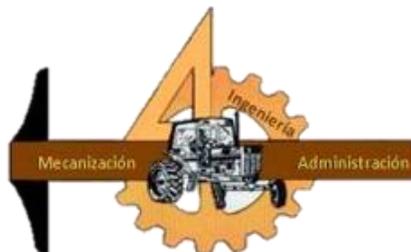




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



**Desarrollo de un Sistema de Control Inteligente
Para Laboreo Primario de Suelos**

POR:

LILI YANETH RAMON MENDOZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2014

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

Desarrollo de un Sistema de Control Inteligente para Laboreo Primario
de Suelos.

POR:

Lili Yaneth Ramon Mendoza

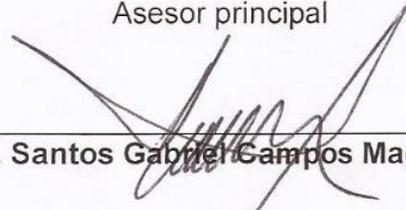
TESIS

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

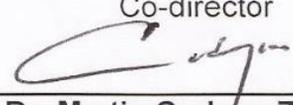
INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis

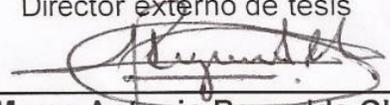
Asesor principal


Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

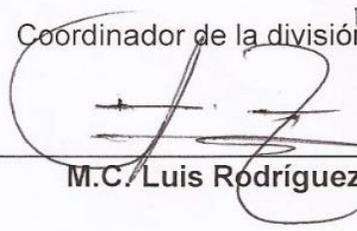
Co-director


Dr. Martin Cadena Zapata

Director externo de tesis


M.C. Marco Antonio Reynolds Chávez

Coordinador de la división de ingeniería
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"


M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez


Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Agradezco a mi DIOS PADRE por haberme dado la vida, por poner en mi camino a personas maravillosas, por darme la oportunidad de concluir una meta más en mi vida y por todas las bendiciones que recibo día tras día, gracias Dios Mío.

A MI ALMA TERRA MATER

Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por haberme dado la oportunidad de superarme e incrementar mis conocimientos para formarme profesionalmente. Así como a las Instituciones que me encaminaron académicamente.

A MI ASESOR

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña por su gran apoyo y confianza, por el tiempo dedicado en el desarrollo de este proyecto y durante toda mi carrera.

Al MC. Marco Antonio Reynolds Chávez

Primero que nada por la amistad que me brindó durante todo este tiempo, sus consejos, su apoyo y conocimientos, además de sus asesorías y facilidades prestadas para la realización de la tesis... por todo eso y más **GRACIAS**.

Al Ingeniero Juan Antonio López y al Ing. Neftalí Cuervo Piña

Por su apoyo y enseñanza que siempre me brindaron, y la oportunidad de compartir sus conocimientos.

A LOS PROFESORES

En especial al, M. C. Juan Arredondo Valadez, M.C. Jesús R. Valenzuela García, Dr. Martin Cadena Zapata, Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, M.C. Mario Alberto Méndez Dorado, Ing. Rosendo González Garza, Ing. Tomás Gaytán Muñoz, M. C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, así también, a todo el personal que labora en el departamento y todos aquellos maestros que aportaron sus conocimientos y experiencias durante el desarrollo de mi carrera.

A MIS AMIGOS;

Yulvi González, Lucía Oquil, Ana Sánchez, Carlos González, Ilse Iturbide, Julio Ruíz, Grimaldo García, Diego Cruz, Gilbert Fresh, Prisciliano Pérez, Miriam Gómez, Milton Raolid, Oscar Ancheyta, Víctor Alonso; Gracias por haberme brindado su amistad, sus consejos, regaños, pero sobre todo, gracias por formar parte de mi vida. A pesar de todo siempre estuvieron conmigo compartiendo cada tristeza, cada alegría y cada enojo. Siempre los recordaré.

A TODA LA FAMILIA MENDOZA Y JACOB POR SU APOYO INCONDICIONAL EN TODO MOMENTO

DEDICATORIAS

A mis padres

Hermelindo Ramón Orantes (+) y Martha Mendoza Pérez

Con amor para mis padres, primero que nada por darme la vida, siempre los llevo en mi mente y corazón. Gracias papá aunque tú no estás físicamente sé que estás feliz de ver a tu hija concluir un logro más donde quiera que estés... siéntete orgulloso; aún vives en cada recuerdo. En especial para ti mamá, que me has enseñado a ser quien soy. Gracias por creer en mí, por tu apoyo incondicional, por aquellas palabras de ánimo, por todos tus consejos y regaños, por la comprensión que has tenido en cada una de mis decisiones, quiero que sepas que el mejor regalo que DIOS me pudo dar... es el que tú seas mi mamá. Quiero decirte que te admiro porque has trabajado mucho para darnos lo mejor, eres la mejor mamá del mundo, un ejemplo a seguir. Si tuviera la opción de elegir, te elegiría sin pensarlo nunca olvides lo mucho que te amo, eres mi motor para seguir adelante. A ti te dedico este trabajo. DIOS TE BENDIGA SIEMPRE MAMITA

A mis hermanos

Carlos Alberto Ramón Mendoza, Viridiana Ramón Mendoza, Ramon Ramon Mendoza, Miguel Eduardo Jiménez Mendoza, Isaías Jiménez Mendoza.

Gracias por su amistad, por su apoyo y cariño que me han brindado, por los momentos compartidos pero sobre todo, gracias por estar conmigo en esos momentos cuando más los he necesitado. LOS AMO MUCHO y les deseo lo mejor del mundo y que DIOS me los bendiga donde quiera que estén.

A mis abuelos

Mi papito Pedro Mendoza (+) y Elvia Pérez; Por ser el ejemplo para salir adelante y por los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento, pero más que todo eso, unas grandes personas que siempre han podido salir adelante y ser triunfadores con la gracia de Dios.

A mis tíos y tías

En especial a mi tía Dora Luz Mendoza Pérez, Olga Mendoza Pérez, Celín Mendoza Pérez, Juana Teresa Pérez Salas.

Por estar siempre conmigo en los momentos más importantes de mi vida, por toda su comprensión y confianza, por sus consejos y experiencias, por el apoyo que me han brindado, y sobre todo por haberme enseñado a luchar contra los obstáculos de la vida, para alcanzar las metas y propósitos y gozar de ello, gracias por confiar en mí y darme siempre ánimos para seguir adelante.

A mis primos (as)

Nidia Yeraldine Mendoza Pérez, Célin de Jesús Mendoza Pérez, Pedro Gabriel Molina Mendoza.

Gracias por apoyarme siempre, en cualquier momento que necesitaba de ustedes. Muchas gracias que Dios los bendiga siempre.

Al amor de mi vida

Por brindarme el apoyo durante mi carrera y por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, en mis triunfos y tropiezos, y quiero que sepas que te amo y aunque el tiempo transcurra el amor que siento por ti día a día se hace más grande y fuerte. Te amo bebe.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| TABLA DE CONTENIDOS | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vii |
| ÍNDICE DE CUADROS | ix |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Objetivos Específicos | 3 |
| 1.2 Hipótesis | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 Labranza | 4 |
| 2.1.1 Labranza primaria | 5 |
| 2.1.2 Labranza vertical..... | 6 |
| 2.1.3 Uso de implementos para labranza vertical. | 7 |
| 2.2 Agricultura de precisión..... | 8 |
| 2.2.1 Manejo de sitio específico..... | 11 |
| 2.2.2 Variabilidad en el suelo | 11 |
| 2.2.3 Labranza variable..... | 13 |
| 2.2.4 Labranza inteligente | 15 |
| 2.3 Mapas de diagnóstico y mapas de prescripción..... | 16 |
| 2.4 Sistemas de posicionamiento global (GPS). | 18 |
| 2.4.1 Composición del sistema. | 19 |
| 2.5 Sistemas de información geográfica (SIG)..... | 19 |
| 2.6 Uso procesadores y controladores..... | 23 |
| 2.6.1 Control..... | 24 |
| 2.6.2 Funcionabilidad..... | 25 |
| 2.6.3 Sistema Ag GPS Field Level..... | 26 |
| 2.7 Sistemas de control en la agricultura de precisión..... | 27 |
| 2.8 Sistemas hidráulicos..... | 28 |

| | |
|---|----|
| 2.8.1 Tipos de sistemas hidráulicos. | 28 |
| 2.8.2 Actuadores hidráulicos..... | 31 |
| 2.8.3 Válvulas proporcionales. | 32 |
| 2.8.4 Válvulas direccionales..... | 33 |
| 2.9 Circuitos electrónicos. | 34 |
| 2.9.1 Microcontroladores..... | 35 |
| 2.10 Sensores..... | 36 |
| 2.10.1 Sensores de profundidad de trabajo. | 36 |
| 2.10.2 Sensores ultrasónicos..... | 37 |
| 2.10.3 Sensores infrarrojos. | 37 |
| 2.10.4 Funcionamiento de tecnología infrarroja. | 38 |
| 2.11 Electrónica digital. | 40 |
| 2.11.1 Compuertas..... | 40 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 42 |
| 3.1 Materiales, equipo e instrumentos empleados..... | 42 |
| 3.2 Metodología. | 44 |
| 3.2.1 Localización del sitio de trabajo. | 44 |
| 3.3 Acondicionamiento del equipo de labranza inteligente. | 44 |
| 3.4 Verificación del sistema paralelogramo y actuadores hidráulicos del bastidor del equipo de labranza inteligente. | 45 |
| 3.5 Evaluación del tiempo de respuesta de la válvula electrohidráulica Danfoss respecto a la pantalla FMX. | 45 |
| 3.6 Acondicionamiento del sensor de medición de profundidad de laboreo (Sonar)... | 46 |
| 3.6.1 Evaluación del amplificador AD620..... | 47 |
| 3.7 Evaluación y calibración sensor de distancia (Sonar). | 47 |
| 3.8 Verificación de la señal del sensor de distancia (Sonar) bajo condiciones de campo. | 48 |
| 3.9 Generación de guía rápida de uso y operación de la válvula proporcional manipulada con el controlador Fmx. | 49 |
| 3.10 Propuesta del sensor de posición. | 49 |
| 3.10.1 Verificación de la Compuerta NOR. | 50 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 51 |

