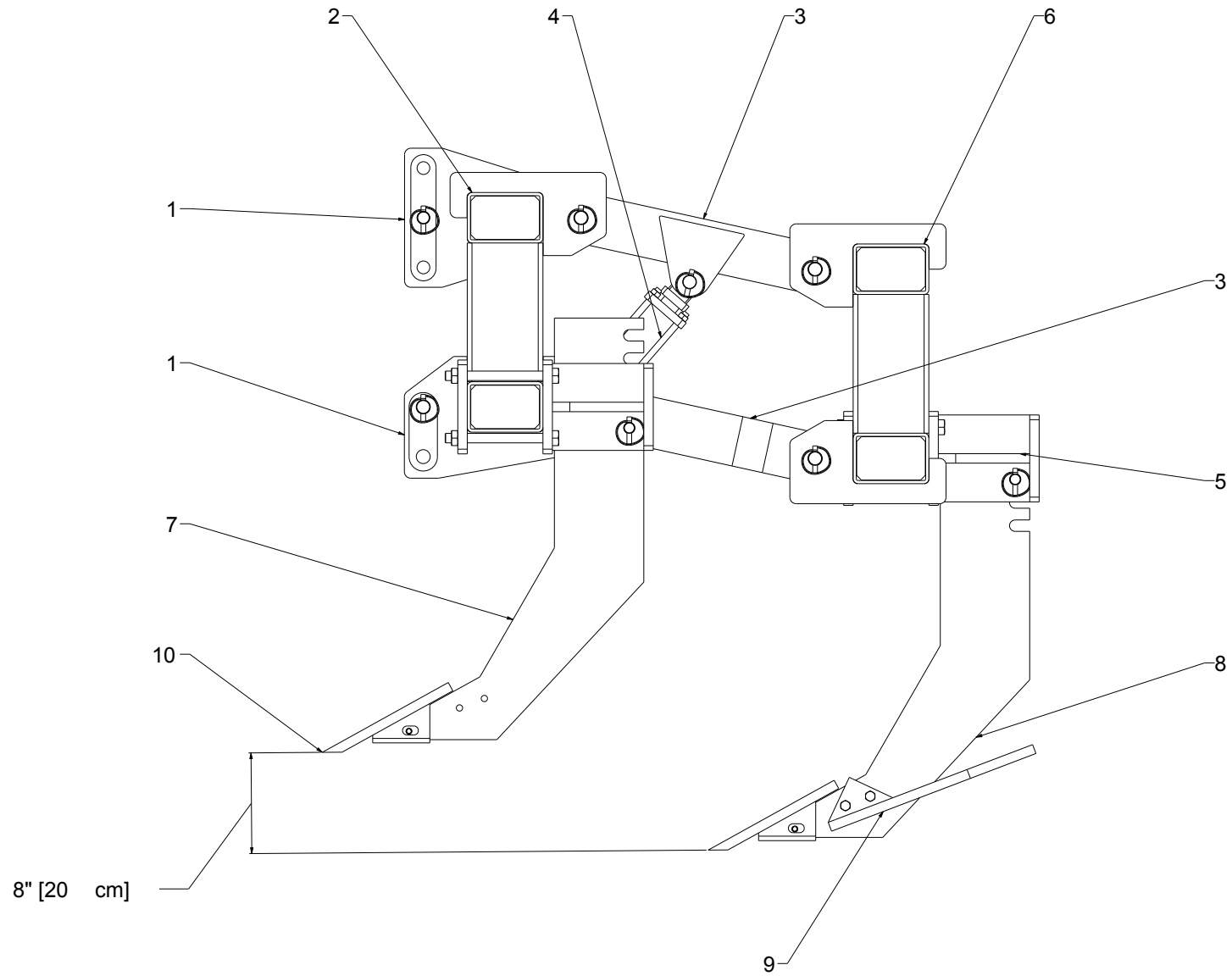


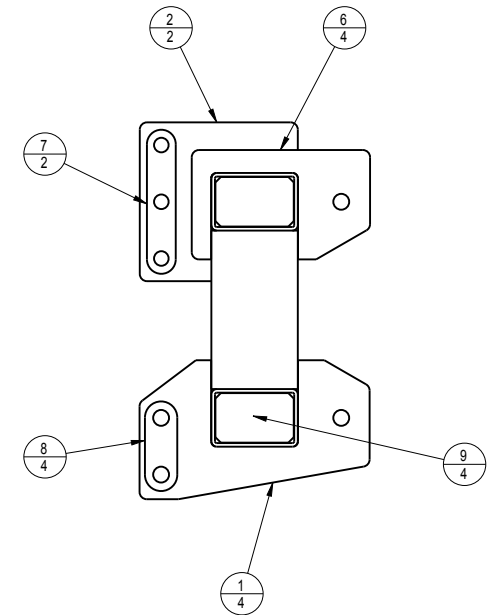
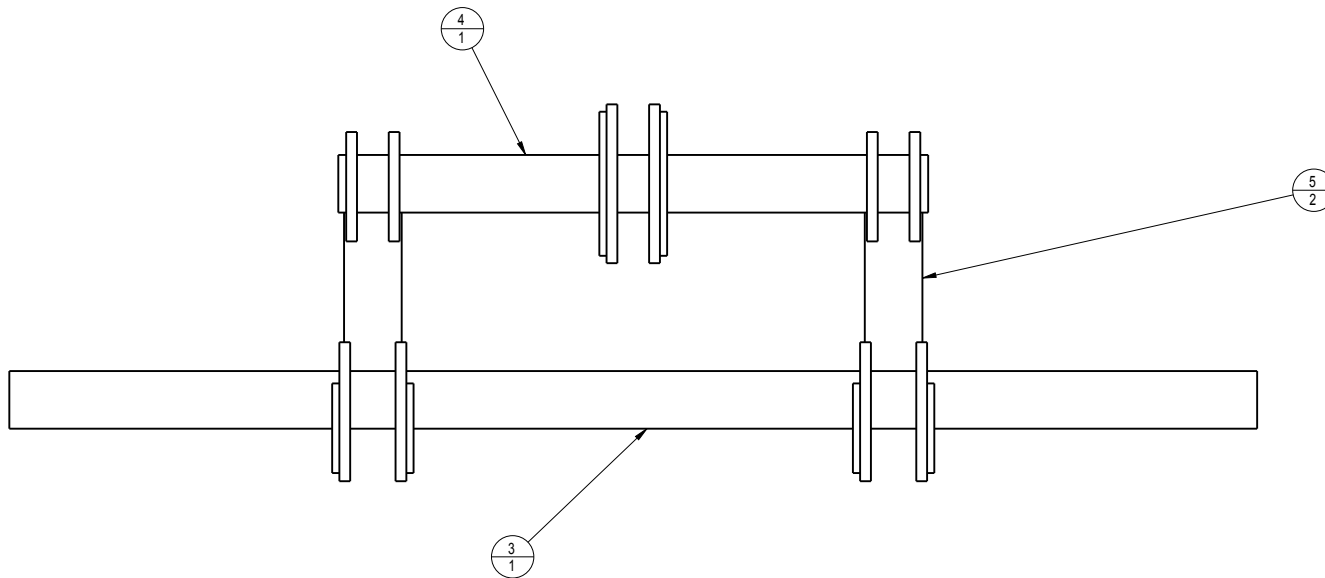
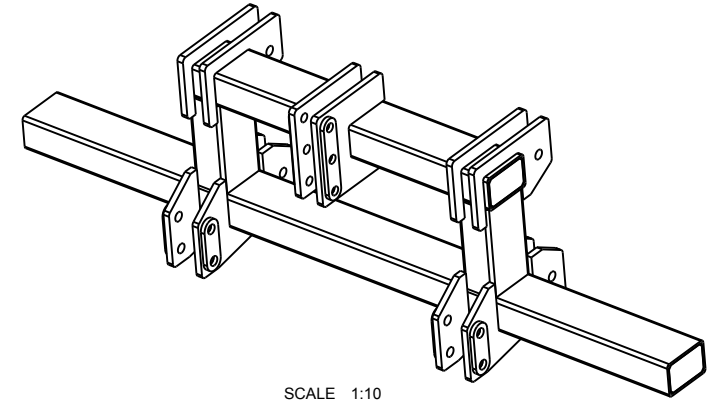
FIG. 5



ENGINEERING PARTS LIST

INDEX	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	NOTES
1	4	PRO-LI-001-M	PLACA DE ENGANCHE 3PTO DE 3/4"	
2	2	PRO-LI-002-M	PLACA DE ENGANCHE 3PTO DE 3/4"	
3	1	PRO-LI-003-M	PTR 4" X 6" X 0.25" THICK	
4	1	PRO-LI-004-M	PTR 4" X 6" X 0.25" THICK	
5	2	PRO-LI-005-M	PTR 4" X 6" X 0.25" THICK	
6	4	PRO-LI-006-M	PLACA DE ENGANCHE DE 3/4"	
7	2	PRO-LI-007-M	SOLERA PARA 3PTO DE 1/2"	
8	4	PRO-LI-008-M	SOLERA PARA 3PTO DE 1/2"	
9	4	PRO-LI-037-M	PLACA TAPADORA DE PTR DE 1/2"	

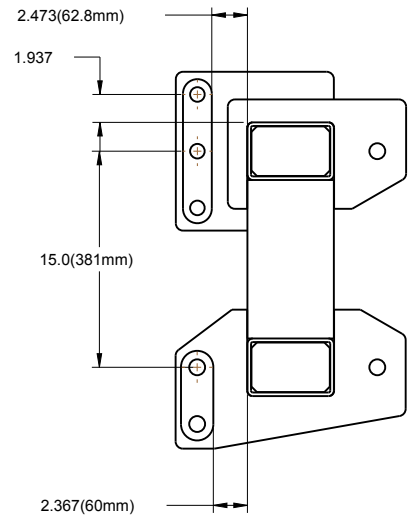
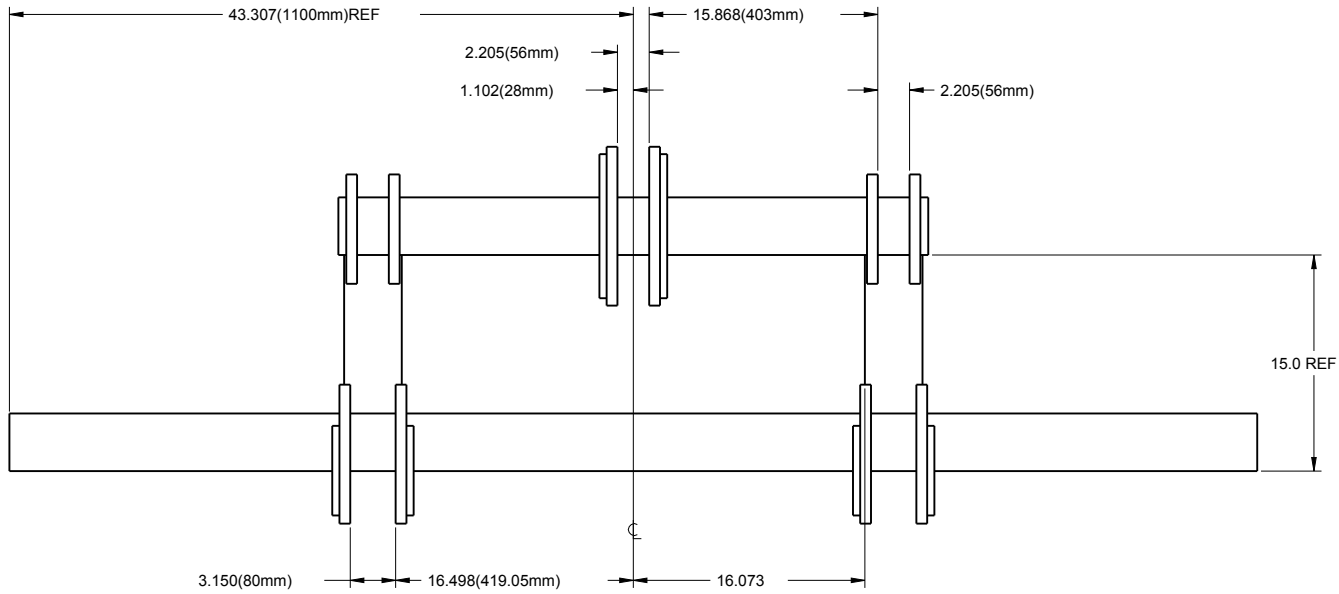
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	15-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			





<p>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México</p>		NOMBRE				
		CHASIS DELANTERO				
PARTE		PRO-LI-001-E	VERSIÓN	A	REV.	A
PROYECTO		LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO		SANTOS G. CAMPOS	
DIBUJÓ		JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ		SANTOS G. CAMPOS	
MATERIAL	MÁSCA	TAMAÑO	ESCALA	ACOTACIÓN	FECHA	HOJA
	374.353 Lb	C	3:20	In	15-Oct-12	1/3

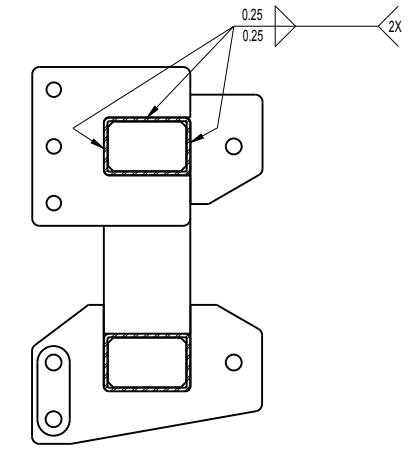
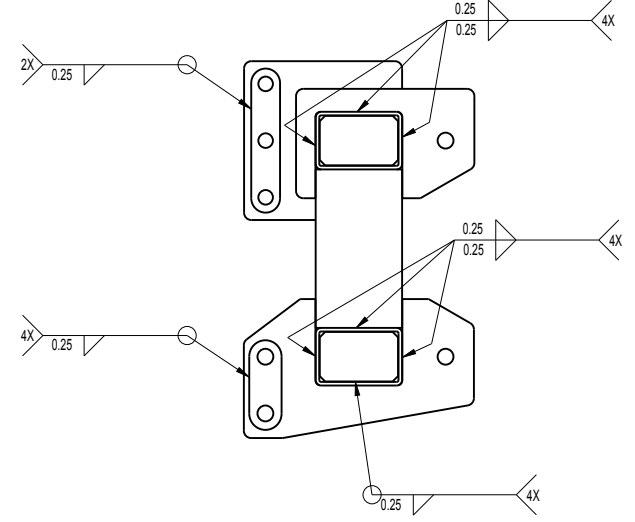
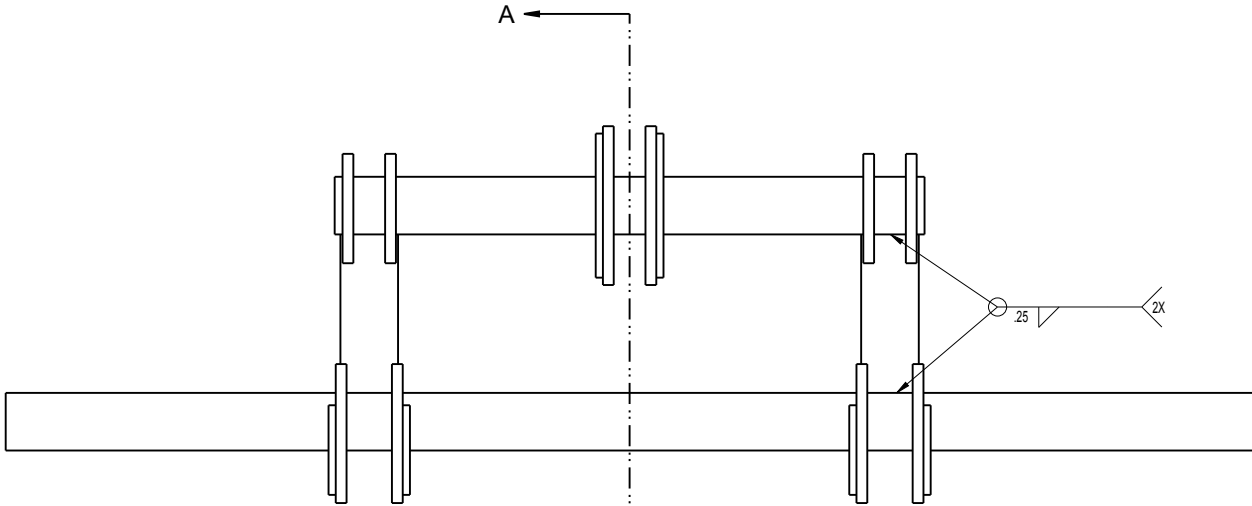
La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.
Reservados todos los derechos.