| | |
|---|----|
| 4.1 Diagrama del equipo articulado..... | 51 |
| 4.2 Acondicionamiento del sistema de paralelogramo y actuadores hidráulicos del bastidor del equipo de labranza inteligente..... | 53 |
| 4.3 Tiempo de respuesta de la válvula a una prescripción de 50 mm de desplazamiento de los actuadores y diferentes (rpm) del tractor..... | 54 |
| 4.4 Descripción del sistema de medición de profundidad de laboreo. | 59 |
| 4.5 Calibración del sensor de Distancia (Sonar). | 60 |
| 4.6 Evaluación del sensor (Sonar) para verificar la respuesta bajo condiciones de campo. | 65 |
| 4.7 Generación de Guía rápida de uso y operación de la válvula proporcional manipulada con el controlador Fmx. | 68 |
| 4.8 Propuesta de sensor digital de posición..... | 69 |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 71 |
| 5.1 Conclusiones..... | 71 |
| 5.2 Recomendaciones | 71 |
| VI. LITERATURA CITADA | 72 |
| VII. ANEXOS..... | 79 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 2.1 Herramientas para la agricultura de precisión que permiten obtención y análisis de datos georreferenciados. Bragachini <i>et al.</i> , (2004)..... | 9 |
| Fig. 2.2 Ciclo de la agricultura de precisión. Bolstad, P. (2005)..... | 10 |
| Fig. 2.3 Importancia de la variabilidad. Gutiérrez (2012)..... | 12 |
| Fig. 2.4 Componentes de un sistema inteligente en equipo de siembra. Reynolds (2006)..... | 15 |
| Fig. 2.5 Resultados después de un rastreo satelital. Catastro, cartografía y SIGS (Sep, 2009) | 21 |
| Fig.2.6 Generación de capas en GIS. Catastro, cartografía y SIGS (Sep., 2009)..... | 22 |
| Fig.2.7 Funciones de la pantalla de FMX. (AGROLASER NIVEL S.L., 2014)..... | 24 |
| Fig.2.8 Esquema sistema hidráulico centro abierto. (Más que máquinas., abril de 2013)..... | 30 |
| Fig.2.9 Esquema sistema hidráulico centro cerrado. (Más que máquinas., abril de 2013)..... | 31 |
| Fig. 2.10 Actuador hidráulico de doble efecto. (Unidad didáctica neumática e hidráulica) | 32 |
| Fig. 2.11 Válvulas proporcionales, permiten regular el caudal que pasan a través de ellas. (Conceptos básicos de Neumática e Hidráulica). | 32 |
| Fig. 2.12 Control de lazo cerrado con válvulas proporcionales por medio de un dispositivo de procesamiento se puede ubicar un actuador en un punto muy preciso. (Conceptos básicos de Neumática e Hidráulica)..... | 33 |
| Fig. 2.13 Electroválvula de doble solenoide. Conceptos básicos de Neumática e Hidráulica)..... | 34 |
| Fig. 2.14 Barreras de infrarrojos, (Sorhea: Funcionamiento de tecnología infrarroja). | 38 |
| Fig. 2.15 Comparación de la energía de un haz forzado y de un haz continuo, (Sorhea: Funcionamiento de tecnología infrarroja). | 39 |
| Fig. 2.16 Comparación gráfica de una señal analógica y una señal digital..... | 40 |
| Fig.2.17 Símbolo lógico de la compuerta NOR. (Compuertas lógicas y algebra de boolee)..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Fig. 3.1 Localización del Rancho Experimental Navidad | 44 |
| Fig.3.2 Acoplamiento de componentes del sistema..... | 44 |
| Fig.3.3 Prototipo de labranza inteligente nivelado..... | 45 |
| Fig. 3.4 Evaluación de los tiempos de respuesta y distancia recorrida de la válvula electrohidráulica..... | 46 |
| Fig. 3.5 Diagrama de amplificador AD620. (Ruiz, 2014)..... | 47 |
| Fig. 3.6 Evaluación del sensor bajo condiciones de campo..... | 48 |
| Fig.3.7 Simulación física de sensor digital. | 50 |
| Fig.3.8 Esquema de conexiones de la compuerta (Proyectos electrónicos.com). | 50 |
| Fig.4.1 Equipo de labranza vertical..... | 52 |
| Fig. 4.2 Componentes de las barras del equipo de labranza inteligente mostrando la sección fija y la sección articulada. | 53 |
| Fig. 4.3 Acondicionamiento del sistema de paralelogramo y actuadores hidráulicos..... | 53 |
| Fig. 4.4 Prototipo de labranza inteligente con válvula electrohidráulica. | 55 |
| Fig. 4.5 Prototipo de labranza inteligente para la medición de pulsos arrojados y distancia recorrida por los actuadores hidráulicos. | 57 |
| Fig.4.6 Conexión del equipo de monitorio de profundidad de laboreo. | 59 |
| Fig.4.7 Grafica escalonada de la calibración del sensor Sonar..... | 61 |
| Fig.4.8 Generación de ecuación de calibración del sensor de posicionamiento de altura (Sonar). | 63 |
| Fig. 4.9 Se muestran los diagramas esquemáticos en tres dimensiones, físico del sensor y el amplificador con sus componentes..... | 64 |
| Fig. 4.10 Gráfica de comportamiento del sonar en campo..... | 65 |
| Fig. 4.11 Gráfica de comportamiento del sonar en campo..... | 66 |
| Fig. 4.12 Mecanismo de biela, manivela y corredora..... | 69 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| CUADRO 2.1 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (adaptado de USDA, 1998)..... | 14 |
| Cuadro 2.2 Tabla de la verdad de una compuerta NOR de dos entradas, Algebra de bolee, leyes y teoremas, (Mayo 2014). | 41 |
| Cuadro 4.1 Descripción de los elementos que conforman el prototipo de labranza vertical articulado. | 52 |
| Cuadro 4.2 Tiempo de respuesta en 50 mm de desplazamiento de los actuadores, usando la válvula proporcional. Manipulada por el controlador FMX a diferentes (rpm) del tractor. | 54 |
| Cuadro 4.3 Análisis de varianza de los tiempos de respuesta de la válvula a diferentes (rpm) del tractor. | 55 |
| Cuadro 4.4 Número de pulsos contabilizados para alcanzar 50 mm de altura enviados por la válvula proporcional manipulada con el FMX y con diferentes (RPM) del tractor. | 56 |
| Cuadro 4.5 Análisis de varianza de los números de pulsos de respuesta de la válvula Danfoss con el controlador Fmx. | 56 |
| Cuadro 4.6 Respuesta del desplazamiento a una altura de 50mm.De la válvula proporcional con diferentes (RPM) del tractor. | 58 |
| Cuadro 4.7 Análisis de varianza para el desplazamiento a una prescripción de 50 mm por encima y por debajo de la referencia emitida por el controlador FMX a diferentes rpm del tractor. | 58 |
| Cuadro 4.8 Componentes del equipo de medición y registro de profundidad de laboreo propuesto. | 60 |
| Cuadro 4.9 Proporción entre valores de distancia y voltaje para la obtención de la constante de calibración. | 62 |
| Cuadro 4.10 Lectura de desplazamiento (V vs m) del marco articulado respecto a la parte fija del equipo. | 67 |
| Cuadro 4.11 Lectura de desplazamiento del marco articulado respecto a la parte fija del equipo. | 68 |

RESUMEN

El presente trabajo forma parte del proyecto “Labranza Inteligente” llevado a cabo en el departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN, que contempla entre sus objetivos: **Desarrollo de un sistema de control inteligente de profundidad variable utilizando un prototipo integral articulado de arado de cinceles para el laboreo primario de suelo.** Se pretende manipular en forma automática la profundidad de labor a partir de una prescripción, un controlador con software integrado y una válvula electrohidráulica proporcional. Así mismo, evaluar los tiempos de respuesta y confiabilidad del sistema. La finalidad de este sistema de control es aplicar laboreo profundo variable capaz de realizar una prescripción a partir de una señal emitida por el controlador, el cual tiene posición georreferenciada y las características propias del sitio. Se realizaron modificaciones mecánicas en la parte articulada del prototipo, redimensionando el tamaño de los cilindros y ajustando la carrera del pistón con una máxima de 0.19m y una mínima de 0.06m, con ello se obtuvo el ajuste requerido para la profundidad de labor de los cinceles en un rango de 0.20 a 0.40m. Los resultados obtenidos en los tiempos de respuesta de la señal controlador-electroválvula a una prescripción de 50 mm con un desplazamiento a diferentes rpm del tractor registraron un tiempo promedio de 23.3 segundos, mostrando que no existe diferencia estadística significativa en los tiempos de respuesta del sistema a diferentes rpm del tractor. Por otro lado, bajo condiciones de laboratorio se calibró un sensor (sonar) para la medición de profundidad, obteniendo una constante de calibración de $28.04mV \cdot mm^{-1}$ con un coeficiente de correlación del 99.6 %, lo que determina la confiabilidad del sensor. Para verificar la respuesta del sensor bajo condiciones de campo, se evaluaron tres posiciones de desplazamiento de la parte articulada: (1) nivel de referencia, (2) 0.10 m por encima de la referencia y (3) 0.10m por debajo de la referencia.

Palabras claves: Labranza inteligente, Sensor de medición de profundidad, Sistemas de Geo posicionamiento y uso de controladores.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las oportunidades y riesgos actuales en la producción de alimentos está vinculados con: alta demanda mundial de alimentos (granos, carne, aceite, proteína, bioenergía); alta demanda y costo de petróleo y gas natural en todo el mundo (el gas natural es 90% del costo de la producción de amoníaco); aumento del área fertilizada; deficiencias de nutrientes que limitan la producción de cultivos y forrajes; así como, altos índices de contaminación ambiental entre otros. (Gutiérrez 2012).

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

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

La Agricultura de precisión o manejo de sitio específico, es la utilización de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos geo-referenciados mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos; así como, una disminución sustantiva en la contaminación (López., 2012).

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

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

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

Cuyos objetivos planteados fueron:

1. Construir un modelo de simulación de profundidad de herramientas de labranza soportada en registros y base de datos de diagnóstico de sitio específico.
2. Construir un prototipo de herramienta de labranza vertical con control automático de profundidad manipulado mediante registro de información satelital, mapas de diagnóstico y de prescripción de los niveles de energía por predio específico.

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

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

1.1 Objetivos Específicos

- a) Manipular en forma automática la profundidad de labor de un prototipo articulado de cinceles utilizando un sistema electrohidráulico, un controlador y prescripciones establecidas.
- b) Evaluar el tiempo de respuesta del sistema hidráulico bajo condiciones de campo.
- c) Determinar la confiabilidad del posicionador de profundidades variables prescritas entre el controlador Fmx y un sonar.
- d) Generar una guía rápida de uso y operación de la válvula proporcional manipulada con el controlador Fmx.

1.2 Hipótesis

Es posible controlar la profundidad de laboreo del suelo mediante el uso de un sistema de control inteligente.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Labranza

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. Utilizando un sistema de cinceles y subsoladores es importante considerar el ángulo de ataque para así obtener bajos valores de fuerza de tracción y en consecuencia bajos valores en consumo de energía (Aluko y Seig, 2000).

2.1.1 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 (1984) 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 (1984): Cobertura inadecuada de la superficie del suelo, que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de lluvias; como consecuencia ocurre el colapso estructural de estos agregados, formándose costras con espesor medio de un milímetro, que reducen drásticamente la infiltración de agua.

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). 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 debido a un gran número de pasos de implemento y por lo tanto gran consumo 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 Derspch (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; CamachoTamayo, 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 *et al.*, 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.

La Agricultura de precisión (AP) es una técnica para aumentar la productividad, rentabilidad, mediante la diferenciación de sectores homogéneos, busca dar un manejo diferenciado de manera que las áreas agrícolas exprese su máximo potencial (Ortega y Flores., 2008). La AP requiere información de posicionamiento satelital, no obstante ésta no indica lo que hay que hacer en el campo, sino permite a través de ciertas herramientas dar a cada zona del campo cultivado el tratamiento agronómico más apropiado, tomando en cuenta el aspecto económico, productivo y ambiental.

Bragachini *et al.*, (2004) la Agricultura de Precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital y que consiste en obtener datos georreferenciados en los lotes para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento expresado por los cultivos en diferentes sitios como loma, media loma y baja loma (figura 2.1); se obtiene mejor respuesta en lotes que posean alta variabilidad de potencial de rendimiento ya sea por relieve, historia del lote (secuencia de cultivos y fertilizaciones anteriores).

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

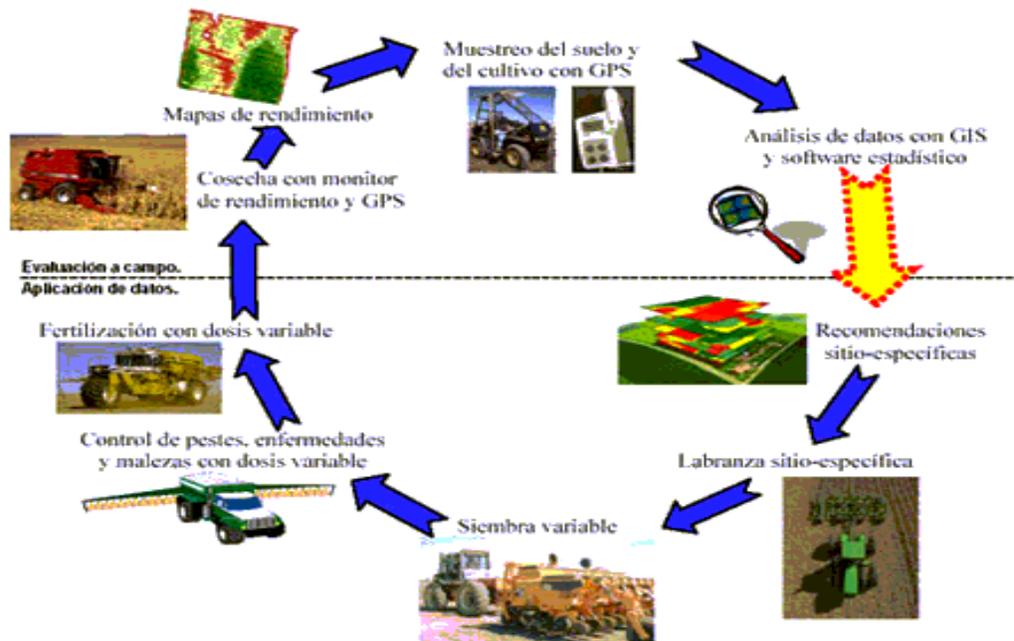


Fig. 2.1 Herramientas para la agricultura de precisión que permiten obtención y análisis de datos georreferenciados. Bragachini *et al.*, (2004)

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

Si bien la agricultura de precisión es un tema relativamente nuevo, se han logrado muchos avances, principalmente en el desarrollo de máquinas e implementos que permiten el manejo localizado en base a mapas. Los recursos más avanzados en tecnología de información hoy disponibles, como los sistemas de posicionamiento global (GPS), los sistemas de información geográfica (SIG), los sistemas de control y adquisición de datos, sensores y actuadores, entre otros, están cada vez más presentes en el campo. A pesar de ese avance tecnológico, hay áreas que necesitan desarrollarse aún más para que la agricultura de precisión pueda consolidarse como una solución amplia y plenamente viable, para todos los segmentos de la agricultura.

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

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

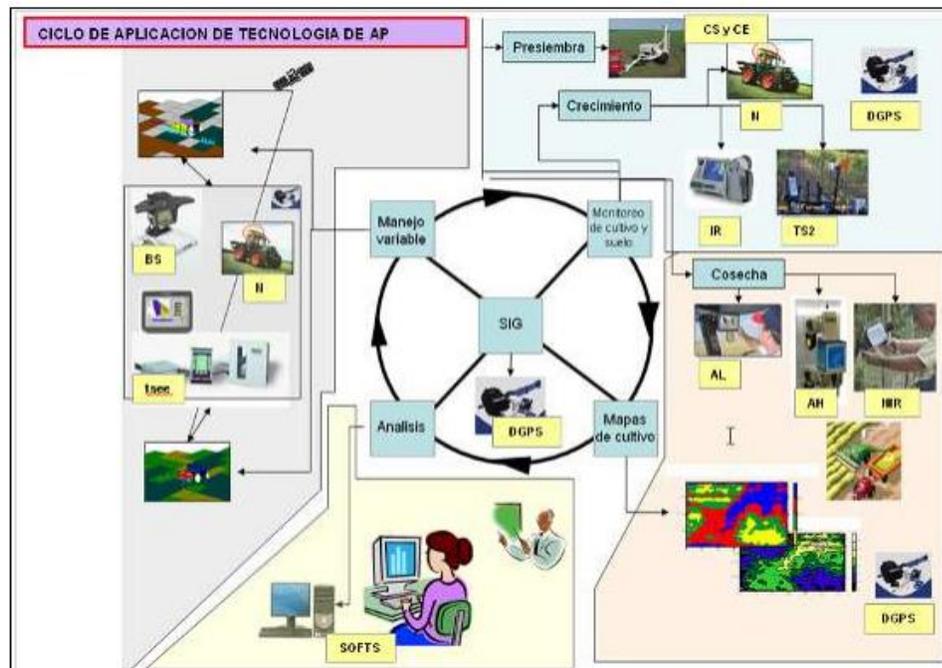


Fig. 2.2 Ciclo de la agricultura de precisión. Bolstad, P. (2005)

En base a ello, se define un ciclo de prácticas agrícolas orientado a sustituir la recomendación habitual de insumos en base a valores promedio, como ocurre en la agricultura tradicional, por una más precisa, con manejo localizado, considerando las variaciones del rendimiento en toda el área. Es una optimización del uso de los insumos porque deposita en el suelo la cantidad de semilla que cada punto soporta, la cantidad de nutrientes y agua requerida, y además el control de malezas, plagas y enfermedades se hace solamente en los puntos que demanden tal (Best, 2007).

Bragachini (2010). La agricultura de precisión no es una agricultura en la que los satélites indican lo que hay que hacer en el campo; si no que permite a través de

ciertas herramientas dar a cada zona del campo cultivado el tratamiento agronómico más apropiado, tanto desde el punto de vista económico-productivo como el ambiental, permitiendo:

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

2.2.1 Manejo de sitio específico.

En la tecnología MSE es imprescindible delimitar áreas homogéneas de manejo dentro del lote y se requieren mapas a escalas de elevado detalle (e.g. 1:1200 a 1:8000). El uso de metodologías de relevamiento tradicionales sería muy costoso para adecuar los mapas de suelos disponibles. La utilización de otras fuentes de información, tales como mapas de rendimiento e imágenes satelitales de varios años son valiosos para delimitar con mayor precisión las unidades cartográficas.

El valor de la información recolectada por los monitores de rendimiento radica en su elevado nivel de detalle. Sin embargo, la utilización de los mapas de rendimiento como única herramienta para delimitar áreas homogéneas de manejo puede ser poco consistente cuando se desconocen las fuentes de variabilidad de los mismos entre años (Gutiérrez 2012).

2.2.2 Variabilidad en el suelo

La variabilidad de las propiedades del suelo es una condición inherente al mismo, debido a que en su formación intervienen varios procesos diferentes que, a su vez, están controlados por los factores de formación (clima, material parental, organismos, relieve y tiempo). Estas interacciones pueden ser muy variadas dando como consecuencia una alta cantidad de suelos posibles (Jaramillo, 2011).

La caracterización de los patrones espaciales de variabilidad es de creciente interés para determinar los niveles de precisión con los cuales pueden predecirse los atributos de suelo a diferentes escalas (figura 2.3). La asociación espacial entre estos atributos y rendimiento de los cultivos es necesaria en la aplicación de insumos en forma variable o tecnología manejo sitio-específico (MSE). Esta tecnología se fundamenta en la capacidad de reconocer la heterogeneidad dentro del lote de producción y adecuar el uso de insumos para cada unidad reconocida (Gutiérrez 2012).