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	15-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			





 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
	NOMBRE CHASIS DELANTERO			
	PARTE PRO-LI-001-E	VERSIÓN A	REV. A	
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS		
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS			
MATERIAL	TÁMBORES 374.353 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:20	ACOTACIÓN In
				FECHA 15-Oct-12
				HOJA 2/3

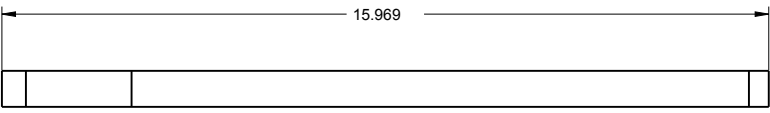
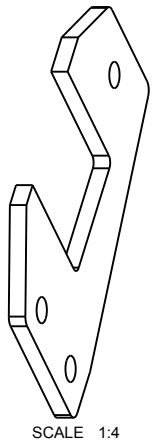
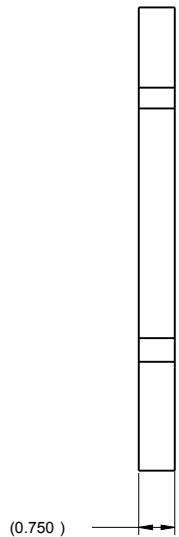
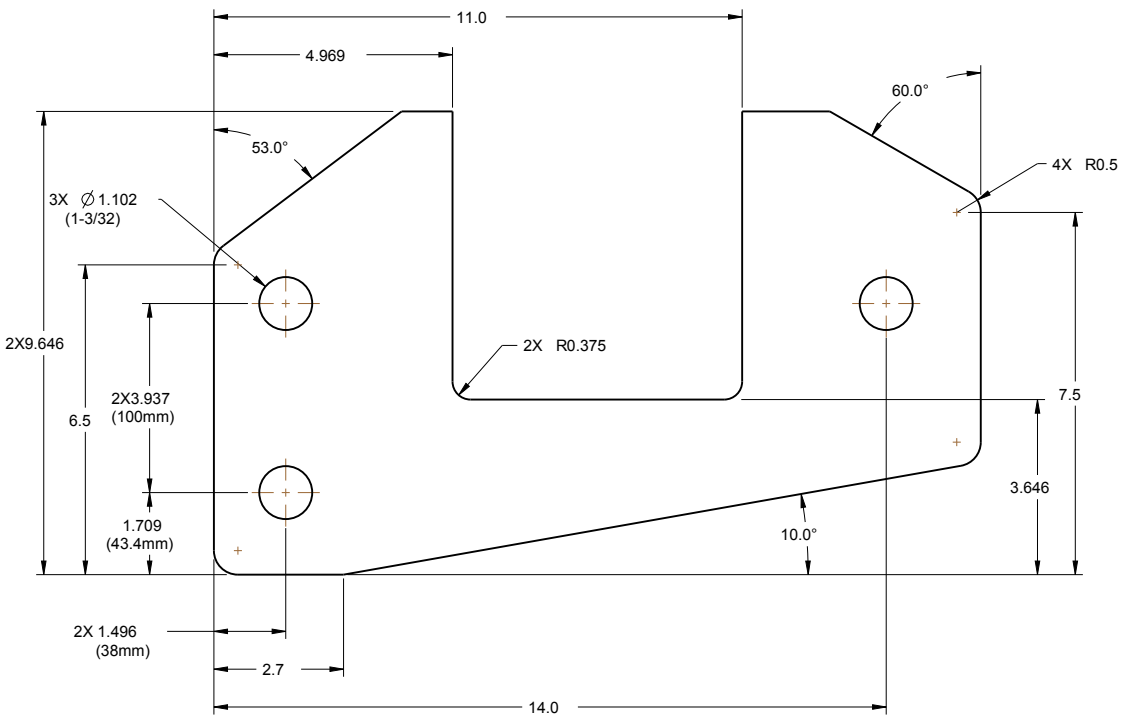
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	15-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			



SECTION A-A

 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.</p>		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE CHASIS DELANTERO			
PARTE PRO-LI-001-E		VERSIÓN A		REV. A	
PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO SANTOS G. CAMPOS			
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ		APROBÓ SANTOS G. CAMPOS			
MATERIAL	TÁMBORE 374.353 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:20	ACOTACIÓN In	FECHA 15-Oct-12
					HOJA 3/3

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	11-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

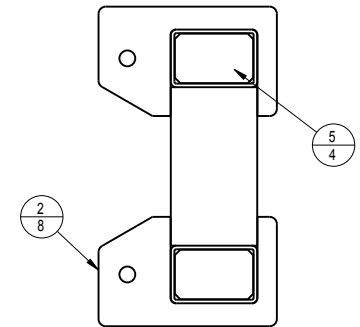
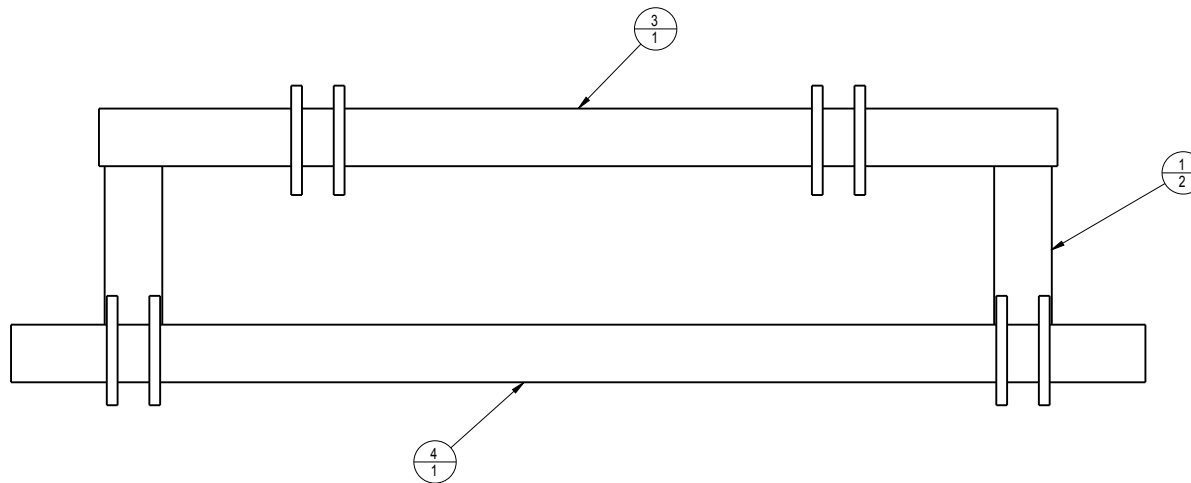





		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"			
		DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
NOMBRE		PLACA			
PARTE	PRO-LI-001-M	VERSIÓN	A	REV.	A
PROYECTO	LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO	SANTOS G. CAMPOS		
DIBUJÓ	JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ	SANTOS G. CAMPOS		
MATERIAL	ASTM A36 3/4	MASA	19.257 Lb	TAMAÑO	C
Reservados todos los derechos.		ESCALA	1:2	ACOTACIÓN	In
				FECHA	11-Oct-12
				HUJA	1/1

ENGINEERING PARTS LIST

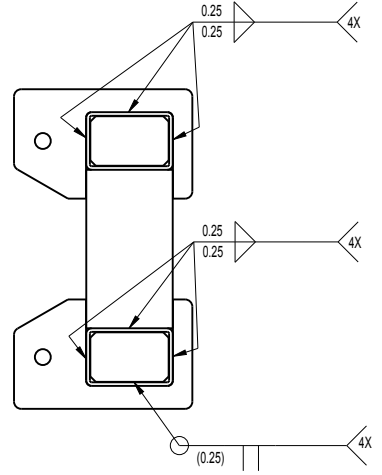
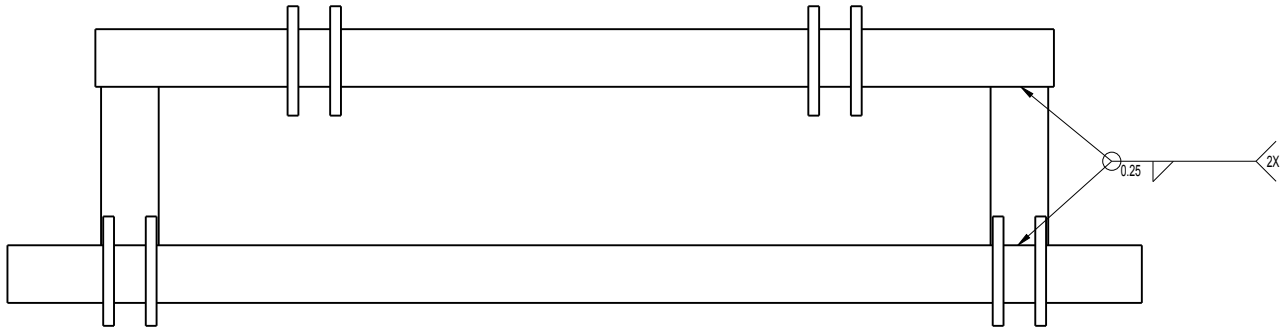
INDEX	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	NOTES
1	2	PRO-LI-005-M	PTR 4" X 6" X 0.25" THICK	
2	8	PRO-LI-006-M	PLACA DE ENGANCHE DE 3/4"	
3	1	PRO-LI-011-M	PTR 4" X 6" X 0.25" THICK	
4	1	PRO-LI-036-M	PTR 4" X 6" X 0.25" THICK	
5	4	PRO-LI-037-M	PLACA TAPADORA DE PTR DE 1/2"	


REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	15-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			



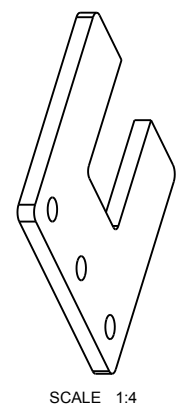
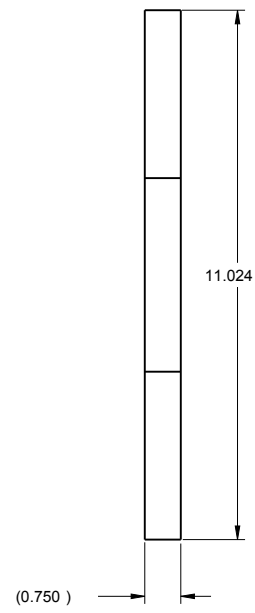
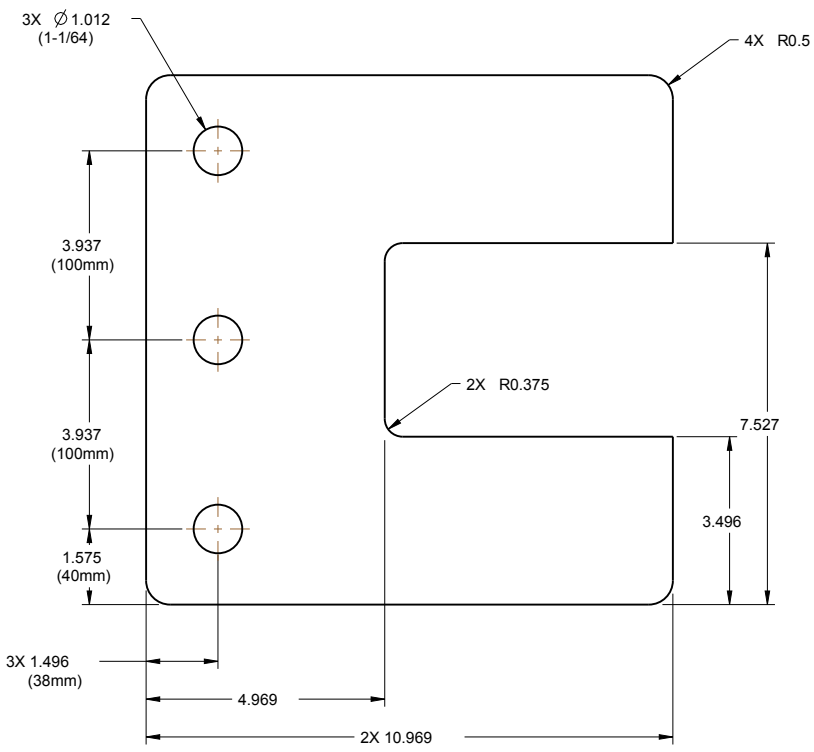
 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México		
	NOMBRE CHASIS TRASERO		
	PARTE PRO-LI-002-E	VERSIÓN A	REV. A
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS	
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS		
MATERIAL 314.400 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:20	ACOTACIÓN In
			FECHA 15-Oct-12
			HOJA 1/3


REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	15-Oct-12	JUAN GONZALEZ
B			
C			



 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE CHASIS TRASERO			
PARTE PRO-LI-002-E		VERSIÓN A		REV. A	
PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO SANTOS G. CAMPOS			
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ		APROBÓ SANTOS G. CAMPOS			
MATERIAL MÁX. 314.400 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:20	ACOTACIÓN In	FECHA 15-Oct-12	HOJA 3 / 3

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	11-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

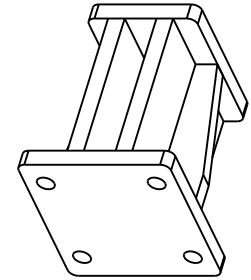


		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México											
		NOMBRE PLACA											
<p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>	PARTE	PRO-LI-002-M	VERSIÓN	A	REV.	A							
	PROYECTO	LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO	SANTOS G. CAMPOS									
	DIBUJÓ	JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ	SANTOS G. CAMPOS									
MATERIAL	ASTM A36 3/4	MASSA	19.257 Lb	TAMAÑO	C	ESCALA	1:2	ACOTACIÓN	In	FECHA	11-Oct-12	HUJA	1/1

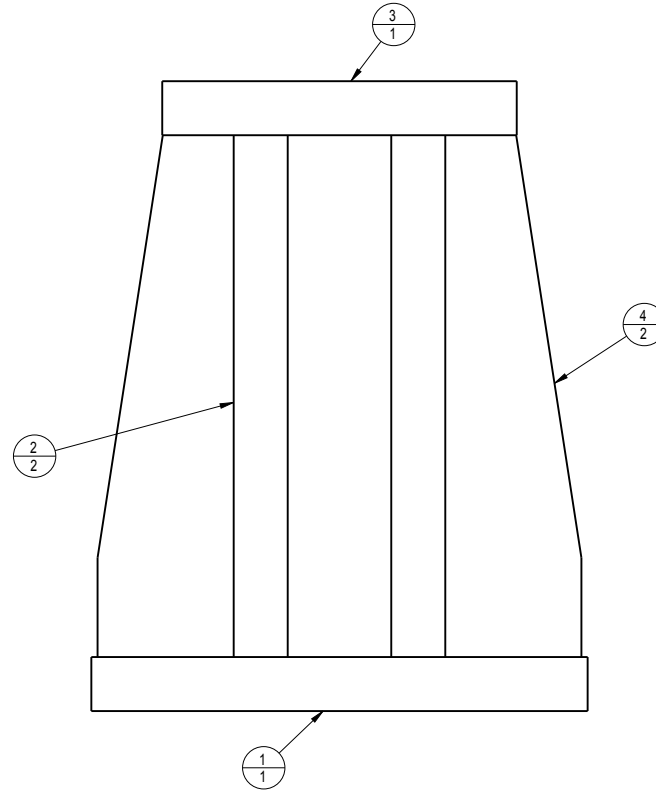
ENGINEERING PARTS LIST


INDEX	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	NOTES
1	1	PRO-LI-012-M	PLACA DE 3/4"	
2	2	PRO-LI-013-M	PLACA DE 3/4"	
3	1	PRO-LI-014-M	PLACA DE 3/4"	
4	2	PRO-LI-015-M	CARTABON DE 3/4"	

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	17-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			



SCALE 1:4

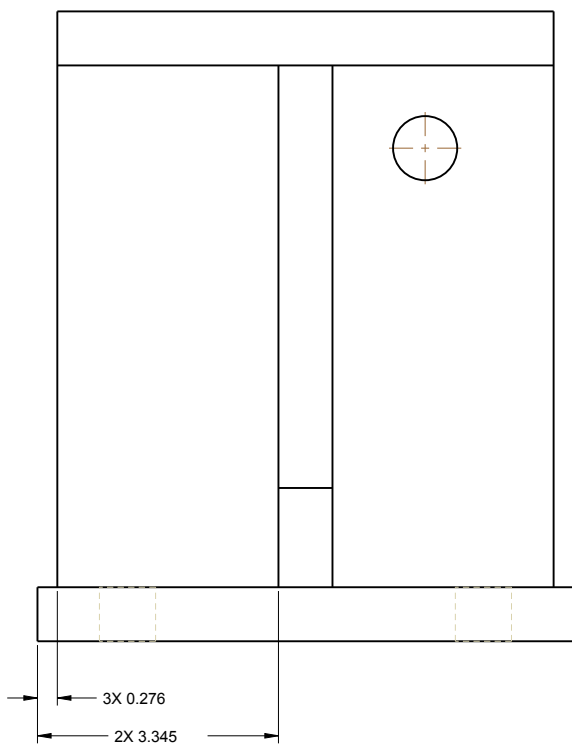
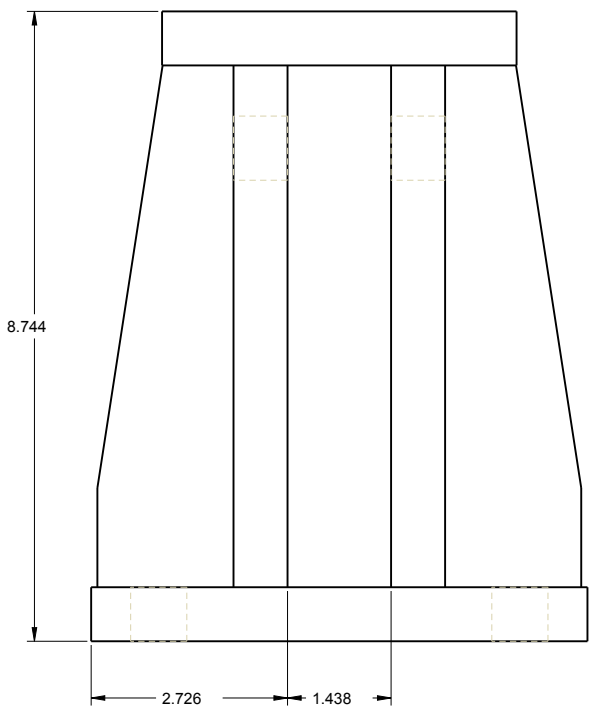



 <p>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México</p>		NOMBRE	
		CAJON PARA TIMON	
PARTE	PRO-LI-003-E	VERSIÓN	A
PROYECTO	LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO	SANTOS G. CAMPOS
DIBUJÓ	JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ	SANTOS G. CAMPOS
MATERIAL	MASA	TAMAÑO	ESCALA
	43.184 Lb	C	3:4
		ACOTACIÓN	FECHA
		In	17-Oct-12
		HOJA	1/3

La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.