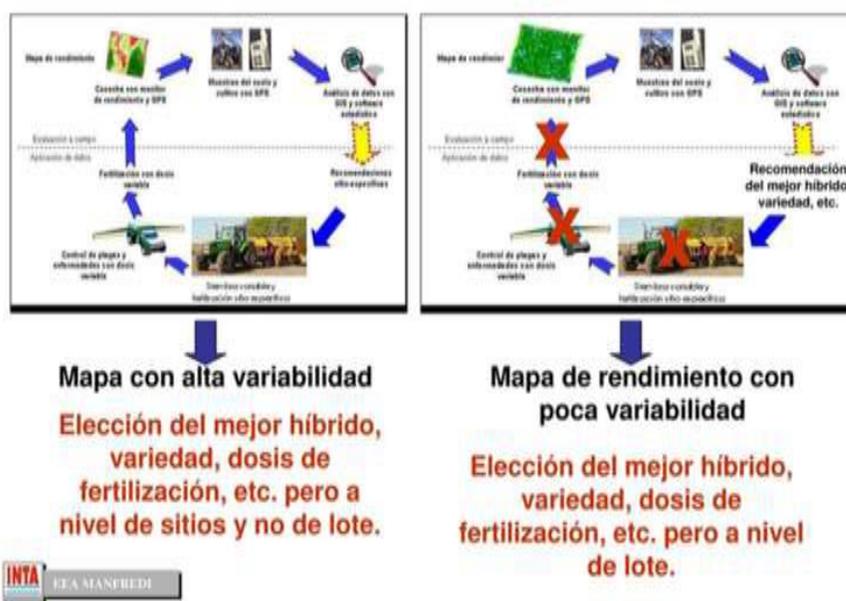


Fig. 2.3 Importancia de la variabilidad. Gutiérrez (2012).

Bongiovanni *et al.*, (2006). La existencia de la variabilidad en campos requiere del uso de tecnología tal como un sistema de posición global (Global Positioning System (GPS), por sus siglas en inglés) y sistema de información geográfica (Geographic Information Systems (GIS), siglas en inglés) para estimar y evaluar dichas variaciones. Menciona que los equipos geo posicionadores están integrados de un sistema de navegación y orientación cuyo funcionamiento es la de procesar y recibir información, la cual proviene de los satélites ubicados a diferentes alturas sobre la superficie terrestre.

2.2.3 Labranza variable

La caracterización de los patrones espaciales de variabilidad es de creciente interés para determinar los niveles de precisión con los cuales pueden predecirse los atributos de suelo a diferentes escalas. La asociación espacial entre estos atributos y rendimiento de cultivos es necesaria en la aplicación de insumos en forma variable o tecnología manejo sitio-específico (MSE). Esta tecnología se fundamenta en la capacidad de reconocer la heterogeneidad dentro del lote de producción y adecuar el uso de insumos para cada unidad reconocida.

Tres tipos de variabilidad han sido identificados. El primer tipo es la variabilidad espacial, la cual puede ser vista como los cambios a través del lote. La segunda variabilidad es la temporal que se refiere a cuando los parámetros cambian a través del tiempo y el tercer tipo es la variabilidad predictiva.

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

En AP existen dos aproximaciones para la aplicación en variables de insumos. La primera de ellas se basa en el muestreo y mapeo de los factores de producción a ser manejados en forma diferencial (fertilidad del suelo, malezas, etc.) y la posterior elaboración de mapas de prescripción para la aplicación variable de los insumos (fertilizantes, herbicidas, etc.). La segunda aproximación es el Sensoriamiento directo del suelo y/o cultivo para la aplicación inmediata de los insumos en forma variable. El uso de una u otra dependerá del nivel tecnológico disponible y del costo de operación involucrado (Ortega y flores, 2008).

CUADRO 2.1 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (adaptado de USDA, 1998)

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

Fuente: Agricultura de precisión: Introducción al manejo del sitio-específico. Departamento de Recursos Naturales y Medio ambiente.

2.2.4 Labranza inteligente

Un sistema inteligente es un medio capaz de almacenar situaciones para lograr un objetivo, con la capacidad de controlar si la última acción realizada fue favorable o no, es decir, cuando un sistema se sale de los parámetros previamente definidos, logra identificarlo y se pueden preestablecer o corregir, en ese momento se dice que es un sistema inteligente.

En la actualidad el uso de sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de posicionamiento global (GPS), así como herramientas de tipo sensor-motriz y herramientas de alto nivel tecnológico constituyen los sistemas inteligentes.

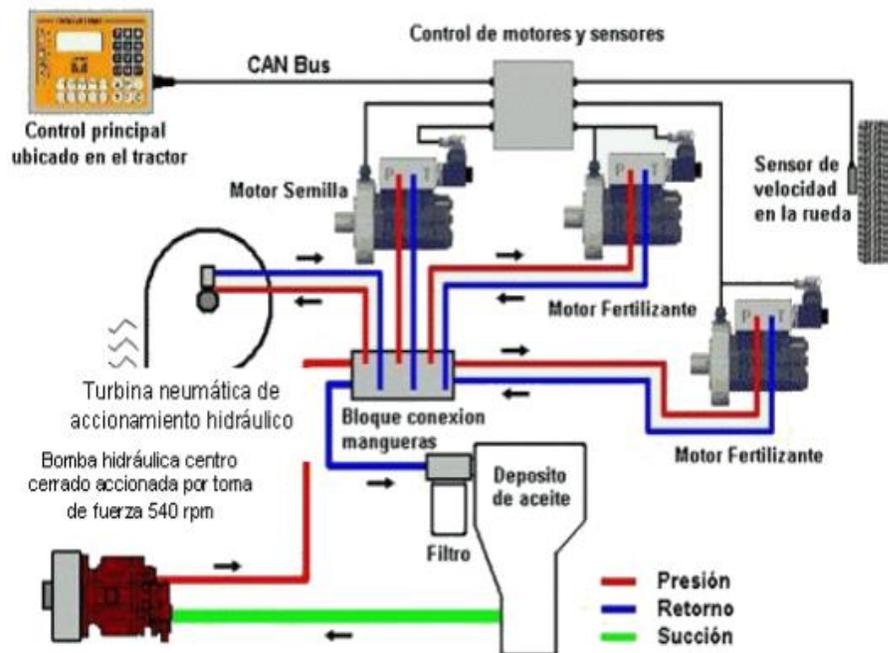


Figura 2.4 Componentes de un sistema inteligente en equipo de siembra. Reynolds (2006).

El funcionamiento de una sembradora neumática, (figura 2.4) responde a las variaciones de diagnóstico agronómico geoposicionado dentro de un sitio específico, respondiendo a prescripciones de diferentes densidades de siembra y dosis de

fertilizante, lo que significa, que una vez cargado el croquis del lote específico con sus coordenadas, se puede establecer en el lote dos o tres sitios específicos y con rendimientos potenciales muy diferentes. Esto es, que una vez cargadas las dos prescripciones, la de semilla y fertilizante para cada sitio y calibrada la sembradora, se posiciona la máquina a través de la señal de un DGPS (Digital Global Positioning Systems), recibirá ambas órdenes por separado, (semilla y fertilizante) por medio de dos navegadores que le enviarán la señal al controlador y a su vez, a los dos actuadores (motores hidráulicos comandados por un sistema eléctrico que accionan válvulas controladoras de giro de los distribuidores de semilla y fertilizante), todo ello posicionado en el lote con un metro de precisión a través de una señal DGPS en tiempo real. Al quedar geoposicionada la sembradora en el lote, lee la prescripción grabada y adapta el giro de los motores hidráulicos para entregar las semillas por hectárea programadas y el fertilizante correspondiente a cada sitio del lote.

Todo el sistema es controlado desde la cabina del operador a través de un monitor, que entrega la información de cada distribuidor por separado, las distancias entre semillas, las semillas por hectárea, la capacidad de trabajo, velocidad de avance y superficie sembrada, Reynolds (2006).

2.3 Mapas de diagnóstico y mapas de prescripción.

La Agricultura de Precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital; consiste en obtener datos georreferenciados de los lotes para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento expresada por los cultivos en los diferentes sitios del mismo. Estos sitios pueden presentar distintos tipos de variabilidad: por topográfica, por génesis de suelo, por distinto tipo de manejo, etc. Mientras más diferencias de potenciales de rendimiento tengan esos sitios, existe mayor posibilidad que la aplicación variable de insumos (fertilizantes, semillas, agroquímicos, etc.) obtenga éxitos en los resultados buscados. La aplicación variable de insumos constituye una de las herramientas de la agricultura de precisión.

Los datos recogidos a través de las diferentes capas de información pueden ser: mapas de rendimiento de cultivos anteriores, fotografía aérea, mapas topográficos, imágenes satelitales, experiencias anteriores del productor o bien mapas de suelo de áreas homogéneas, todo permite definir dentro de un lote sitios con potencialidad de rendimiento muy diferentes, bien definidas. Si el área y las diferencias de rendimiento justifican agronómica y económicamente el tratamiento diferencial de los insumos, se podría comenzar con la siguiente etapa, que consiste en la caracterización de los ambientes y posterior diagnóstico de la aplicación de insumos (semilla y/o fertilizante) en forma variable, estos cambios de dosis y densidades pueden lograrse dado que existen en el mercado navegadores – controladores - actuadores y GPS que posibilitan realizar los cambios de dosis y densidades en tiempo real siguiendo prescripciones o recomendaciones que son cargadas previamente en monitores de máquinas inteligentes. La aplicación variable de insumos siguiendo una prescripción agronómica puede realizarse en forma automática con el uso del GPS o en forma manual por medio de un operario conocedor de la variabilidad espacial del lote, (Bragachini, 2005).

Mapa de Diagnóstico: Para los mapas de diagnóstico se utilizan métodos cartográficos para representar los resultados de la evaluación de los suelos de una determinada región. Se delimitará el área geográfica, recopilación de toda la información existente de la zona. Inventario de recursos (suelo, clima, topografía, vegetación y uso del suelo). Estudio de la interpretación de fotografías aéreas y manejo de mapas.

Mapa de Prescripción: Los mapas de prescripción se obtienen de imágenes aéreas geo-referenciadas del lote, tomadas previamente para reflejar la densidad de malezas real presente en el lote. La clave para describir adecuadamente la variabilidad de las propiedades químicas del suelo que limitan el rendimiento es la obtención de muestras espacialmente dependientes para la interpolación y generación de mapas. A partir de estas imágenes y mediante el uso de un software GIS, se puede generar un mapa que nos permita delimitar las zonas afectadas por

malezas. Los mapas de rendimiento sirven para evaluar si realmente el factor limitante de la producción (nutriente) fue eliminado o si además existen otros factores que impiden la respuesta aplicada. Para un correcto mapeo de rendimiento debe utilizarse un software especializado, (Ibáñez, 2010).

La información que conforman los mapas de prescripciones pueden provenir de muchas fuentes (mapas de producción, sensores del terreno, del cultivo, etc.), imposible de manejar mediante sistemas tradicionales. En este caso son los ordenadores, mediante aplicaciones informáticas especiales denominadas Sistemas de Información Geográfica para Agricultura (AgGIS), los que intervienen. Estas aplicaciones, además de almacenar ordenadamente toda la información, permiten su visualización así como su tratamiento estadístico para el cruce de los distintos datos. La creación de una base de datos de cada parcela es una herramienta fundamental para optimizar la toma de decisiones en un sistema productivo agrícola. Estos datos generan capas de información tales como, propiedades químicas de los suelos, compactación, plagas y enfermedades, humedad, conductividad eléctrica, etc., y posteriormente serán utilizadas para la adecuada interpretación de la variabilidad espacial (dentro de la parcela) y temporal (entre años) de los rendimientos. Algunos de los mapas de variabilidad que se utilizan actualmente en el sector agrícola son: mapas de rendimiento, mapas de vigor del cultivo, mapas de conductividad eléctrica (CE), etc.(Agüera y Pérez 2013).

2.4 Sistemas de posicionamiento global (GPS).

El sistema GPS permite localizar y ubicar en cualquier punto de una explotación, personas y objetos en tiempo real.

La precisión obtenida por el sistema varía ente 5 y 20 metros. La tecnología satelital permite grabar el recorrido del área a calcular, para luego informar en la pantalla del equipo el valor. Entre otras cosas los GPS miden las alturas y la posición (altitud, latitud y longitud) de cada punto de ese recorrido con respecto al nivel del mar.

Algunos modelos tienen incorporados un barómetro que le permite dar un valor de altura más exacto. Estos valores sirven para el trazado de líneas de aguadas, canales, etc. (García y Flego, 2014).

Son necesarios como mínimos, tres puntos del perímetro para realizar el cálculo de área. A medida que se tomen mayor cantidad de puntos referenciales, el error que normalmente tiene este tipo de medición, tiende a disminuir. Ver (figura 2.5).

2.4.1 Composición del sistema.

El sistema de posicionamiento global está compuesto por una red de 24 satélites denominado NAVSTAR, situados en órbita a unos 20.200 km de la tierra y los receptores GPS son los que permiten determinar la posición en cualquier lugar del planeta, de día o de noche y bajo cualquier condición meteorológica.

Los satélites procesan datos que permiten conocer su ubicación exacta y con relación a los otros satélites de la red. Cuando se enciende un receptor GPS portátil y se apunta la antena hacia el cielo, se reciben las señales de los satélites (el receptor GPS no emite ninguna señal, solo las recibe), empezando por las más fuertes, de manera que pueden empezar a calcular la distancia exacta hasta ese satélite, así como saber dónde buscar los demás satélites en el espacio. Una vez que el receptor GPS ha captado la señal de por lo menos tres satélites, entonces puede calcular su propia posición en la tierra. Esa es la información que presenta en la pantalla como longitud y latitud. Si un cuarto satélite es captado, esto proporciona precisión a los cálculos y se muestra también la altitud calculada en la pantalla. (García y Flego, 2014).

2.5 Sistemas de información geográfica (SIG).

El SIG es un sistema de manejo de información que puede: recolectar, almacenar y obtener información basada en su localización espacial. Identificar lugares en un determinado entorno geográfico que cumpla con un criterio de selección específica.

Explorar relaciones entre grupos de datos en un entorno geográfico previamente definido. Analizar la información espacial relacionada a un entorno geográfico como ayuda a la toma de decisiones. Facilitar la selección y traspaso de información a modelos analíticos capaces de evaluar los impactos que originarían la elección de una u otra alternativa en un entorno geográfico previamente definido. Permitir la visualización gráfica y numérica del entorno geográfico definido ya sea antes o después del análisis.

Un sistema de información Geográfica (GIS) es en realidad un programa de ordenador pensado para almacenar, recuperar, analizar y mostrar datos cartográficos. En GIS, los datos acerca de la superficie de la tierra no se representan como un dibujo, como sucede con los mapas convencionales, sino como información o datos. Estos datos de GIS contienen toda la información espacial de un mapa convencional, pero con la ventaja de ser mucho más flexible a la hora de representarlos, permitiendo además la obtención de nuevos mapas a partir de datos ya existentes, Carmona (2008).

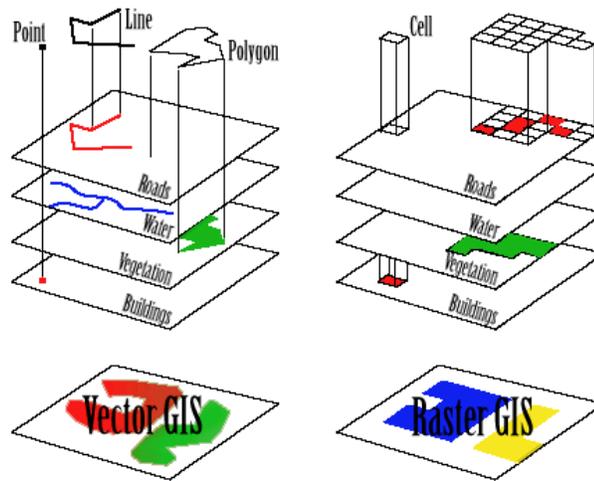


Fig. 2.5 Resultados después de un rastreo satelital. Catastro, cartografía y SIGS (Sep, 2009)

El mayor logro de GIS es que todos los datos espaciales se almacenan de forma estructurada, en una base de datos espacial. La propia estructura de esta base de datos determinará la sencillez en el manejo del programa.

GIS utiliza dos modos de representación de los datos: **modo vector y modo rastreo**. En el modo vector se considera que todas las características de la superficie de la tierra se pueden interpretar como un punto, línea o polígono. Cada característica almacenada en la base de datos de GIS debe estar especificada por su localización en la superficie de la tierra, y mantener relación espacial con el resto de características que le rodean. Este modo se refiere en aplicaciones urbanas. El modo rastreo es el preferido a la hora de trabajar con imágenes digitalizadas, datos remotos y análisis estadístico. En este modo se almacenan los datos en celdas (o píxeles), determinados según una rejilla, generalizado así la localización de características a una matriz regular de celdas.

Por otro lado, los datos en GIS suelen almacenarse en diferentes capas, cada una de las cuales tiene una característica topográfica particular. Es decir, habrá una capa para los ríos, otra para vegetación, para asentamientos humanos, facilitando el acceso a datos concretos. Aparte de los modos de almacenamiento de los datos, en

GIS también puede incluirse información no espacial, relacionada con cada punto o zona del mapa.

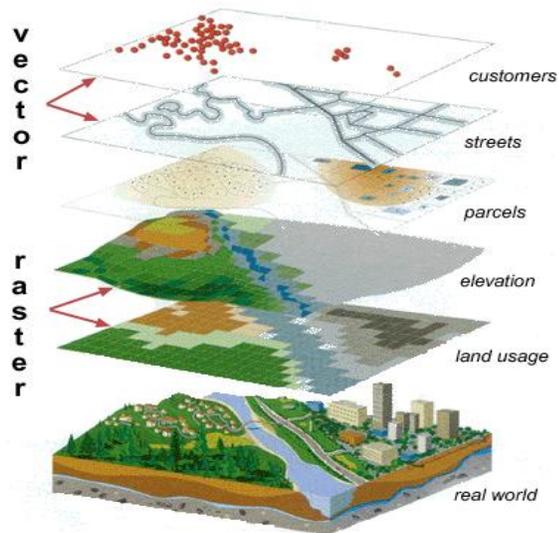


Fig.2.6 Generación de capas en GIS. Catastro, cartografía y SIGS (Sep., 2009)

Hasta ahora se ha mencionado el uso de GPS en la agricultura, pero por sí solo, no constituye a la Agricultura de Precisión. Se requiere de un sistema que permita el acceso a toda esa información recopilada de modo organizado, el manejo de los datos y análisis de los mismos, facilitando su interpretación y la toma de decisiones. Aquí es donde cobra importancia el papel de GIS, debido a todas sus características previamente mencionadas. Así a medida que la agricultura de precisión se expande, GIS se expande con ella. Ver figuras (2.5 y 2.6).

2.6 Uso procesadores y controladores

Tratándose del procesamiento de las señales, podemos ingresarlas a través de tres formas.

- Impulsos electrónicos;
- Señales análogas(que son convertidas en digitales), y
- Señales digitales (de llamados “sensores inteligentes”)

Los procesadores son dispositivos que comandan las decisiones de variación de dosis de aplicación de la máquina. Los microprocesadores leen los datos de entrada de los sensores existentes (por ejemplo, velocidad), datos de entrada del usuario (por ejemplo, ancho de distribución), y calculan la dosis de aplicación basado en un algoritmo que contiene los parámetros de exigencia (kg/ha, l/ha y otros). Un algoritmo es una secuencia de procedimientos y cálculos que relaciona los datos de entrada (de sensores, mapas y entradas vía consola) con salidas en forma de tensión de corriente eléctricas, o impulsos eléctricos, que controlan bombas responsables del caudal de producto, flujo de aire de transporte de material o válvulas que abren o interrumpen la salida de producto que está siendo aplicado. Muchos controladores ejecutan tantas funciones y poseen tantos componentes como las computadoras personales. Los microprocesadores poseen memoria para almacenaje de datos e instrucciones, puertos para comunicación serial ó paralela y una interface de comunicación visual (pantalla, teclado y otras). Muchos controladores usan la puerta serial (en general con protocolo de comunicación patrón RS-232), para comunicación con computadoras y/o tarjeta (PCMCIA) para recibir datos de entrada y mapas de aplicación de insumos. Otros controladores, a su vez, sólo permiten la operación manual, por medio de teclas de mando para modificar los valores de dosis de aplicación, (Silva y Borges 1998).