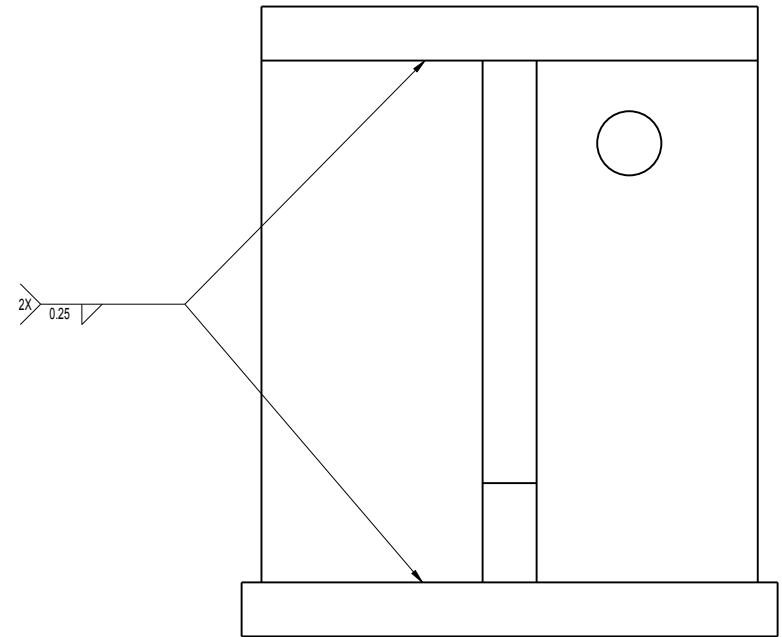
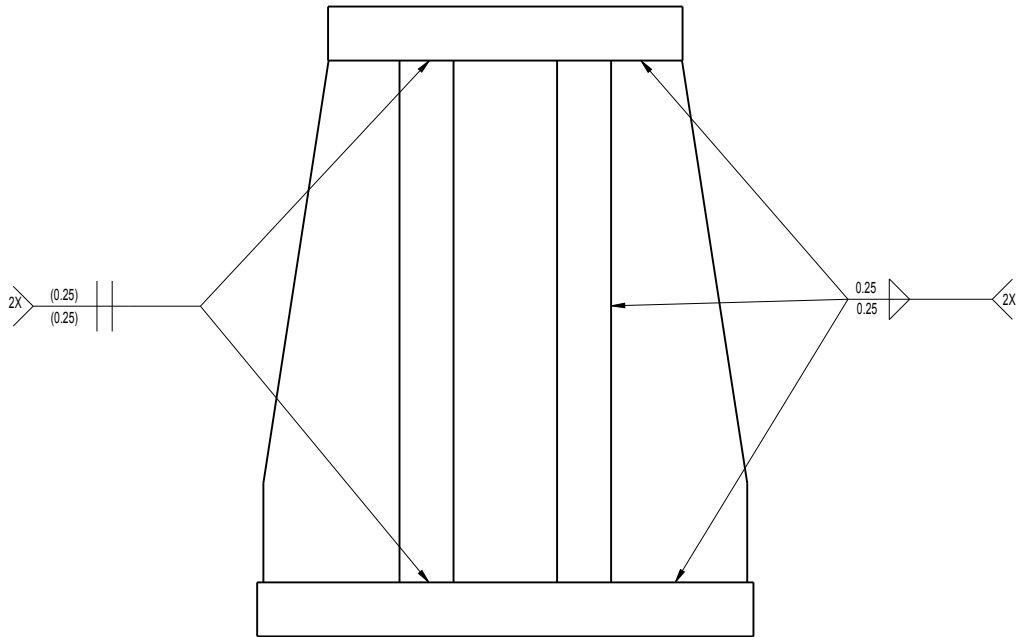
Reservados todos los derechos.



REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	17-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			



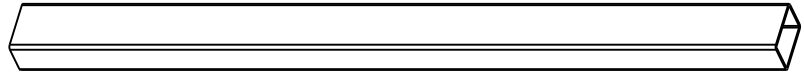
 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México				
		NOMBRE CAJON PARA TIMON				
PARTE PRO-LI-003-E		VERSIÓN A		REV. A		
PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO SANTOS G. CAMPOS				
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ		APROBÓ SANTOS G. CAMPOS				
MATERIAL	MÁSA	TAMAÑO	ESCALA	ACOTACIÓN	FECHA	HUJA
	43.184 Lb	C	3:4	In	17-Oct-12	2/3

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	17-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

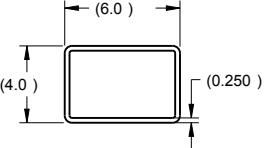
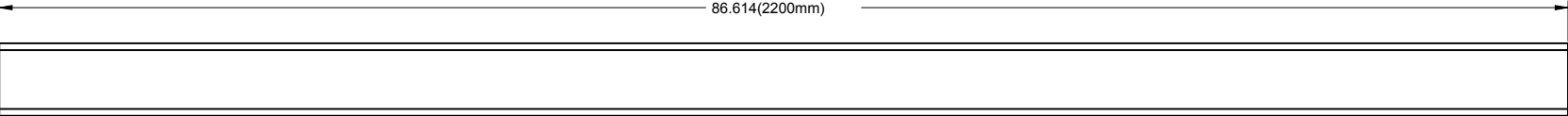


 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.</p>		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE CAJON PARA TIMON			
PARTE PRO-LI-003-E		VERSIÓN A		REV. A	
PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO SANTOS G. CAMPOS			
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ		APROBÓ SANTOS CAMPOS			
MATERIAL	MASA 43.184 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:4	ACOTACIÓN In	FECHA 17-Oct-12
					HOJA 3/3

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	11-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

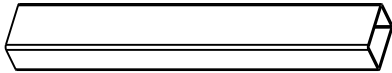


SCALE 1:10

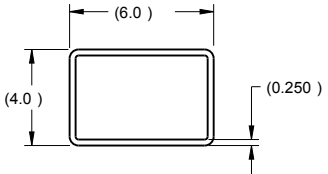
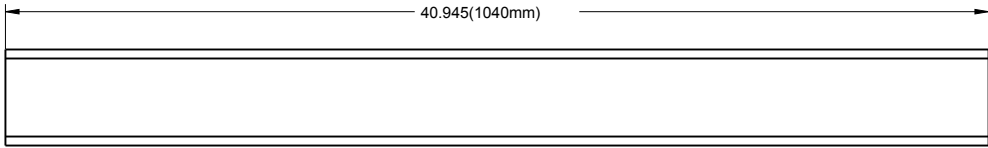



 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México						
	NOMBRE PTR						
	PARTE PRO-LI-003-M	VERSIÓN A	REV. A				
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS					
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS						
MATERIAL ASTM A-500-B 6X4X1/4	MASA 113.709 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:5	ACOTACIÓN In		FECHA 11-Oct-12	HOJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	11-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

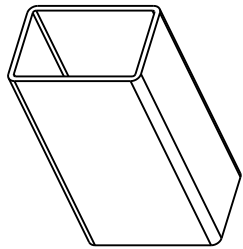


SCALE 1:10

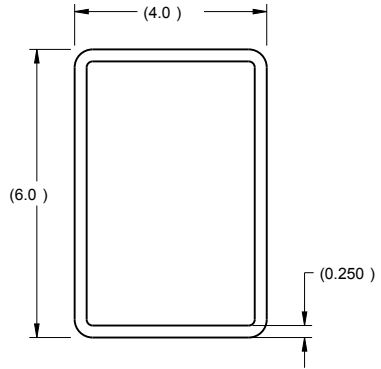
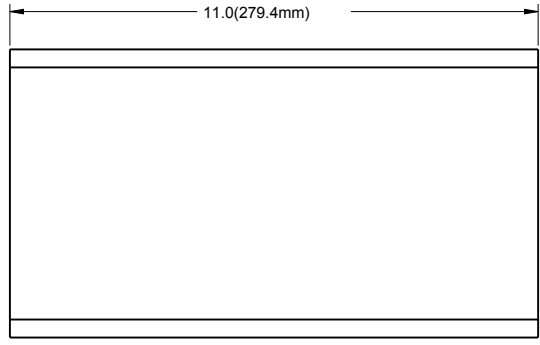





 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México												
	NOMBRE PTR												
	PARTE	PRO-LI-004-M	VERSIÓN	A	REV.	A							
	PROYECTO	LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO	SANTOS G. CAMPOS									
	DIBUJÓ	JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ	SANTOS G. CAMPOS									
MATERIAL	ASTM A-500-B 6X4X1/4	MASA	53.753 Lb	TAMAÑO	C	ESCALA	1:4	ACOTACIÓN	In	FECHA	11-Oct-12	HOJA	1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	11-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

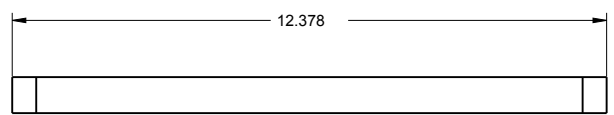
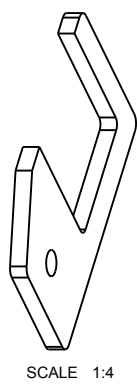
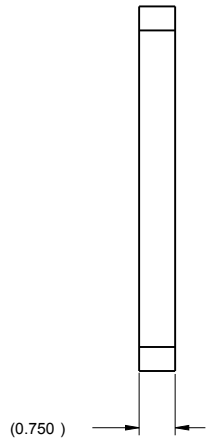
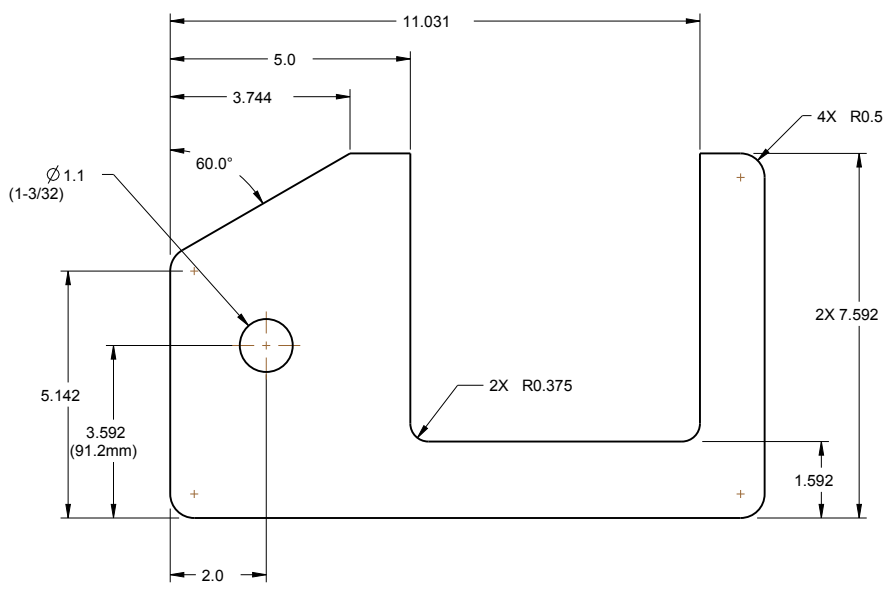




SCALE 1:4



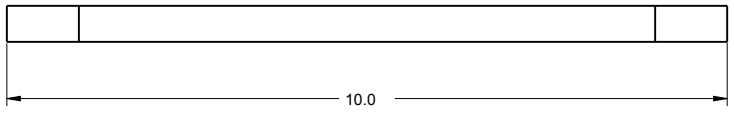
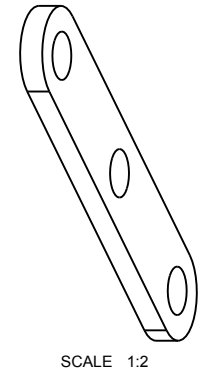
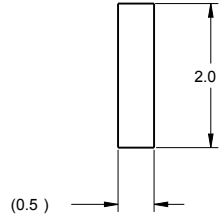
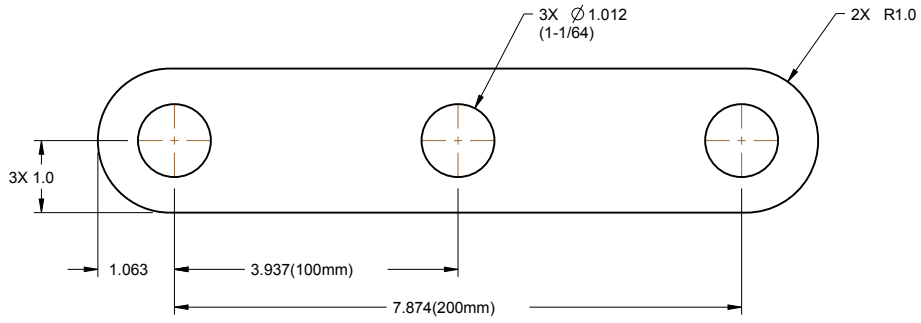
		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE PTR			
La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.	PARTE PRO-LI-005-M	VERSIÓN A	REV. A		
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS			
	DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS			
MATERIAL ASTM A-500-B 6X4X1/4	MASA 14.441 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:2	ACOTACIÓN Lb	
				FECHA 11-Oct-12	HOJA 1/1



REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	11-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			



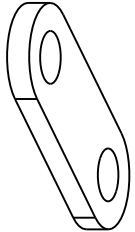
		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE PLACA			
La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.		PARTE PRO-LI-006-M		VERSIÓN A	
		PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO SANTOS G. CAMPOS	
		DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ		APROBÓ SANTOS G. CAMPOS	
MATERIAL ASTM A36 3/4	MASA 11.171 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:2	ACOTACIÓN Lb	FECHA 11-Oct-12
					HUJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	11-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

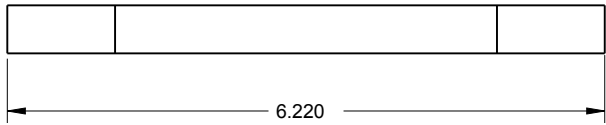
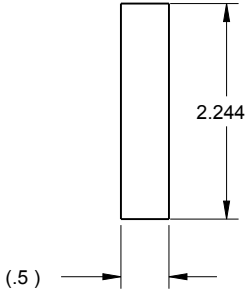
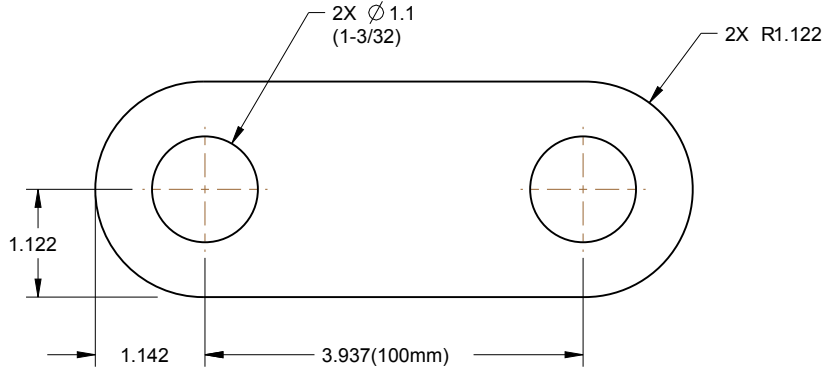





 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE SOLERA			
PARTE PRO-LI-007-M		VERSIÓN A		REV. A	
PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO SANTOS G. CAMPOS			
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ		APROBÓ SANTOS G. CAMPOS			
MATERIAL ASTM A36 1/2	MASA 2.365 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:4	ACOTACIÓN In	FECHA 11-Oct-12
					HOJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	11-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