2.6.1 Control.

Las computadoras que contienen los procesadores suelen ser controlados por un teclado común, con teclas móviles. Este dispositivo es más conocido y preferido. Posee más sensibilidad, pero permite más errores de digitación. Es la interface más reciente y moderna, pero no siempre el operador esta con los dedos limpios, esto induce a errores de digitación, y dificultades de lectura en la región de toque sobre la pantalla. (Silva y Borges 1998).

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



Fig.2.7 Funciones de la pantalla de FMX. (AGROLASER NIVEL S.L., 2014)

Pantalla CFX-750: Es útil para monitorear y registrar información del lote para las aplicaciones de cultivos de cereales y cultivos en surco en tiempo real, es compatible con varias constelaciones de satélites y niveles de precisión por lo que es ideal para prácticamente cualquier lugar, tipo de cultivo, forma del campo o tipo de suelo. Trimble incrementa las posibilidades del GPS con otras tecnologías de posicionamiento; así como, también con comunicaciones inalámbricas y software para crear soluciones completas para el cliente.

2.6.2 Funcionabilidad.

John Deere ha trabajado con la Agricultura de Precisión utilizando los monitores que son necesarios para ejecutar las aplicaciones de la AP, por eso resulta tan importantes: Monitor GS2 GreenStar™ 1800, para una flexibilidad sobresaliente, un guiado eficaz, vistas realistas del lote y control de aperos ISOBUS. Al estar diseñado a la medida para el conjunto de guiado automático John Deere AutoTrac Universal 200 (ATU), permite alternar entre diversos menús, uno para controlar más de una actividad de trabajo. Proporciona el control de todas las aplicaciones de guiado adicionales como Parallel Tracking o AutoTrac. El monitor GreenStar 1800 es compatible con el sistema de control de aperos ISOBUS y el sistema Sprayer Pro. Monitor GS3 GreenStar™ 2630: Proporciona el control total de todas las soluciones utilizadas en los tractores, enfardadoras, cosechadoras o pulverizadores John Deere.

Desde documentación y control de rendimiento a guiado y avanzadas capacidades ISOBUS, el monitor GreenStar 2630 define nuevas fronteras en facilidad y comodidad de manejo y eficacia de trabajo.

Receptores y señales de John Deere: Con la tecnología de guiado de John Deere usted puede aumentar la precisión cuando quiera paso a paso, con independencia del equipo que utilice. Es muy sencillo. Con los receptores StarFire se puede escoger entre 3 niveles de precisión, ajustando el rendimiento del sistema a sus necesidades: Receptor StarFire™ 3000: Recibe las señales de los satélites del sistema de

posicionamiento global GPS y dispone de capacidad para utilizar las señales de la red de satélites rusos GLONASS, similares al sistema GPS. Esto mantiene el rendimiento de guiado, incluso en condiciones de mala recepción o de pérdida de señal por diversas circunstancias. Adicionalmente, este receptor está diseñado para captar satélites situados a una altura en el horizonte de tan solo 2 grados. Gracias a esta mayor capacidad de captación, el StarFire 3000 proporciona una posición más fiable, Deere & Company (2014).

2.6.3 Sistema Ag GPS Field Level.

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

Toda la operación es realizada mediante un sistema GPS a tiempo real (RTK) Real Time Kinematic, (por sus siglas en inglés) y controlada a través de una computadora de campo AgGPS 170, que muestra continuamente la elevación de la máquina. La computadora de campo AgGPS® 170 que maneja el software Ag GPS FieldManager almacena la información recolectada del GPS y datos de nivel mientras mapea el área que necesita nivelar. Cuando el área ha sido mapeada, la información es exportada al software de diseño AgGPS Multiplane de Trimble.

El software AgGPS MultiPlane le ayudara a diseñar pendientes múltiples para mejorar el drenaje de su campo. Utilizando la información topográfica recolectada por el AgGPS 170 (ya sea de un receptor AgGPS o un láser), el AgGPS MultiPlane construye un modelo de la superficie. Con este modelo se puede diseñar un plan de nivelación con drenaje adecuado, para mejorar la producción. Cuando se esté nivelando el campo, el sistema AgGPS FieldLevel controlará automáticamente la

cuchilla de la pala de arrastre o palón en base a la posición del tractor, mostrando continuamente la desviación entre la cota actual de la máquina y la de proyecto, y corrigiéndola para mover la tierra según el diseño del MultiPlane.

En suma, el sistema Ag GPS Field Level de Trimble proporciona una verdadera tecnología 3D para el mercado de agricultura. Los productores y contratistas tienen así mayor capacidad de nivelar superficies automáticamente, eliminando el repaso y reduciendo notoriamente los tiempos de trabajo, Agroads, 2014).

2.7 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 llevarán 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.

2.8 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.

2.8.1 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/cm².

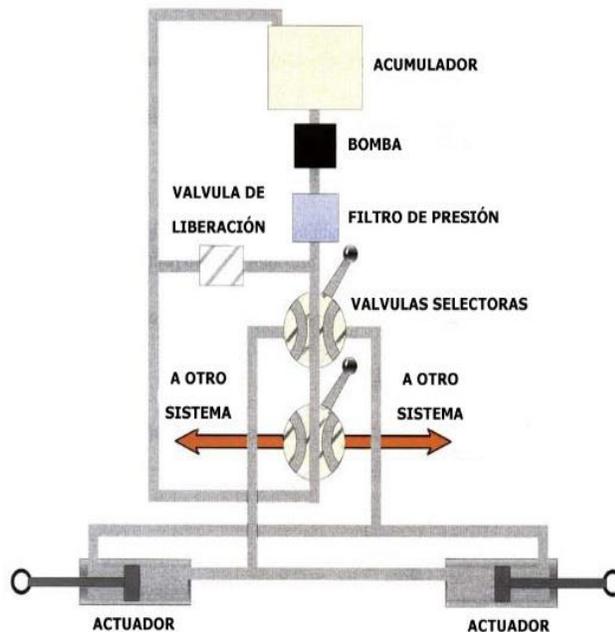


Fig.2.8 Esquema sistema hidráulico centro abierto. (Más que máquinas., abril de 2013).

- 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. (García 2010).

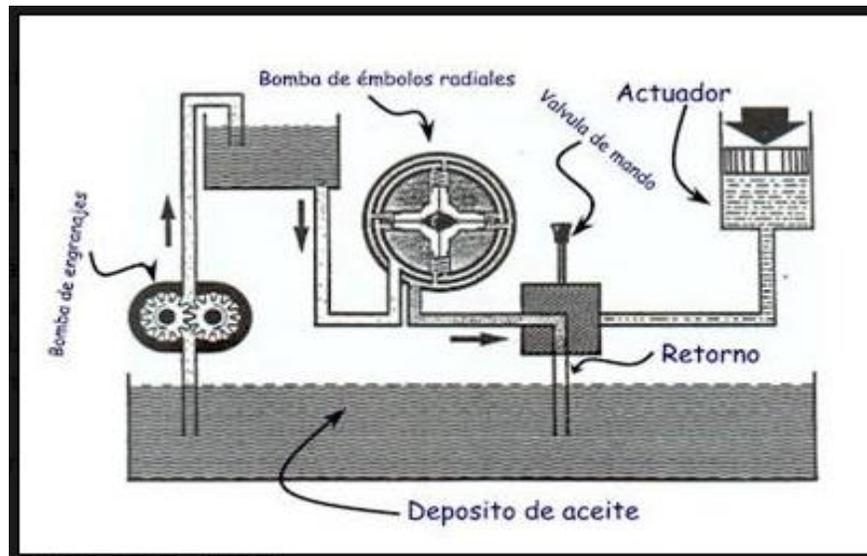


Fig.2.9 Esquema sistema hidráulico centro cerrado. (Más que máquinas., abril de 2013).

2.8.2 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, Delgado (2014).

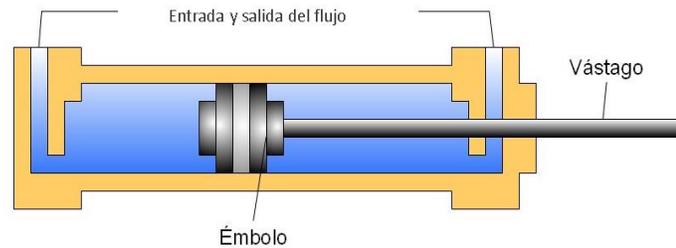


Fig. 2.10 Actuador hidráulico de doble efecto. (Unidad didáctica neumática e hidráulica)

2.8.3 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.

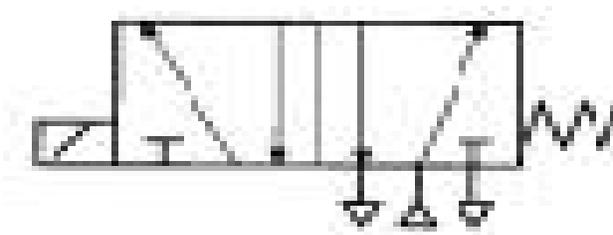


Fig. 2.11 Válvulas proporcionales, permiten regular el caudal que pasan a través de ellas. (Conceptos básicos de Neumática e Hidráulica).

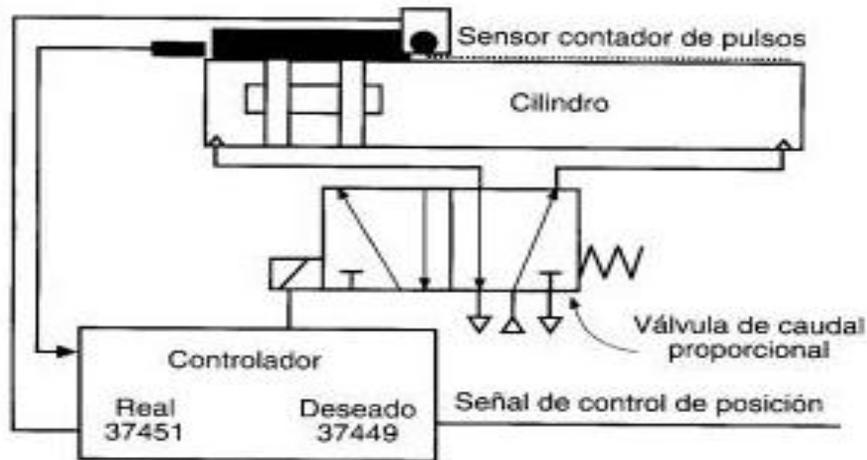


Fig. 2.12 Control de lazo cerrado con válvulas proporcionales por medio de un dispositivo de procesamiento se puede ubicar un actuador en un punto muy preciso. (Conceptos básicos de Neumática e Hidráulica).

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.

2.8.4 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, Sapiensman (2014).



Fig. 2.13 Electrovalvula de doble solenoide. Conceptos básicos de Neumática e Hidráulica).

2.9 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 contruidos basándose en los segundos. Los PLC 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. El control de un electrodoméstico sencillo como una batidora, utilizará un procesador muy pequeño (4 u 8 bits) por que sustituirá a un autómata (que siempre está realizando un mismo proceso) finito. En cambio un reproductor de música y/o vídeo digital (mp3 o mp4) requerirá de un procesador de 32 bit o de 64 bit y de uno o más Códec de señal digital (audio y/o vídeo).

El control de un sistema de frenos ABS (Antiblock Brake System) se basa normalmente en un microcontrolador de 16 bit, al igual que el sistema de control electrónico del motor en un automóvil.(Universidad del valle de México, 2010).

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 asigno. (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
- (eventualmente) condicionamiento de señal.

2.10.1 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 & Borges, 1998).

2.10.2 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 ultrasónico LV-MaxSonar-EZ1 es un buen compromiso entre la sensibilidad y el rechazo de objetos secundarios. El sensor tiene integrado el receptor y transmisor en una sola capsula. Puede detectar distancias desde 15cm a 6m. Ofrece señales de salida: analógica, digital por pulsos y de comunicación serial TTL. (Vilas, 2104)

2.10.3 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, Quijada (2014).

2.10.4 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.

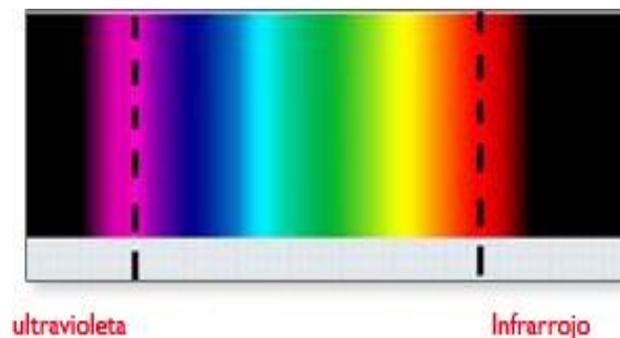


Fig. 2.14 Barreras de infrarrojos, (Sorhea: Funcionamiento de tecnología infrarroja).

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, SORHEA (2011).

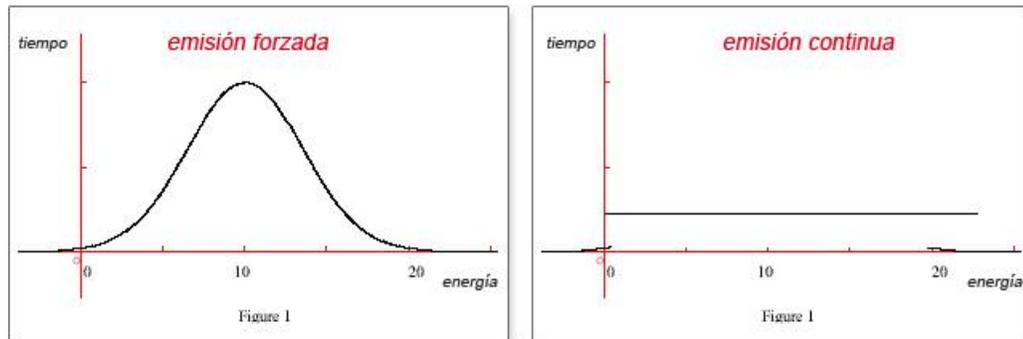


Fig. 2.15 Comparación de la energía de un haz forzado y de un haz continuo, (Sorhea: Funcionamiento de tecnología infrarroja).

2.11 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.

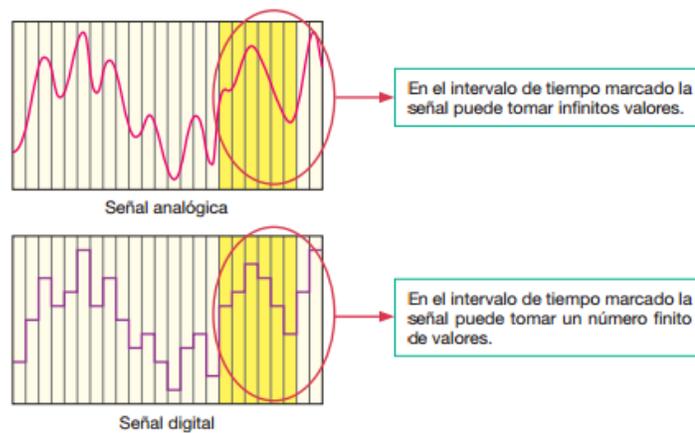


Fig. 2.16 Comparación gráfica de una señal analógica y una señal digital.

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. (Rene, 2014).

2.11.1 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 inglesas "not" y "or". El símbolo correspondiente es un símbolo OR con una salida invertida, o con círculo de inversión.

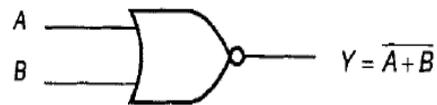


Fig.2.17 Símbolo lógico de la compuerta NOR.(Compuertas lógicas y algebra de boolee).

El cuadro 2.2 hace referencia a la tabla de la verdad para la compuerta NOR. Nótese que la salida de ésta compuerta es el complemento de la salida de una compuerta OR. El símbolo describe la operación de la compuerta, puesto que las entradas no tienen círculo de inversión pero la salida si, la lectura del símbolo es "entra 1 OR 1, sale 0". Lo anterior está descrito por las tres últimas líneas de la tabla de la verdad. (Bignell Y Dovanan ., 1997).

Cuadro 2.2Tabla de la verdad de una compuerta NOR de dos entradas, Algebra de bolee, leyes y teoremas, (Mayo 2014).

| A | B | X=A+B |
|---|---|-------|
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales, equipo e instrumentos empleados.

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

1. Módulo de adquisición de datos Daq-Book 2000 de la empresa Iotech. Este módulo es integrado por seis voltajes diferenciales, con una ganancia de 0.01 – 10 V y con una velocidad de muestreo de 25 – 625 E3 muestras por segundo. Con 16 canales analógicos y ocho canales digitales con rangos de ganancias en micro deformaciones de 100 a 10 K. Este sistema permite almacenar en forma instantánea los datos en el disco duro del ordenador y permite ver la respuesta de los canales en pantalla durante el proceso. Los datos obtenidos durante el proceso son posteriormente analizados con los paquetes de Excel y Minitab.
2. Un amplificador – acondicionador (DBK – 43A) con módulos de 8 canales, con ganancia de $10 \times 1250 \times (\epsilon)$, fabricado por Iotech, usado para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje, para así poder enviarla a un convertidor analógico - digital. Este además, provee el voltaje de excitación al transductor en un rango de 1 - 10 V y 100 mA.
3. Sensor ultrasónico LV-MaxSonar-EZ1. Son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias de hasta 8m. El sensor emite impulsos ultrasónicos.
4. Pantalla FMX de la empresa Trimble. Es un sistema de control que fue utilizado para el geoposicionamiento de la variable en el sitio y como dispositivo de control para las prescripciones de profundidad de trabajo.
5. Antena y señal RTK: Es la estación base para conseguir una operación confiable y precisa de hasta 2.5 cm.
6. Computadora de escritorio (marca Dell con un procesador Genuine Intel, una memoria RAM de 512 MB, con una capacidad en el disco duro de 34.1 GB).

7. Software estadístico Minitab versión 16 para la obtención de gráficas de línea ajustada y ecuaciones de calibración, análisis de regresión y análisis de varianza.
8. Software de diseño SolidWorks 2013. Es un software que nos ayuda a diseñar piezas y prototipos en 2D y 3D.
9. Software MPLAB-IDE versión 8.10. Es un programa que se ejecuta sobre un PC para desarrollar aplicaciones para microcontroladores de MICROCHIP.
10. Software de diseño Ares Proteus, es una compilación de programas de diseño y simulación electrónica
11. Prototipo articulado de arado de cinceles para la aplicación de laboreo variable.
12. Válvula electrohidráulica proporcional Danfoss. Válvulas que regulan la presión y el caudal por medio de impulsos mediante una señal eléctrica y su principal aplicación es el control de posición.
13. Actuadores Hidráulicos con diámetro de cilindro de 0.037 m. Transforman la energía hidráulica en energía mecánica.
14. Tractor John Deere serie 6403, con una presión de hidráulico de 19.5 MPa.

3.2 Metodología.

3.2.1 Localización del sitio de trabajo.

El presente trabajo de investigación se realizó en el campo experimental Humberto Treviño Siller (figura 3.1); de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el cual se encuentra ubicada en el municipio de Galeana Nuevo León, en las coordenadas $100^{\circ}37'31.39''$ longitud oeste y $25^{\circ}2'19.60''$ latitud norte, a una altura 1884msnm.



Fig. 3.1 Localización del Rancho Experimental Navidad.