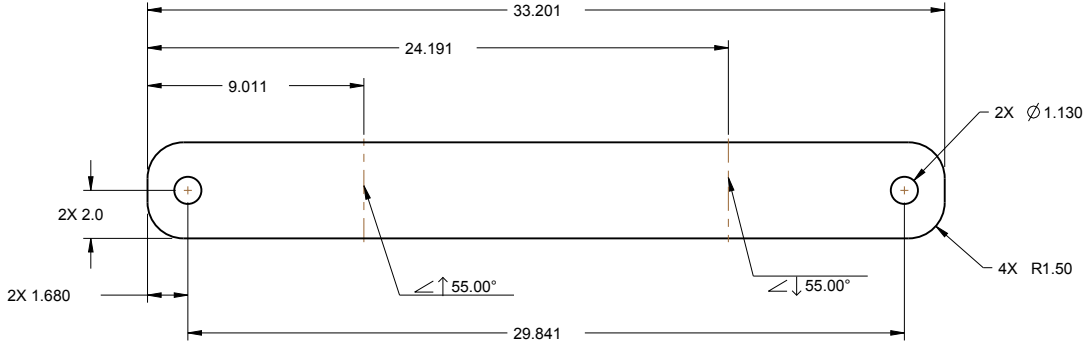


SCALE 0.500

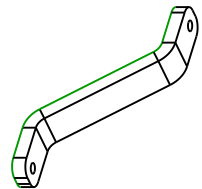


 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México				
	NOMBRE SOLERA				
	PARTE PRO-LI-008-M	VERSIÓN A	REV. A		
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS			
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ		APROBÓ SANTOS G. CAMPOS			
MATERIAL ASTM A36 1/2	MASA 1.551 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1.000	ACOTACIÓN In	
				FECHA 11-Oct-12	HOJA 1/1

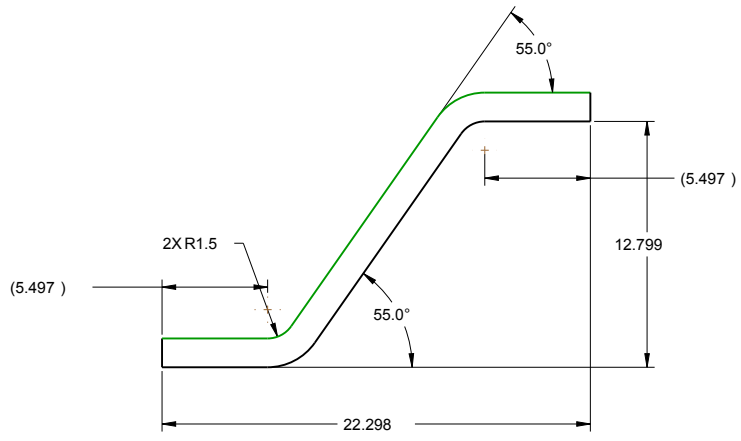
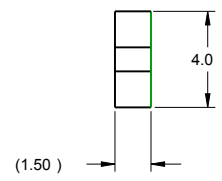
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	11-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			




DIBUJO DE PIEZA DESDOBLADA



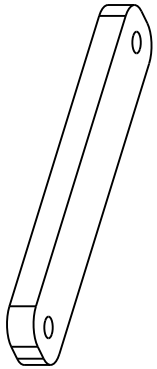
SCALE 1:10



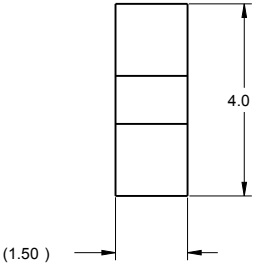
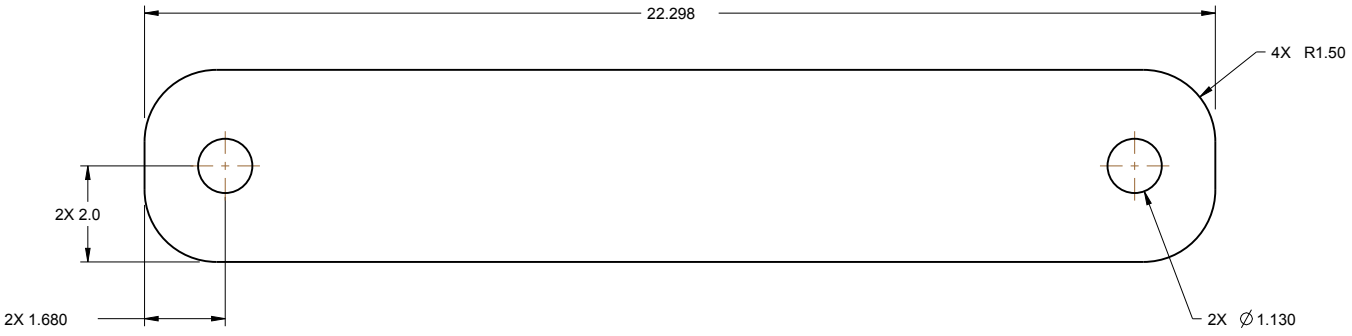
DIBUJO DE PIEZA DOBLADA



 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México		
	NOMBRE BARRA DOBLADA		
	PARTE PRO-LI-009-M	VERSIÓN A	REV. A
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS	
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS		
MATERIAL ASTM A36 1-1/2	MASA 46.845 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:5
		ACOTACIÓN In	FECHA 11-Oct-12
			
		HOJA 1/1	

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	12-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

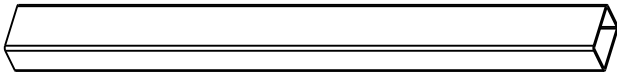


SCALE 1:5

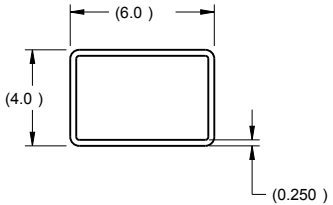
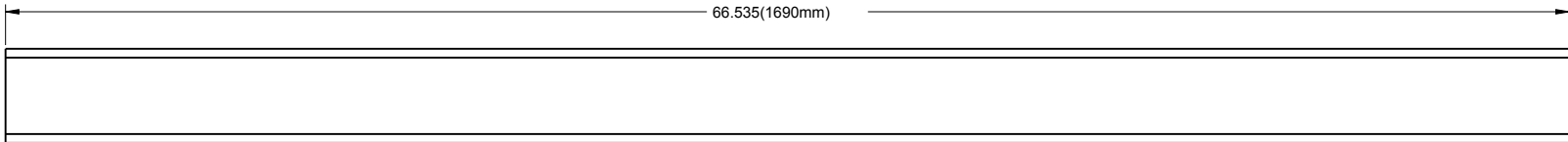




 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
	NOMBRE BARRA			
	PARTE PRO-LI-010-M	VERSIÓN A	REV. A	
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS		
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS			
MATERIAL ASTM A36 1-1/2	MASA 35.828 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:2	ACOTACIÓN In
			FECHA 12-Oct-12	HOJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	12-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

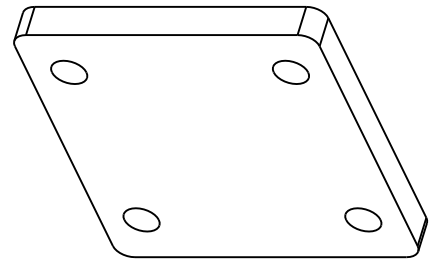
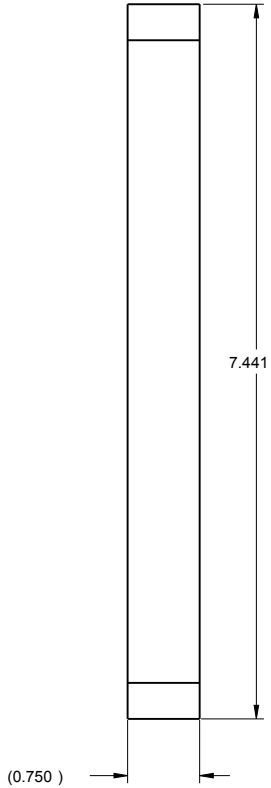
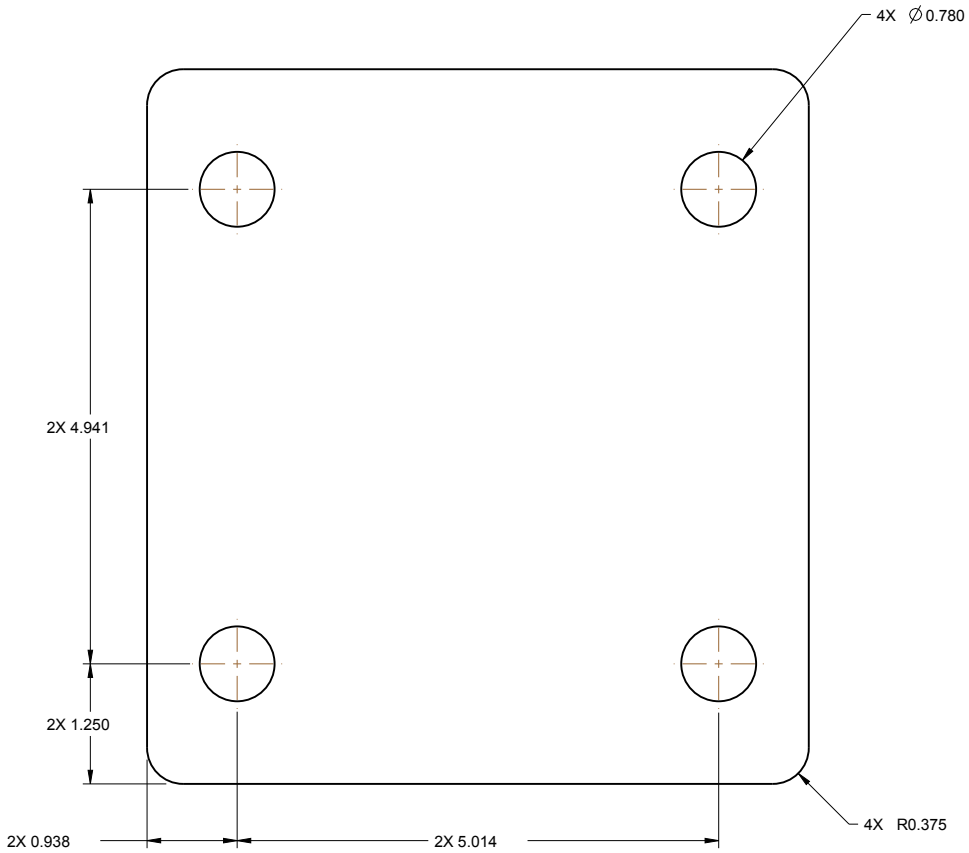


SCALE 1:10

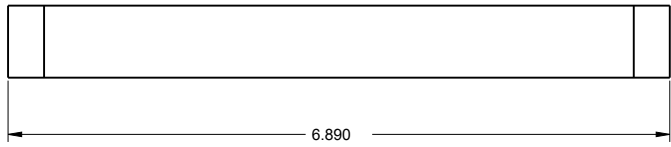



		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE PTR			
La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.		PARTE PRO-LI-011-M	VERSIÓN A	REV. A	
		PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS		
		DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS		
MATERIAL ASTM A-500-B 6X4X1/4	MASA 87.342 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:4	ACOTACIÓN In	
				FECHA 12-Oct-12	HOJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	12-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

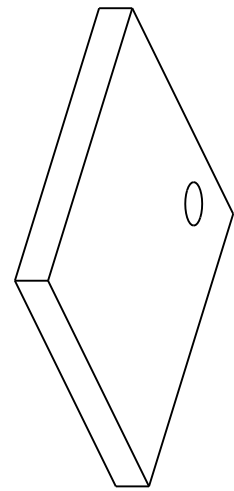
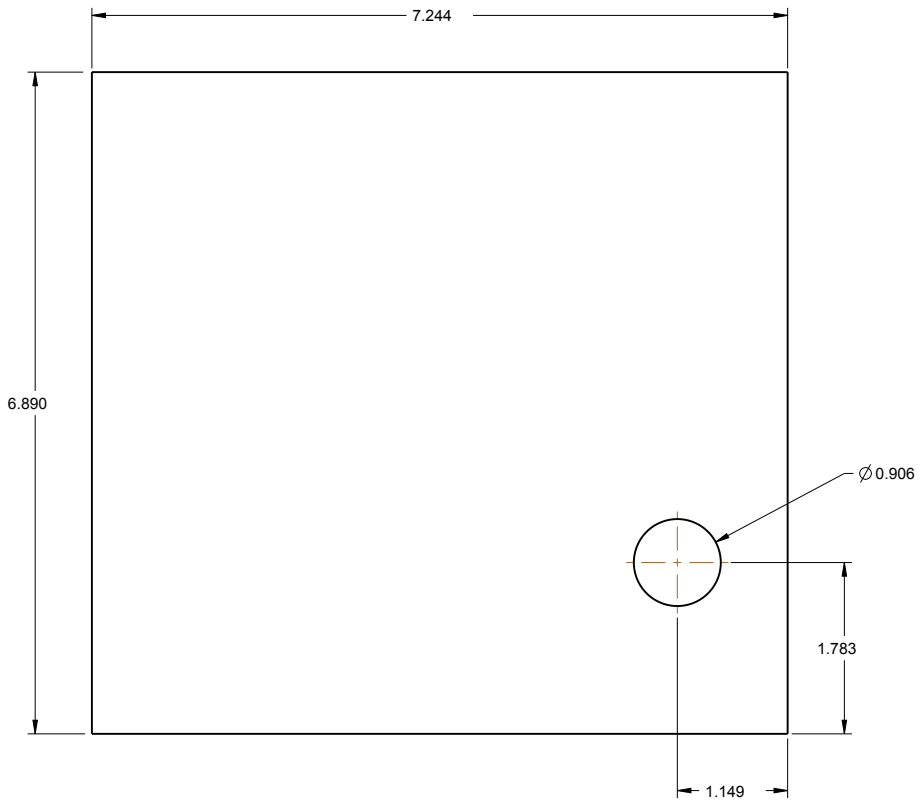



SCALE 1:2



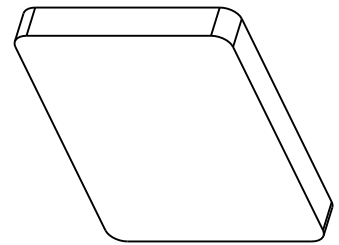
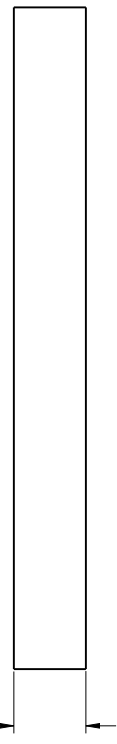
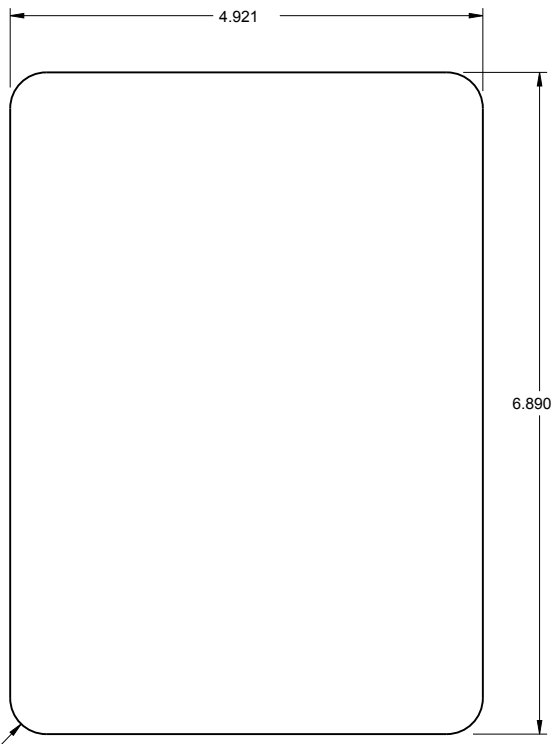
 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México												
	NOMBRE PLACA												
	PARTE	PRO-LI-012-M	VERSIÓN	A	REV.	A							
	PROYECTO	LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO	SANTOS G. CAMPOS									
	DIBUJÓ	JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ	SANTOS G. CAMPOS									
MATERIAL	ASTM A36 3/4	MASA	10.442 Lb	TAMAÑO	C	ESCALA	1:1	ACOTACIÓN	In	FECHA	12-Oct-12	HOJA	1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	12-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			





		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México					
		NOMBRE PLACA					
<p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>		PARTE	PRO-LI-013-M	VERSIÓN	A	REV.	A
		PROYECTO	LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO	SANTOS G. CAMPOS		
		DIBUJÓ	JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ	SANTOS G. CAMPOS		
MATERIAL	MASSA	TAMAÑO	ESCALA	ACOTACIÓN	FECHA	HOJA	
ASTM A36 3/4	10.448 Lb	C	1:1	In	12-Oct-12	1/1	

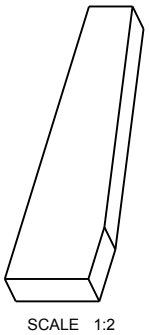
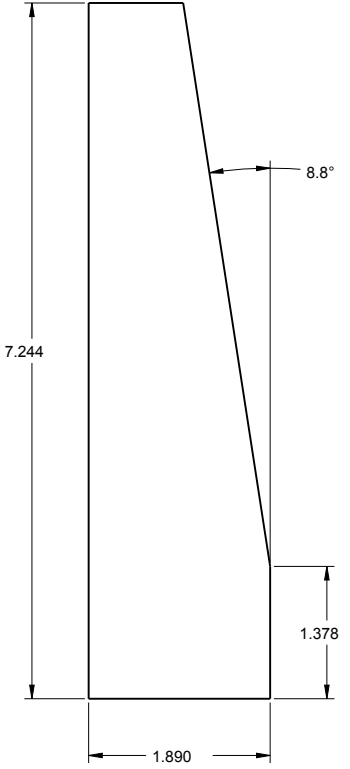
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	12-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			





SCALE 1:2

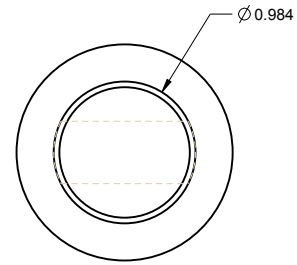
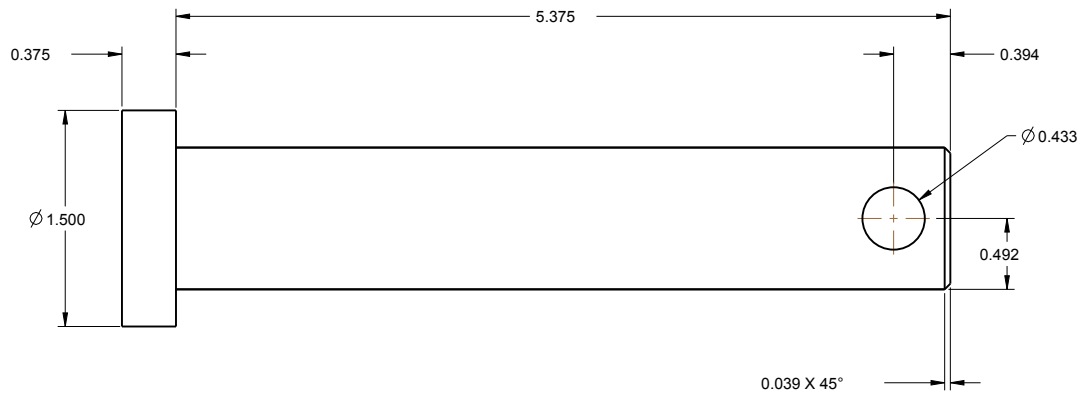
		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México					
		NOMBRE PLACA					
La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.		PARTE PRO-LI-014-M		VERSIÓN A		REV. A	
		PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO SANTOS G. CAMPOS			
		DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ		APROBÓ SANTOS G. CAMPOS			
MATERIAL ASTM A36 3/4	MASA 7.165 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:1	ACOTACIÓN In	 	FECHA 12-Oct-12	HOJA 1/1


REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	12-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			



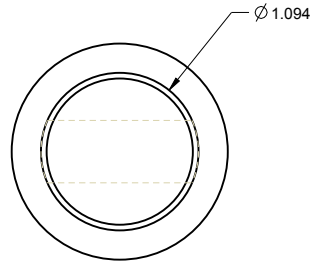
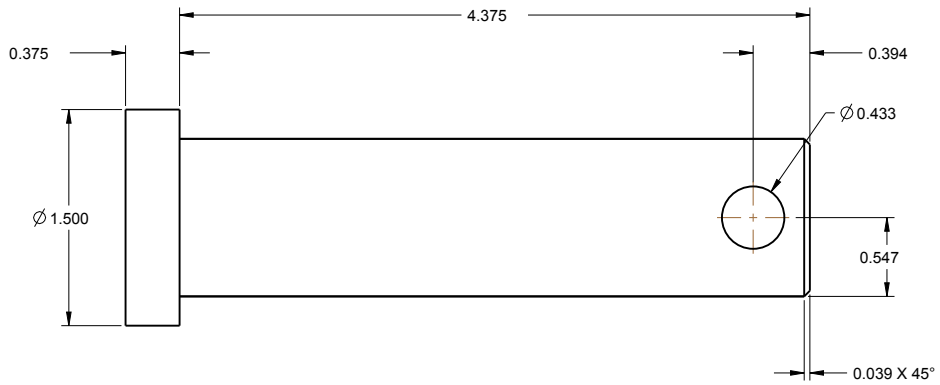
		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE PLACA DE REFUERZO			
La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.		PARTE PRO-LI-015-M	VERSIÓN A	REV. A	
		PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS		
		DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS		
MATERIAL ASTM A36 3/4	MASA 2.340 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:1	ACOTACIÓN In	
				FECHA 12-Oct-12	
				HOJA 1/1	



REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A		24-Oct-12	JUAN GONZALEZ
B			
C			



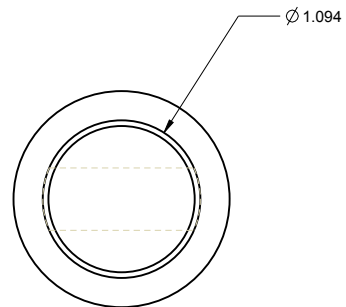
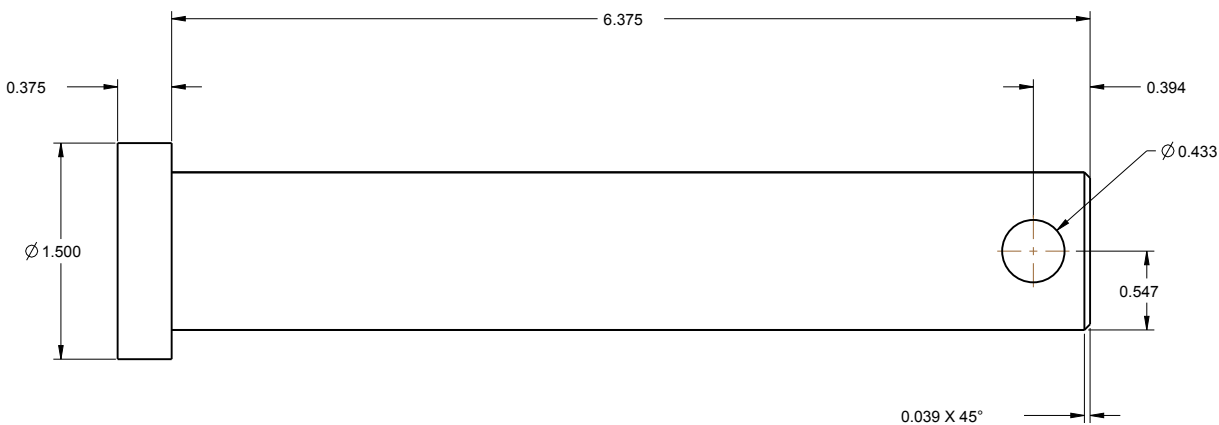
 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE PERNO			
PARTE PRO-LI-022-M		VERSIÓN		REV.	
PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO			
DIBUJÓ		APROBÓ SANTOS CAMPOS			
MATERIAL ASTM_A-36	MASA 1.276 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:2	ACOTACIÓN In	FECHA 24-Oct-12
					HOJA 1/1



REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A		24-Oct-12	JUAN GONZALEZ
B			
C			



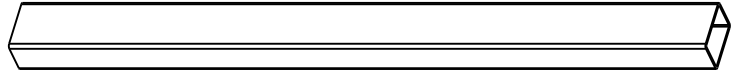
 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE PERNO			
PARTE PRO-LI-025-M		VERSIÓN		REV.	
PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO			
DIBUJÓ		APROBÓ SANTOS CAMPOS			
MATERIAL ASTM_A-36	MASA 1.258 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:2	ACOTACIÓN In	FECHA 24-Oct-12
					HOJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A		24-Oct-12	JUAN GONZALEZ
B			
C			

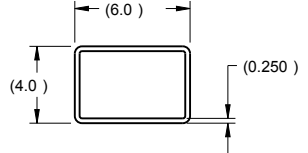
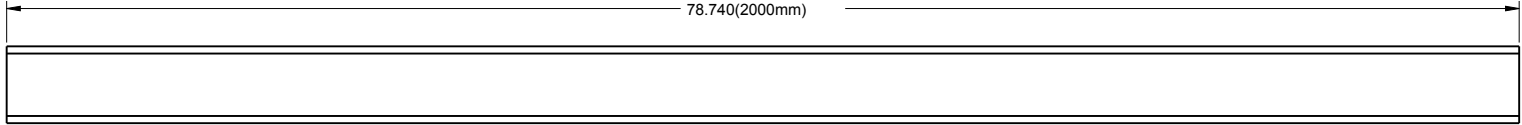





		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México			
		NOMBRE PERNO			
La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización. Reservados todos los derechos.		PARTE PRO-LI-026-M		VERSIÓN	
		PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE		DISEÑO	
		DIBUJÓ		APROBÓ SANTOS CAMPOS	
MATERIAL ASTM_A-36	MASSA 1.735 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:2	ACOTACIÓN In	FECHA 24-Oct-12
					HOJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	12-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

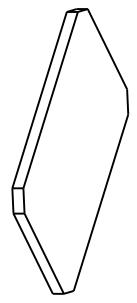


SCALE 1:10

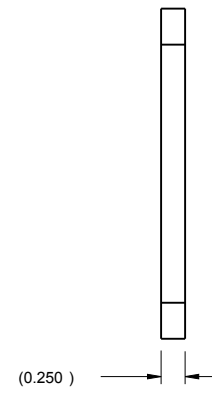
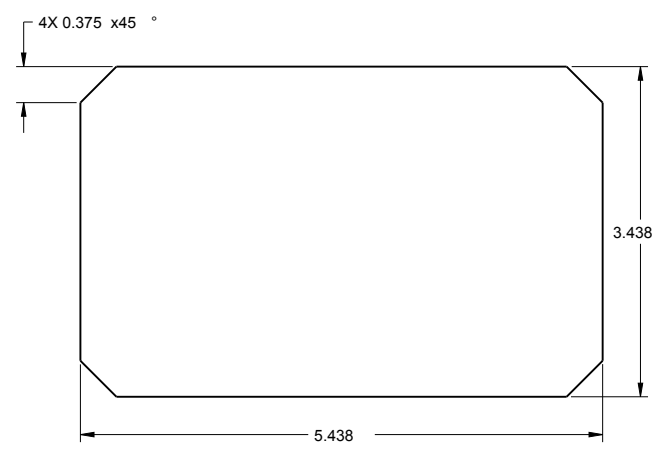




 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México				
	NOMBRE PTR				
	PARTE PRO-LI-036-M	VERSIÓN A	REV. A		
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS			
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS				
MATERIAL ASTM A-500-B 6X4X1/4	MASA 103.372 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:5	ACOTACIÓN In	
				FECHA 12-Oct-12	HOJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	12-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

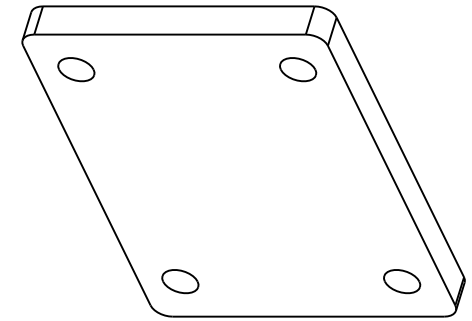
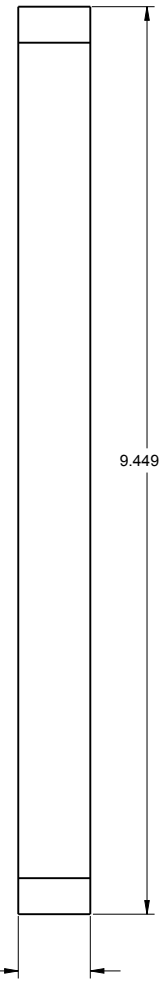
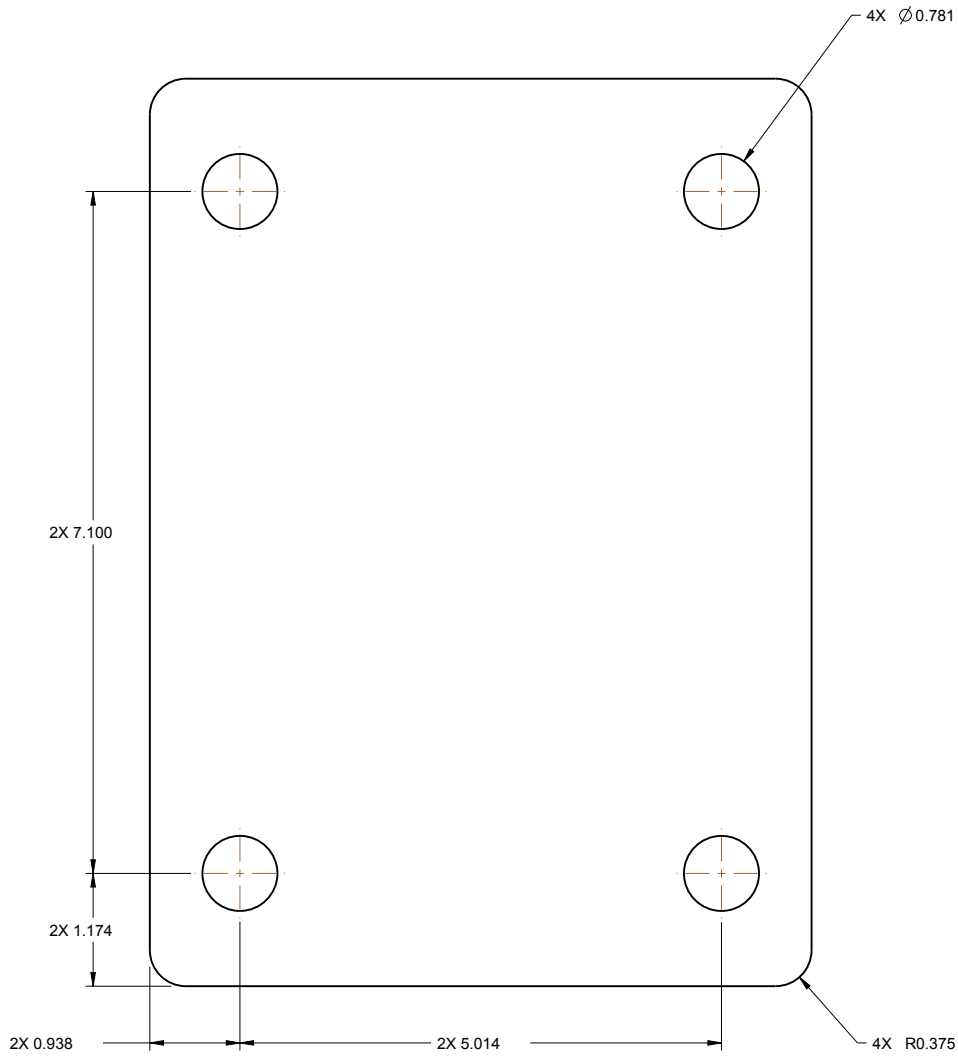


SCALE 1:2

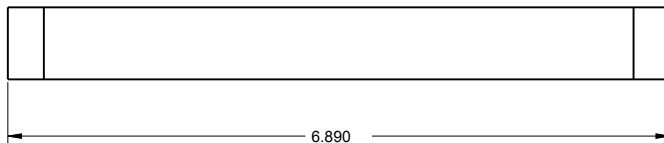




 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México						
	NOMBRE PLACA						
	PARTE PRO-LI-037-M	VERSIÓN A	REV. A				
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS					
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS						
MATERIAL ASTM A36 3/4	MASA 1.301 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:1	ACOTACIÓN In		FECHA 12-Oct-12	HOJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A	ADOPCIÓN DE DIBUJO	12-Oct-12	JUAN GONZÁLEZ
B			
C			

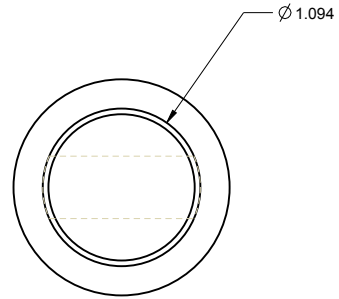
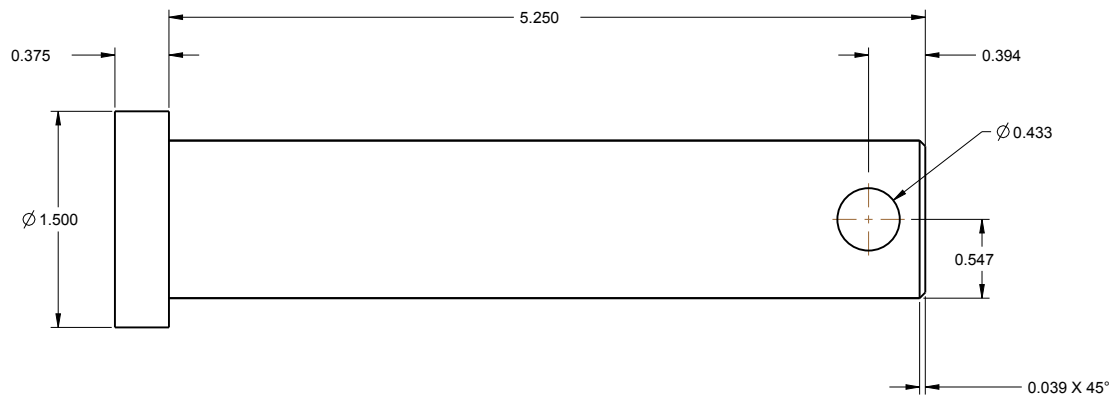


SCALE 1:2



 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p> <p>MATERIAL: ASTM A36 3/4 MASA: 13.374 Lb</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México		
	NOMBRE PLACA		
	PARTE PRO-LI-038-M	VERSIÓN A	REV. A
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO SANTOS G. CAMPOS	
DIBUJÓ JUAN GONZÁLEZ	APROBÓ SANTOS G. CAMPOS		
MATERIAL: ASTM A36 3/4 MASA: 13.374 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 1:1	ACOTACIÓN In
		FECHA 12-Oct-12	HOJA 1/1

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR
A		24-Oct-12	JUAN GONZALEZ
B			
C			




 <p>La información contenida en este dibujo es de nuestra propiedad y sólo puede ser utilizado por otros bajo nuestra autorización.</p> <p>Reservados todos los derechos.</p>	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Buenavista, Saltillo, Coah., México						
	NOMBRE PERNO						
	PARTE PRO-LI-039-M	VERSIÓN	REV.				
	PROYECTO LABRANZA INTELIGENTE	DISEÑO					
DIBUJÓ	APROBÓ SANTOS CAMPOS						
MATERIAL ASTM_A-36	MASA 1.481 Lb	TAMAÑO C	ESCALA 3:2	ACOTACIÓN In		FECHA 24-Oct-12	HOJA 1/1

Anexo B








Metodología para la generación de Mapas de Prescripción

B.1 Agregar aplicaciones a la pantalla FmX

1. Encender la pantalla
2. Abrir pantalla de Configuración pulsando 
3. Para agregar el complemento *Survey* y *FieldLevel II*; presionar la siguiente secuencia de botones:
 - Pulsar Agregar/Quitar
 - buscar en la lista de complementos inactivos los complementos WM-Survey y FieldLevelIII
 - Seleccionar
 - OK






B.2 Configuración de la estación base RTK

B.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 la corriente 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.








B.2.2. 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.

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









En la pantalla de Latitude Base:



1. Si la estación base se estableció con posición Aquí, presione  para continuar. Para editar la Base de Latitude, 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.




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

En la pantalla de medición:

1. 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.
2. Pulse  para desplazarse a través de los métodos de medición hasta que aparece APC. Pulse  para aceptar el cambio.
3. Pulse .
4. 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 antena. La altura de la antena se debe establecer en 0.00 para la mayoría de aplicaciones.
5. Pulse  o  para cambiar el valor del carácter.
6. Pulse  para mover el cursor al carácter siguiente.
7. Repita el paso 5 hasta el paso 6 para introducir la altura de la antena.

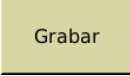
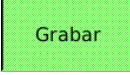
8. Presione  para aceptar el cambio.
9. Presione  de nuevo. Aparece la pantalla de salida.

B.3 Levantamiento topográfico

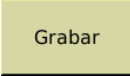

1. Configurar el Levantamiento:
 - Seleccionar la aplicación WM-Survey
 - Pulsar Config 
 - En la pestaña Configuraciones revisar que esté seleccionado:
Receptor: Internal Primary
Correcciones: CenterPoint RTK
Canal: 1
 - En la pestaña Configuraciones revisar que esté seleccionado:
 - Receptor: Internal Primary
 - Correcciones: CenterPoint RTK
 - Canal: 1
2. Pulsar OK
3. Pulsar nuevamente OK
4. Abrir la pantalla de ejecución
 - Pulsar el botón 
 - En la pantalla selección de configuración pulsar OK
 - Llenar los datos en cada campo; Pulsar OK
5. Seleccionar la aplicación de trabajo WM-Survey 
6. Definir el MBP (Master Bench Point).

- Posicionarse a un lado y al exterior de la parcela.
- Presionar el botón Punto Control.
- Esperar 30 segundos hasta que termine de promediar la ubicación del MBP

7. Definir la extensión de la parcela.

- Seleccionar Limite
- Pulsar 
- Conducir el vehículo por la orilla que definirá a la parcela.
- Pulsar 

8. Registrar la pendiente del terreno

- Seleccionar Interior
- Pulsar 
- Conducir el vehículo por el interior de la parcela, haciendo hileras de 5 m de espaciamiento aproximadamente.
- Pulsar 

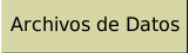
9. Pulsar 


10. Pulsar OK, en este punto se generan los mapas de altitud y cortes/rellenos

11. Pulsar el botón Inicio 

12. Pulsar Cerrar campo

13. Extraer los datos

- Insertar una memoria en el puerto USB (parte trasera de la pantalla)
- Pulsar 

- Seleccionar Datos de Campo; Pulsar Copiar
- Pulsar OK
- Apagar la pantalla pulsando 
- Extraer la memoria USB, la cual contendrá los archivos del levantamiento en la ruta: UnidadUSB>AgGPS/Data/Cliente/Finca/Parcela

B.4 Conversión de coordenadas

B.4.1. Conversión de coordenadas GMS.d a G.d

1. Se captura la base de datos del trazado a una hoja de cálculo de Excel como se muestra en la figura B.1

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ID	G	M	S	G	M	S	Altitud
2	1	25	2	8.70198	-100	37	14.34083	1732.27
3	2	25	2	8.38608	-100	37	14.28193	1732.24
4	3	25	2	8.064888	-100	37	14.21033	1732.06
5	4	25	2	7.494972	-100	37	17.70593	1731.68
6	5	25	2	7.8036	-100	37	17.77843	1731.74
7	6	25	2	8.128068	-100	37	17.85335	1731.63
8	7	25	2	7.549728	-100	37	21.35892	1731.531
9	8	25	2	7.23336	-100	37	21.30269	1731.58
10	9	25	2	6.913608	-100	37	21.24109	1731.57
11	10	25	2	6.34398	-100	37	24.7386	1731.33
12	11	25	2	6.66312	-100	37	24.80401	1731.29
13	12	25	2	6.979848	-100	37	24.87655	1731.285
14	13	25	2	6.371412	-100	37	28.38407	1731.06
15	14	25	2	6.054288	-100	37	28.32697	1731.13
16	15	25	2	5.737308	-100	37	28.25148	1731.15

Figura B.1: Base de datos del trazado en hoja de cálculo de Excel

2. Para las coordenadas de latitud (Norte) se convierten los minutos y segundos a grados dividiendo entre 60 y 3600 respectivamente, se suman a los

grados y se realiza el mismo procedimiento para los 15 puntos. En excel se introduce la fórmula que se muestra en la figura B.2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	ID	G	M	S	G	M	S	Altitud	Latitud	Longitud	
2		1	25	2	8.70198	-100	37	14.34083	1732.27	25.03575	-100.621
3		2	25	2	8.38608	-100	37	14.28193	1732.24	25.03566	-100.621
4		3	25	2	8.064888	-100	37	14.21033	1732.06	25.03557	-100.621

Figura B.2: Conversión de coordenadas de latitud

- Para las coordenadas de longitud (Oeste) se convierten los minutos y segundos a grados dividiendo entre 60 y 3600 respectivamente, se resta el resultado a los grados por estar a la izquierda del meridiano de Greenwich. En la hoja de excel se introduce la fórmula indicada en la figura B.3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	ID	G	M	S	G	M	S	Altitud	Latitud	Longitud	
2		1	25	2	8.70198	-100	37	14.34083	1732.27	25.03575	-100.621
3		2	25	2	8.38608	-100	37	14.28193	1732.24	25.03566	-100.621
4		3	25	2	8.064888	-100	37	14.21033	1732.06	25.03557	-100.621

Figura B.3: Conversión de coordenadas de longitud

B.4.2. Extracción de coordenadas del MBP

- Las coordenadas del MBP se localizan en el archivo FieldLevel.xml (figura B.4) generado por la pantalla FmX, localizado en la ruta:

UnidadUSB>AgGPS/Data/Cliente/Finca/Parcela

```

FieldLevel.xml: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><field_level version="2.2">
  <origin lat="25.03886931" lon="-100.6249794" alt="1884.71679">
    <gps_offset>
      <x>0</x>
      <y>0</y>
      <z>0</z>
    </gps_offset>
    <transform>
      <x>0</x>
      <y>0</y>
      <z>1.26</z>
    </transform>
  </origin>
</survey>
</benchmarks/>

```

Figura B.4: Visualización de coordenadas del MBP

2. La información de la ubicación del MBP se agrega a la base de datos del trazado (fig B.5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ID	G	M	S	G	M	S	Altitud	Latitud	Longitud
2	0	25	2	8.232	-100	37	25.59	1731	25.03562	-100.624
3	1	25	2	8.70198	-100	37	14.34083	1732.27	25.03575	-100.621
4	2	25	2	8.38608	-100	37	14.28193	1732.24	25.03566	-100.621
5	3	25	2	8.064888	-100	37	14.21033	1732.06	25.03557	-100.621
6	4	25	2	7.494972	-100	37	17.70593	1731.68	25.03542	-100.622

Figura B.5: Adición del MBP a la base del trazado

3. La base de datos se guarda como Archivo de Texto (delimitado por tabulaciones)(* .txt) (figura B.6).

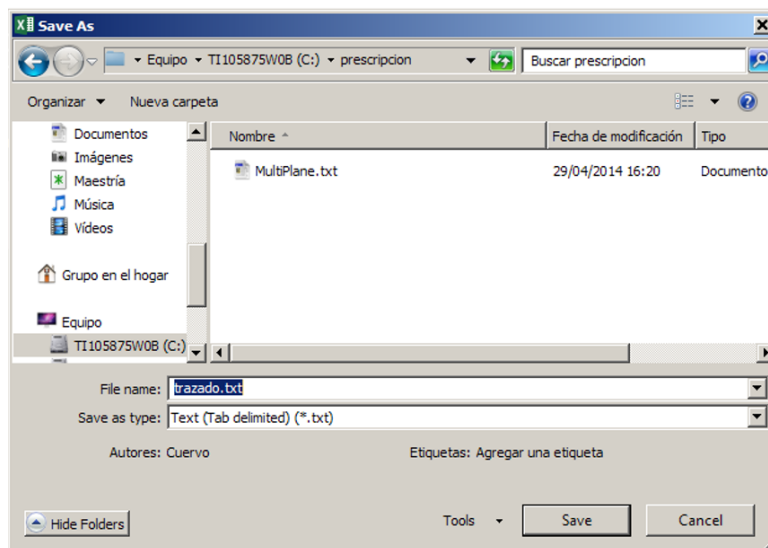


Figura B.6: Guardar como Archivo de texto

B.4.3. Conversión de coordenadas geográficas a UTM

Para la conversión se utilizó el software QGIS Desktop 2.0.1.

1. Añadir capa de texto delimitado

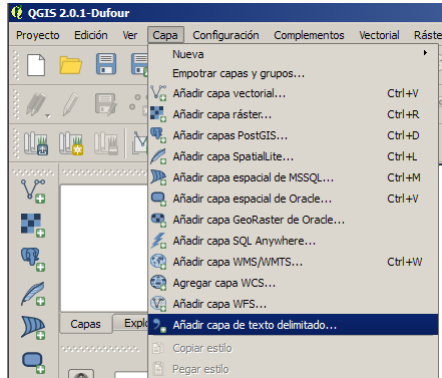


Figura B.7: Abrir archivo de texto en QGIS

2. Definir los parámetros para la creación de una capa a partir del archivo de texto.

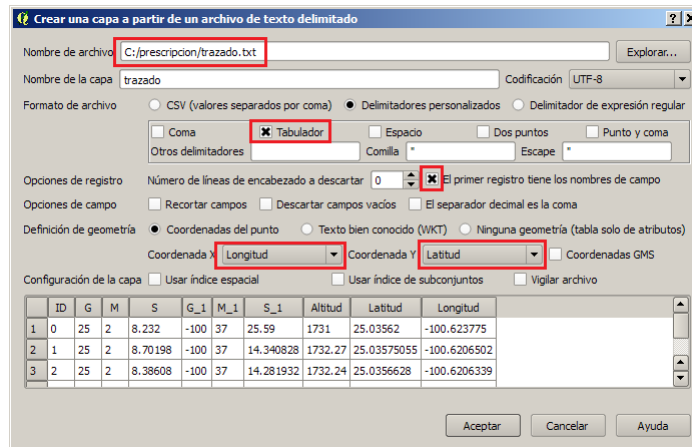


Figura B.8: Parámetros para la generación de una capa en QGIS

3. Seleccionar el sistema de referencia de coordenadas.

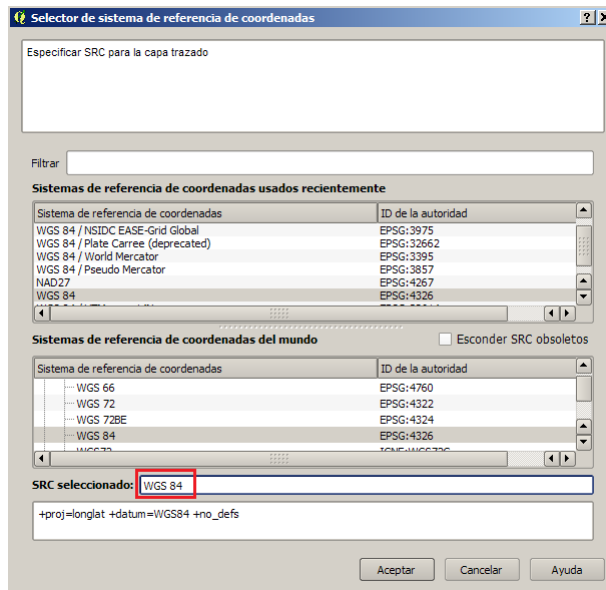


Figura B.9: Selección del sistema de referencia de coordenadas

4. Dar clic derecho sobre la capa y seleccionar *Guardar como...* del menú desplegable (figura B.10).

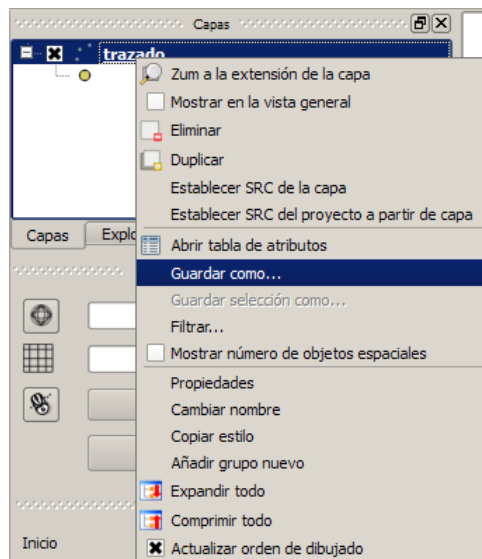


Figura B.10: Ventana de QGIS Guardar como...

5. Especificar un nombre para la capa, Seleccionar el SRC *WGS84/UTM zona 14N*, activar la casilla de verificación *Añadir archivo guardado al mapa* (figura B.11).

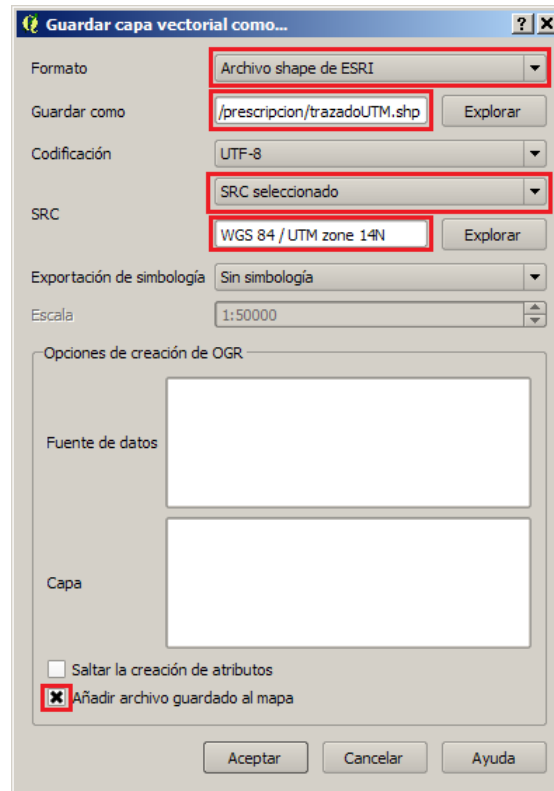


Figura B.11: Ventana de QGIS Guardar capa vectorial como...

6. Para agregar las columnas de ubicación en coordenadas UTM a la tabla de atributos de la capa vectorial recién creada abrir la herramienta de geometría: *Exportar/añadir columnas de geometría*.

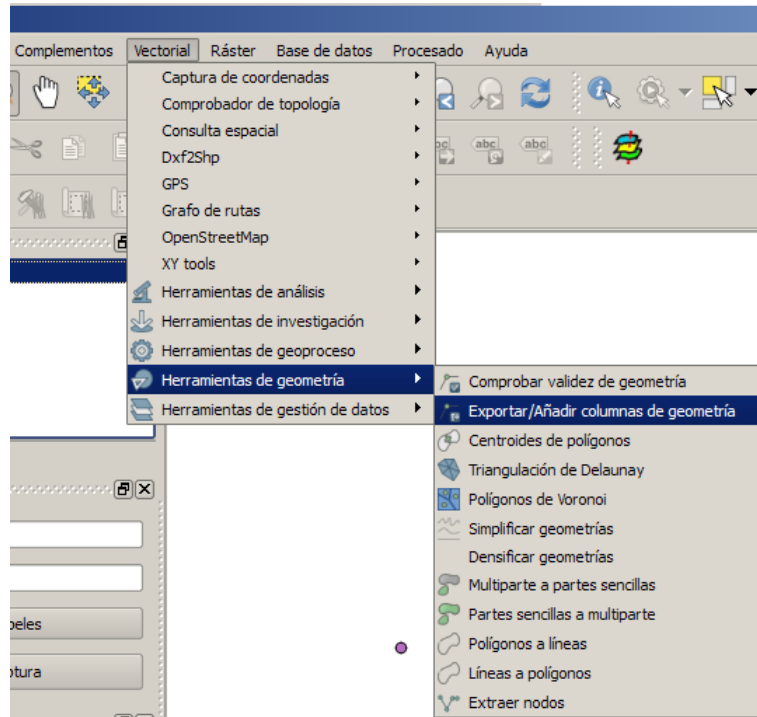


Figura B.12: Añadir columnas de geometría

7. Seleccionar la capa con coordenadas UTM y seleccionar la opción *SRC de la capa*

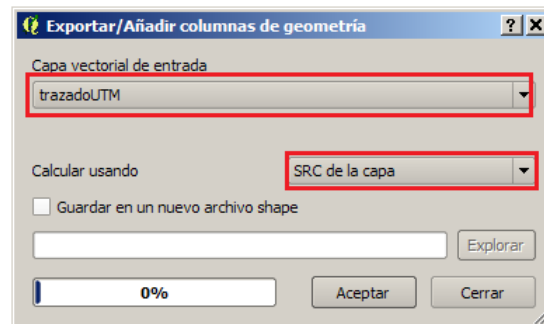


Figura B.13: Parámetros para añadir columnas con coordenadas UTM

8. Abrir la tabla de atributos

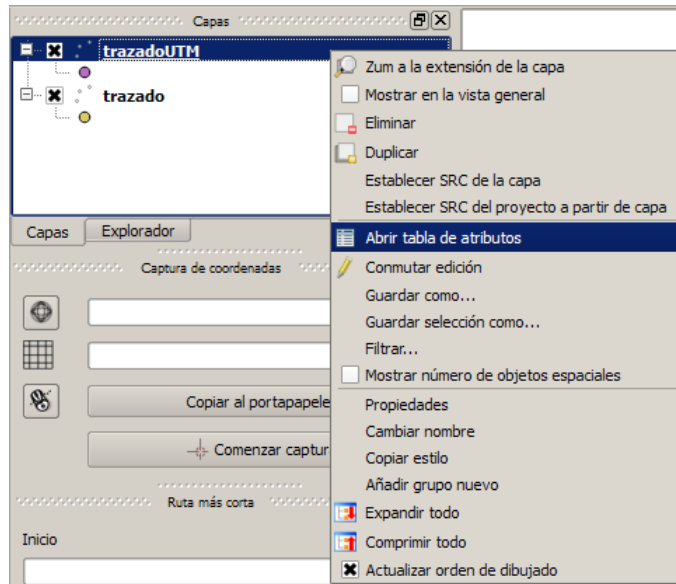


Figura B.14: Abrir tabla de atributos

9. Pulsar la secuencia de botones:

- Deseleccionar todo.
- Invertir selección.
- Copiar las filas seleccionadas al portapapeles.

	Altitud	Latitud	Longitud	XCOORD	YCOORD
0	1731.000000000...	25.03562000000...	-100.623774999...	336178.432249	2769874.445635
1	1732.269999999...	25.03575054999...	-100.620650200...	336493.918744	2769885.126102
2	1732.240000000...	25.03566280000...	-100.620633900...	336495.447155	2769875.387416
3	1732.059999999...	25.03557358000...	-100.620614000...	336497.336883	2769865.481568
4	1731.680000000...	25.03541527000...	-100.621584999...	336399.146381	2769849.120970
5	1731.740000000...	25.03550100000...	-100.621605099...	336397.231907	2769858.640532
6	1731.630000000...	25.03559113000...	-100.621625899...	336395.252641	2769868.648275
7	1731.530999999...	25.03543047999...	-100.622599699...	336296.776344	2769852.032619
8	1731.579999999...	25.03534260000...	-100.622584099...	336298.233813	2769842.280353
9	1731.569999999...	25.03525378000...	-100.622567000...	336299.841398	2769832.422160
10	1731.329999999...	25.03509555000...	-100.623538499...	336201.599982	2769816.072422
11	1731.289999999...	25.03518420000...	-100.623556699...	336199.881241	2769825.913132
12	1731.285000000...	25.03527218000...	-100.623576799...	336197.969889	2769835.681934
13	1731.059999999...	25.03510316999...	-100.624551100...	336099.431456	2769818.142344
14	1731.130000000...	25.03501508000...	-100.624535300...	336100.908694	2769808.366548
15	1731.150000000...	25.03492702999...	-100.624514300...	336102.910706	2769798.588886

Figura B.15: Copiar coordenadas UTM al portapapeles

10. En una hoja de cálculo nueva de Excel seleccionar la casilla A1 y pegar 

I	J	K	L	M
Altitud	Latitud	Longitud	XCOORD	YCOORD
1731	25.03562	-100.624	336178.4	2769874
1732.27	25.03575	-100.621	336493.9	2769885
1732.24	25.03566	-100.621	336495.4	2769875
1732.06	25.03557	-100.621	336497.3	2769865
1731.68	25.03542	-100.622	336399.1	2769849
1731.74	25.0355	-100.622	336397.2	2769859
1731.63	25.03559	-100.622	336395.3	2769869
1731.531	25.03543	-100.623	336296.8	2769852

Figura B.16: Coordenadas UTM en Excel

11. Generar las coordenadas y alturas relativas al MBP(fila 2) restandole las coordenadas UTM y altura del MBP a cada punto del trazado.

H	I	J	K	L	M	N	O
Altitud	Latitud	Longitud	XCOORD	YCOORD	xrel	yrel	altrel
1731	25.03562	-100.623775	336178.4322	2769874.446	0	0	0
1732.27	25.03575055	-100.6206502	336493.9187	2769885.126	315.486495	10.680467	1.27
1732.24	25.0356628	-100.6206339	336495.4472	2769875.387	317.014906	0.941781	1.24
1732.06	25.03557358	-100.620614	336497.3369	2769865.482	318.904634	-8.964067	1.06
1731.68	25.03541527	-100.621585	336399.1464	2769849.121	220.714132	-25.324665	0.68
1731.74	25.035501	-100.6216051	336397.2319	2769858.641	218.799658	-15.805103	0.74
1731.63	25.03559113	-100.6216259	336395.2526	2769868.648	216.820392	-5.79736	0.63
1731.531	25.03543048	-100.6225997	336296.7763	2769852.033	118.344095	-22.413016	0.531
1731.58	25.0353426	-100.6225841	336298.2338	2769842.28	119.801564	-32.165282	0.58
1731.57	25.03525378	-100.622567	336299.8414	2769832.422	121.409149	-42.023475	0.57
1731.33	25.03509555	-100.6235385	336201.6	2769816.072	23.167733	-58.373213	0.33
1731.29	25.0351842	-100.6235567	336199.8812	2769825.913	21.448992	-48.532503	0.29
1731.285	25.03527218	-100.6235768	336197.9699	2769835.682	19.53764	-38.763701	0.285
1731.06	25.03510317	-100.6245511	336099.4315	2769818.142	-79.000793	-56.303291	0.06
1731.13	25.03501508	-100.6245353	336100.9087	2769808.367	-77.523555	-66.079087	0.13
1731.15	25.03492703	-100.6245143	336102.9107	2769798.589	-75.521543	-75.856749	0.15

Figura B.17: Coordenadas relativas al MBP

B.5 Alturas de Prescripción

1. Generar tres columnas:

- **Profundidad:** La cual contendrá la profundidad a la que se encuentra la capa compactada, en este ejemplo se hicieron las prescripciones de forma aleatoria de 0.20, 0.30 y 0.40 m de profundidad
- **Ajuste:** En esta columna se define la distancia que será sumada a las alturas relativas de los puntos, tomando en cuenta que la profundidad -0.30 es la referencia; se suma 0.30 a la columna de *Profundidad*.
- **Prescripción:** En esta columna se reflejan las alturas de prescripción y se obtienen de la suma de la columna de alturas relativas con la columna de ajuste.

	M	N	O	P	Q	R
1	xrel	yrel	altrel	Profundidad	Ajuste	Prescripción
2	0	0	0			
3	315.486495	10.680467	1.27	-0.4	-0.1	1.17
4	317.014906	0.941781	1.24	-0.3	0	1.24
5	318.904634	-8.964067	1.06	-0.2	0.1	1.16
6	220.714132	-25.324665	0.68	-0.2	0.1	0.78
7	218.799658	-15.805103	0.74	-0.4	-0.1	0.64
8	216.820392	-5.79736	0.63	-0.4	-0.1	0.53
9	118.344095	-22.413016	0.531	-0.3	0	0.531
10	119.801564	-32.165282	0.58	-0.3	0	0.58
11	121.409149	-42.023475	0.57	-0.2	0.1	0.67
12	23.167733	-58.373213	0.33	-0.2	0.1	0.43
13	21.448992	-48.532503	0.29	-0.4	-0.1	0.19
14	19.53764	-38.763701	0.285	-0.3	0	0.285
15	-79.000793	-56.303291	0.06	-0.4	-0.1	-0.04
16	-77.523555	-66.079087	0.13	-0.3	0	0.13
17	-75.521543	-75.856749	0.15	-0.2	0.1	0.25

Figura B.18: Prescripciones

B.5.1. Adición de los puntos del Trazado (relativas) a la base Multiplane.txt

1. Se copia la carpeta AgGPS que contiene el levantamiento topográfico a la carpeta de trabajo, para no afectar la base de datos original e identificar la nueva base con los puntos de control.

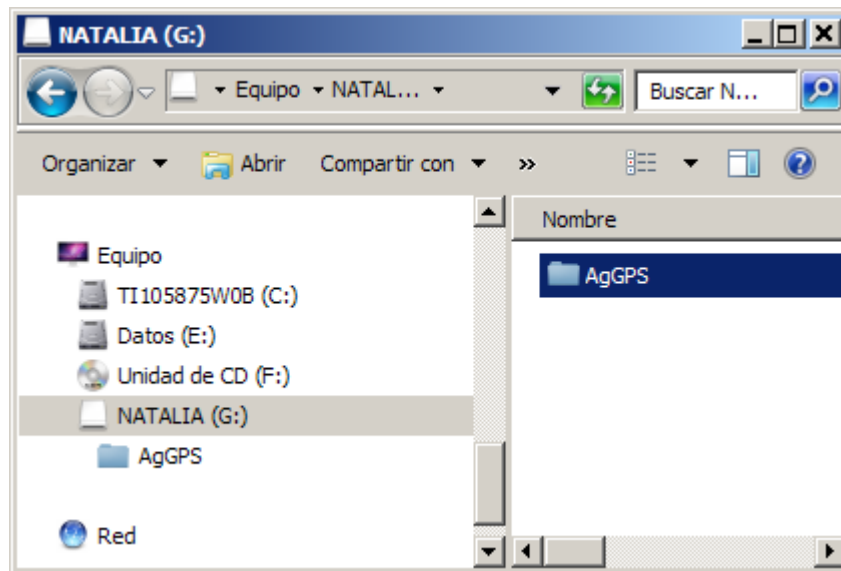


Figura B.19: Carpeta generada en levantamiento

2. Abrir con Excel el archivo Multiplane.txt que se encuentra en la ruta:
unidad:\carpetaDeTrabajo\AgGPS\Data\UAAAN\NAVIDAD\Parcela1

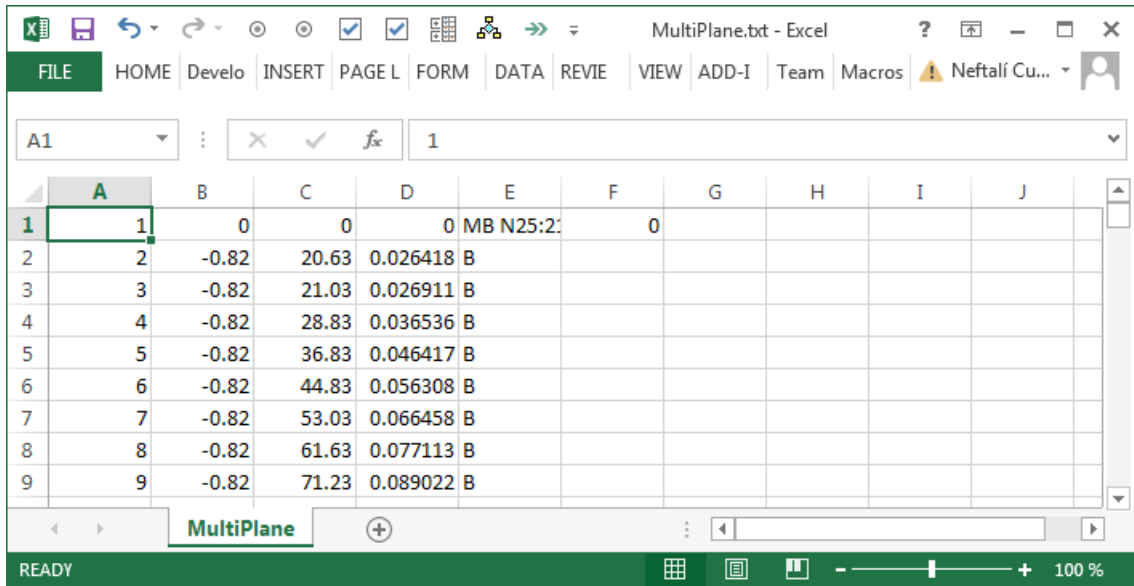


Figura B.20: Archivo Multiplane.txt en Excel

3. Insertar los puntos del trazado a la base Multiplane, copiando las columnas de coordenadas relativas y alturas de prescripción

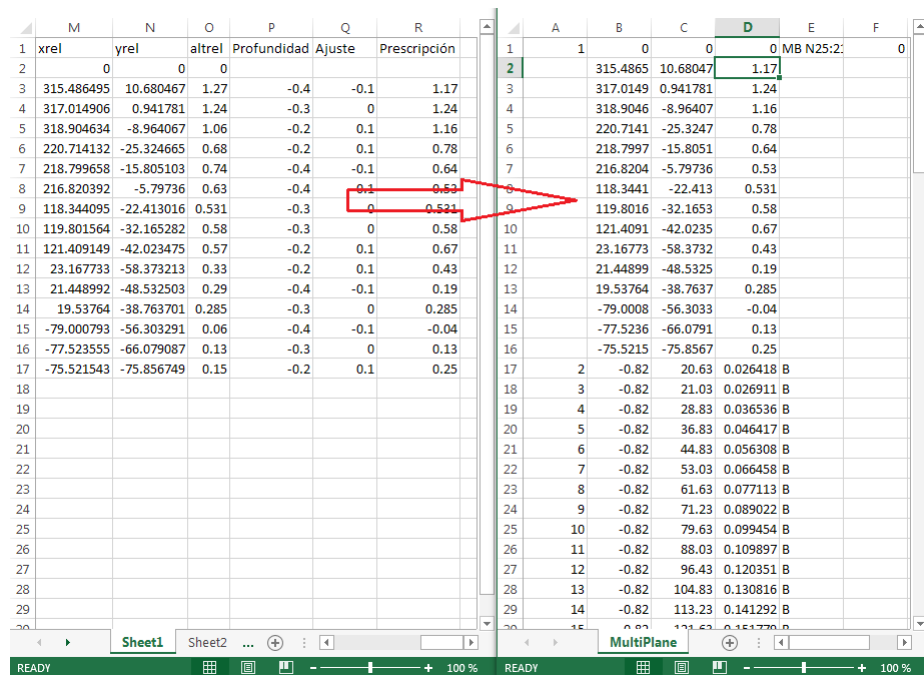


Figura B.21: Inserción de puntos de trazado a la base Multiplane

4. Ajustar la numeración de la columna A y etiquetar los puntos de control con BM y un número progresivo.

	A	B	C	D	E
1	1	0	0	0	MB N25:2
2	2	315.486	10.6805	1.17	BM1
3	3	317.015	0.94178	1.24	BM2
4	4	318.905	-8.96407	1.16	BM3
5	5	220.714	-25.3247	0.78	BM4
6	6	218.8	-15.8051	0.64	BM5
7	7	216.82	-5.79736	0.53	BM6
8	8	118.344	-22.413	0.531	BM7
9	9	119.802	-32.1653	0.58	BM8
10	10	121.409	-42.0235	0.67	BM9
11	11	23.1677	-58.3732	0.43	BM10
12	12	21.449	-48.5325	0.19	BM11
13	13	19.5376	-38.7637	0.285	BM12
14	14	-79.0008	-56.3033	-0.04	BM13
15	15	-77.5236	-66.0791	0.13	BM14
16	16	-75.5215	-75.8567	0.25	BM15
17	17	-0.82	20.63	0.02642	B
18	18	-0.82	21.03	0.02691	B
19	19	-0.82	28.83	0.03654	B
20	20	-0.82	36.83	0.04642	B
21	21	-0.82	44.83	0.05631	B
22	22	-0.82	53.03	0.06646	B

Figura B.22: Aplicación de formato a base Multiplane

5. Pulsar Guardar y Si (seguir usando el formato)

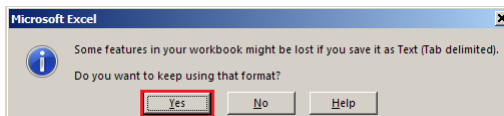


Figura B.23: Ventana de advertencia del uso del formato Texto

B.5.2. Procesado en el simulador de la pantalla FmX

1. Cambiar el nombre de la carpeta del campo donde se encuentra la base Multiplane.txt modificada en el apéndice anterior. En este ejemplo se cambió de Parcela1 a Parcela1p
2. Copiar la carpeta de *Cliente*(UAAAN) a la carpeta de datos del simulador:

unidad:\AgGPS.cougar\Data\

3. Eliminar los archivos de la carpeta campo (parcela1p):

- cutfillmap.png
- EventHistory.dbf
- field.xml
- FieldLevel.xml
- heightmap.png

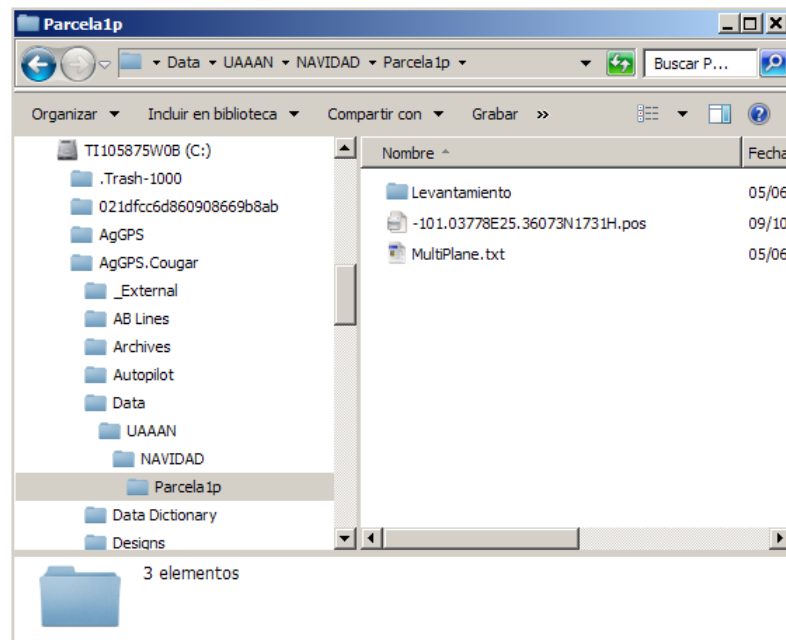


Figura B.24: Archivos sin borrar del campo


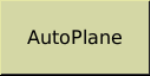

4. Abrir el simulador y presionar 
5. Pulsar OK en la selección de configuración
6. En la ventana *Selección de Campo* verificar que se encuentre el campo parcela1p



Figura B.25: Selección del campo en simulador

7. Pulsar OK
8. Pulsar 
9. Pulsar OK en la ventana *PlanoAuto*
10. Pulsar el botón Inicio 
11. Pulsar cerrar campo
12. Desde el explorador de archivos copiar el campo Parcela1p (procesado en el simulador) a la carpeta de campos de la memoria USB

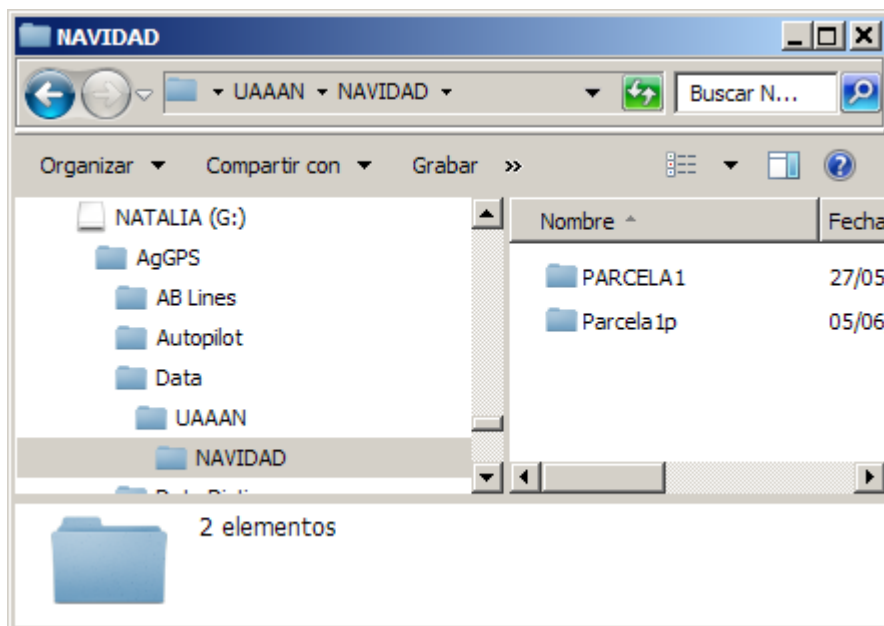


Figura B.26: Carpeta del campo Parcela1p pegada en la carpeta de campos de la memoria USB

B.5.3. Cargar mapa de prescripción a la pantalla FmX

1. Insertar la memoria en el puerto USB de la pantalla.
2. Copiar el campo de prescripción
 - Encender la pantalla
 - Pulsar **Archivos de Datos**
 - Seleccionar el campo con la prescripción (Parcela1p)

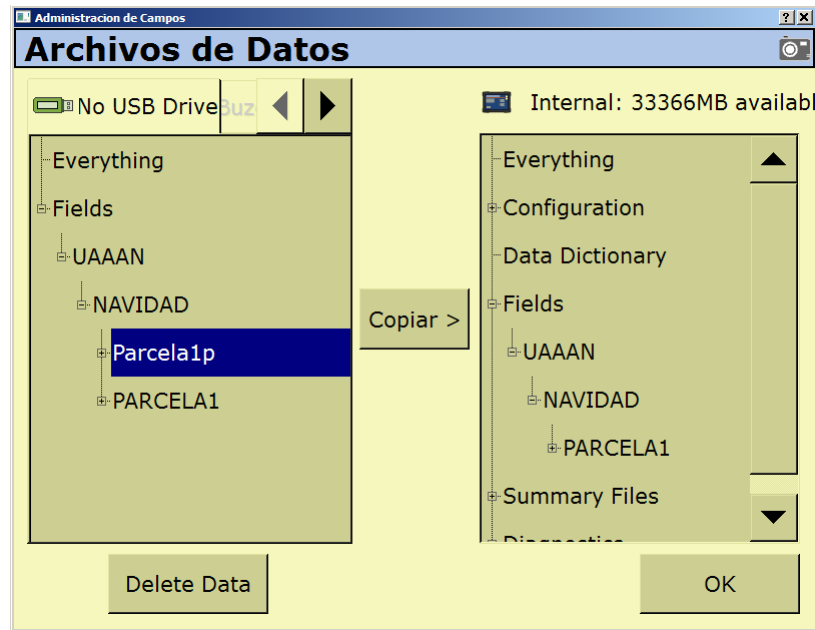


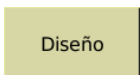


Figura B.27: Carga del mapa de prescripción a la pantalla FmX

- Pulsar Copiar
- Pulsar OK

B.5.4. Diseño de trabajo en FieldLevel II

1. Abrir la pantalla de ejecución
 - Pulsar el boton 
 - En la pantalla selección de configuración pulsar OK
 - Seleccionar el campo con los datos de prescripción; Pulsar OK
2. Seleccionar la pestaña de trabajo 
3. Presionar 
4. Presionar *Nuevo Plano*
5. definir la dirección de la pendiente, del BM13 al BM1

6. Agregar a la lista de Puntos de diseño los BM 1,6,7,12 y 13; pertenecientes a la primer columna y se encuentran en la dirección de la pendiente principal

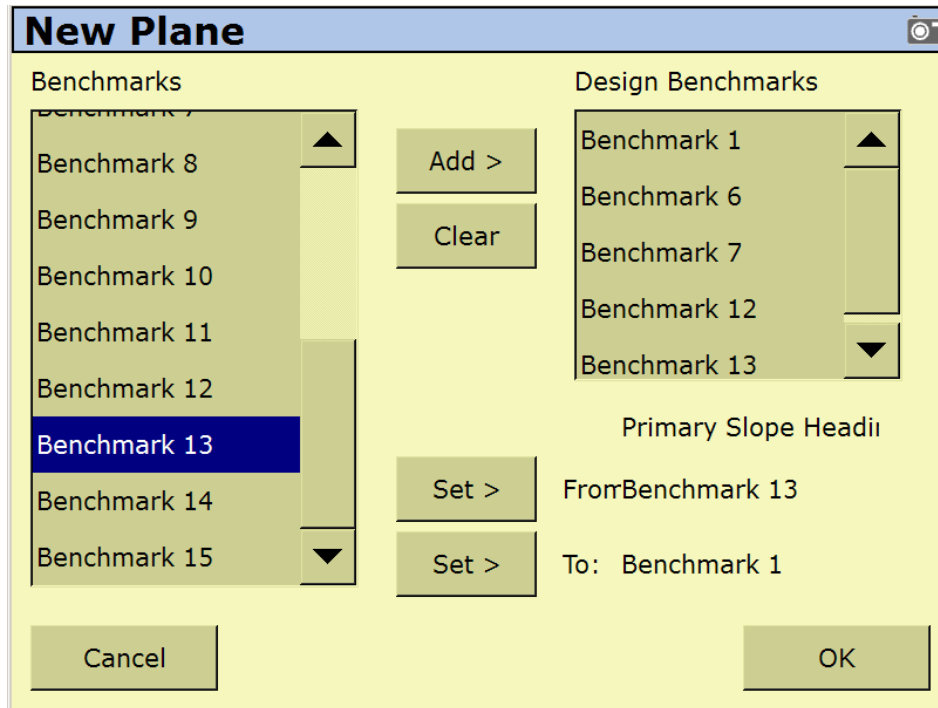


Figura B.28: Diseño de un nuevo plano

7. Pulsar OK
8. En la ventana de Edición del Plano ingresar en las casillas los datos:
- Primary Slope 0.3 % (pendiente entre el BM13 y BM1)
 - Cross Slope 0.0 % (La pendiente transversal no es uniforme)
 - Height Above Pivot 0.0 m

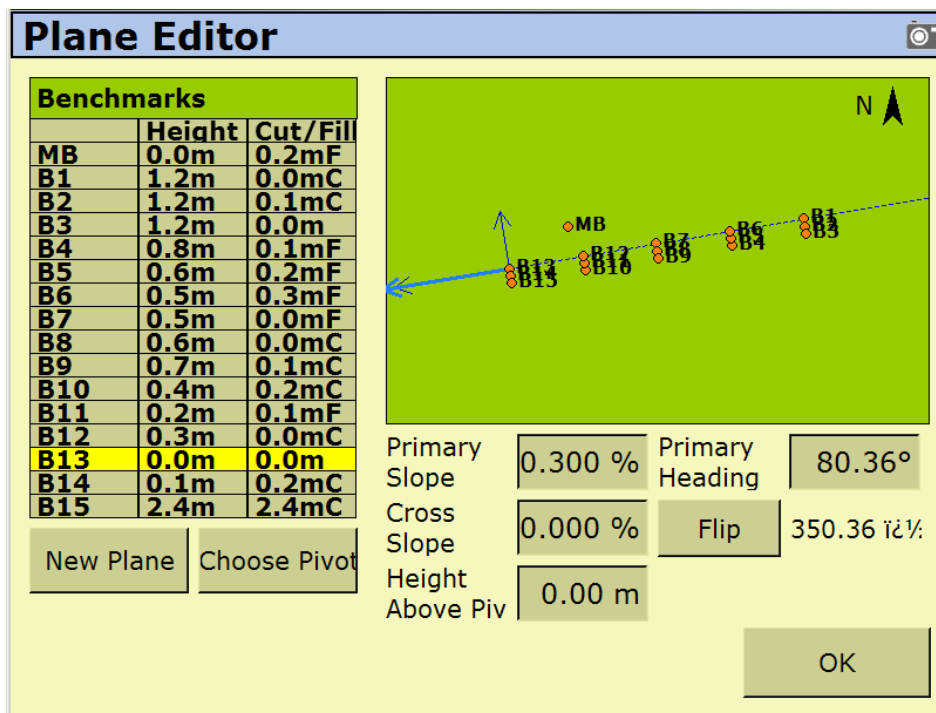



Figura B.29: Ventana de aplicación *Editor de planos*

9. Pulsar OK

B.6 Laboreo Variable en base al mapa de prescripción

B.6.1. Ajustes preliminares

1. Nivelar la sección trasera y delantera.
2. Medir la altura de la antena tomando como referencia la punta del cincel delantero; restarle 0.20 m e ingresar el dato al controlador.
 - Pulsar Config 
 - Pulsar Configure
 - Seleccionar FieldLevel II y presionar Configurar
 - En la pestaña *Configuración Hoja* ingresar el dato en Altura de antena

Configuración FieldLevel II [?] [img]

Configuraciones | Configuración Hoja | Alturas Relativas | Programación de Válvulas ◀ ▶

Paso Hoja	0.010 m
Incremento grosero de la hoja	0.100 m
Altura de Antena	1.970 m
Límite a nivel	0.05 m
Desactivar Subir	1.0 s
Auto Entrada Remota	Inhabilitado ▼

Cancelar OK

Figura B.30: Configuración FieldLevel II

B.6.2. Trabajo en campo

1. Posicionarse en el MBP y presionar Fijar altura de referencia

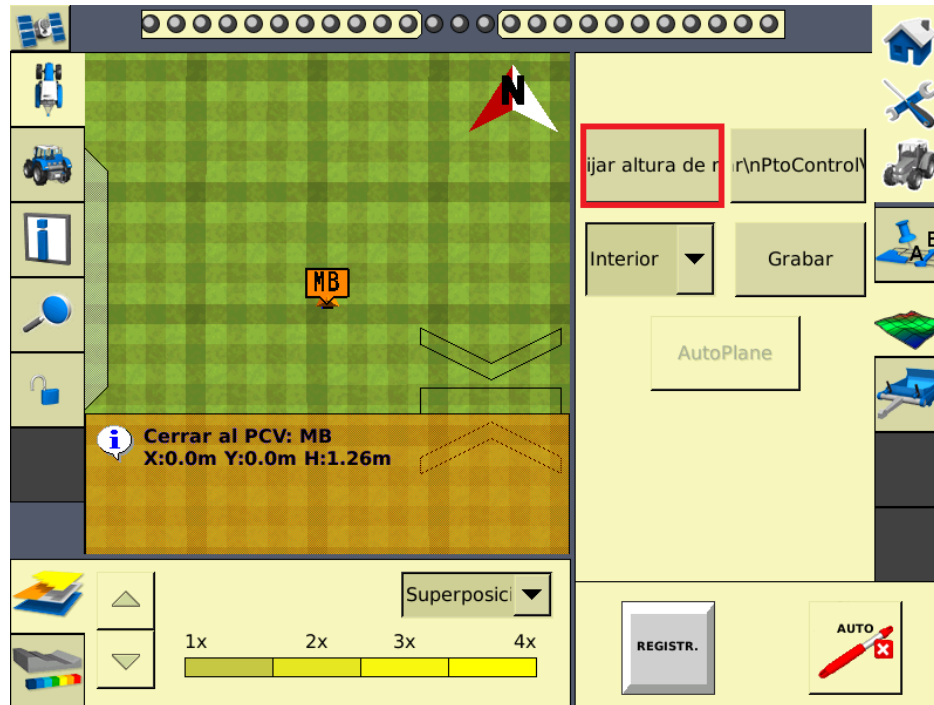



Figura B.31: Fijar altura de referencia del MBP

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.