3.3 Acondicionamiento del equipo de labranza inteligente.

Se llevó a cabo la integración de los componentes para la manipulación automática de un prototipo articulado de cinceles, utilizando un sistema electrohidráulico, un controlador y prescripciones establecidas; en la figura (3.2) se muestra la integración del sistema.

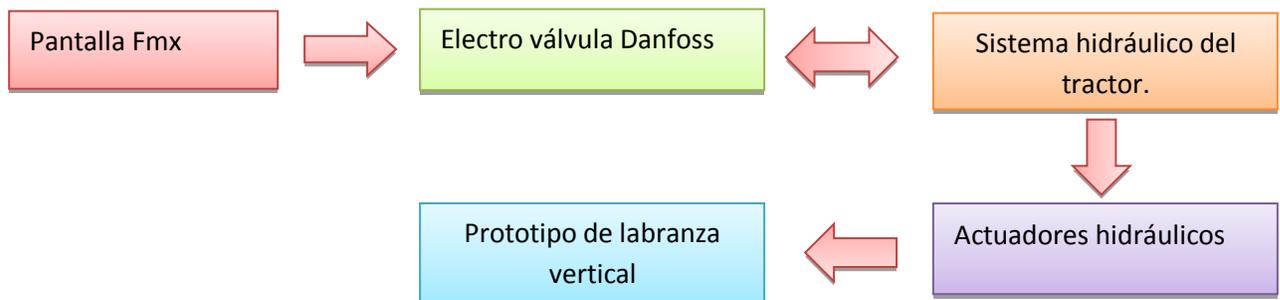


Fig.3.2 Acoplamiento de componentes del sistema.

3.4 Verificación del sistema paralelogramo y actuadores hidráulicos del bastidor del equipo de labranza inteligente.

Para la nivelación del equipo, fue necesario que la parte articulada estuviera posicionada paralela a la parte frontal o fija del mismo. Para conseguir la nivelación del equipo se le recortó la carrera de los actuadores haciéndole cuerda al vástago con el fin de poder ajustarlos uno respecto al otro y con ello conseguir la uniformidad, en la (figura 3.3) se observa el equipo nivelado.



Fig.3.3 Prototipo de labranza inteligente nivelado.

3.5 Evaluación del tiempo de respuesta de la válvula electrohidráulica Danfoss respecto a la pantalla FMX.

Para la evaluación de la válvula electrohidráulica Danfoss con la pantalla FMX, se emplearon los siguientes elementos, antena RTK, tractor John Deere 6403 y el prototipo de labranza inteligente (Figura 3.4).

Se contempló el tiempo de respuesta de la válvula electrohidráulica midiendo diferentes parámetros en función de las rpm del tractor: la frecuencia de los pulsos enviados por la pantalla FMX, la distancia recorrida y el error de respuesta para bajar y subir el marco trasero del prototipo en forma automática. Se realizaron 10

repeticiones a diferentes rpm 1700, 1800, 1900 y 2000, para alcanzar un desplazamiento (altura) de 50 mm. Para esto, se tomó el tiempo requerido en alcanzar dicha altura y el número de pulsos, así mismo, se registraron los satélites detectados por la pantalla FMX, al momento de la evaluación (Sánchez, 2013).

Se obtuvo el análisis de varianza para los tiempos de respuesta, número de pulsos y recorrido total utilizando el paquete tecnológico de diseños Minitab, v16.



Fig. 3.4 Evaluación de los tiempos de repuesta y distancia recorrida de la válvula electrohidráulica.

3.6 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 combinación de resistencias, capacitores cerámicos y electrolíticos. Para verificar el circuito se construyó y simuló en el programa Proteus (Ares e Isis).

3.6.1 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 3.5) se muestra el diagrama de conexión del amplificación AD620, para todas las especificaciones del diagrama. Ir al anexo B.

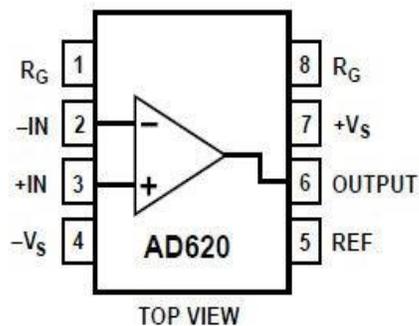


Fig. 3.5 Diagrama de amplificador AD620.(Ruiz, 2014).

3.7 Evaluación y calibración sensor de distancia (Sonar).

Para la obtención de la altura real a la que se desplaza el marco frontal respecto a la parte articulada del implemento, fue necesario un sensor de medición, para el cual se utilizó el sensor de 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 a las cuales se ajustó el Daq-Book fue de 500 datos, 20 Hz para un total de 4,000 datos por repetición. Se realizaron cinco repeticiones que van de 0.0 a 0.40m; con intervalos de 0.05m, para generar la ecuación de calibración del sensor, graficando los datos generados por el Daq-Book 2000 en el programa

Excel y tomando 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 v16 y graficados para la generación de la constante de calibración. (Salas, 2013).

3.8 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 ha 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 mV corresponde a la distancia a la que se aleja o se acerca el sensor aplicados cada 500 datos. Los mV 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 fija respecto a la parte articulada del equipo. 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 $C=28.04mV \cdot mm^{-1}$ del sensor y con ello permite observar la altura real a la que se desplazó la parte articulada.



Fig. 3.6 Evaluación del sensor bajo condiciones de campo.

3.9 Generación de guía rápida de uso y operación de la válvula proporcional manipulada con el controlador Fmx.

Para la operación automática del implemento por medio del controlador FMX y la válvula proporcional, se desarrolló una secuencia lógica de instrucciones para la manipulación de la posición vertical o profundidad de trabajo. Por medio de prescripciones establecidas en el controlador FMX y recibidas por la válvula proporcional, se simuló laboreo variable. Para estas pruebas se utilizó una prescripción de 0.05m por encima y por debajo del punto de referencia. La parte frontal o fija del prototipo fue posicionada de forma paralela a la parte articulada para nivelar ambas secciones.

3.10 Propuesta del sensor de posición.

Se diseñó un mecanismo de cuatro barras para que exista un movimiento continuo de las barras en el cual el sensor digital se desplazará en forma párela a los cinceles, dicho movimiento será generado por el sistema tipo paralelogramo. Este sistema ejecutará tres posiciones de profundidad de laboreo 0.20, 0.30, 0.40m, mediante el uso de un microcontrolador PIC16F84A y el software de posición. Ver Anexo E.

La evaluación del sensor digital se realizó mediante el uso de un sensor optoelectrónico, dicho sensor emite a través de un (LED) una fuente de luz que es captada por un (fototransistor). Se simuló la señal de los sensores en un protoboard y con ello se determinó la máxima distancia de sensado. Para simular el funcionamiento del circuito, se necesita un fototransistor, un diodo transparente emisor de luz infrarrojo de 5 mm, resistencia de 320Ω , un indicador (Led), una fuente de alimentación de 5V. Una vez armado el circuito en el protoboard se realizaron pruebas de funcionamiento; la prueba consistió en acercar y alejar el diodo del fototransistor en un rango de 5mm a 95mm.

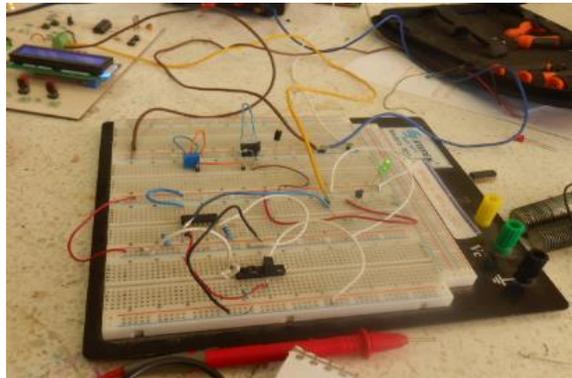


Fig.3.7 Simulación física de sensor digital.

3.10.1 Verificación de la Compuerta NOR.

En la (figura 3.8), se muestra el esquema de conexión de la compuerta, se utilizó una de cuatro disponibles en el Integrado HDS74LS02. Los extremos **a** y **b** de cada compuerta son las entradas que deberán llevar un (1) lógico, que va conectado a la señal de entrada y requiere un voltaje de (+5V) o un (0) lógico (tierra) que va conectada a la señal de salida, el resultado en la salidas de la compuerta se ve reflejado en el led. El led encendido es generado por (1 lógico) y led apagado (0 lógico). Las conexiones de las terminales de alimentación son el pin 7 a tierra (GND en el esquema) y el pin 14 a +5V (Vcc en el esquema).

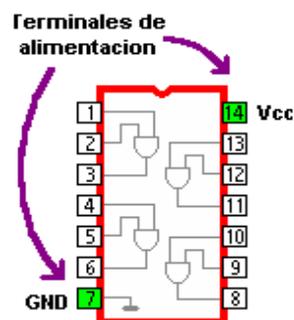


Fig.3.8 Esquema de conexiones de la compuerta (Proyectos electrónicos.com).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diagrama del equipo articulado.

El prototipo de labranza vertical articulado está integrado por los elementos mostrados en el cuadro y figura (4.1). El equipo de labranza vertical fue diseñado para la aplicación diferenciada de energía de laboreo basado en el principio de profundidad crítica y empleando hasta seis cuerpos de cinceles, de los cuales existen arreglos de dos y cuatro cinceles frontales trabajando a una profundidad fija de 0.20m y cinceles profundos en arreglos de uno y dos cinceles los cuales operan a profundidades variables en tres posiciones 0.20, 0.30 y 0.40m. La profundidad de trabajo de la barra posterior o articulada es controlada por dos actuadores hidráulicos con una carrera de 0.19m. La posición de los actuadores es establecida automáticamente por una señal eléctrica emitida por el controlador FMX hacia la válvula proporcional o de forma manual, operando directamente la válvula mencionada.

Las prescripciones de profundidad de trabajo estarán dadas por los mapas de diagnóstico de capas compactadas, los cuales indican la profundidad de laboreo que deberán aplicar los cinceles.

Este equipo de labranza vertical inteligente, se encontrará complementado a mediano plazo con un sistema de control de profundidad variable manipulado satelitalmente empleando las facilidades de la pantalla del controlador FMX de la compañía Trimble.

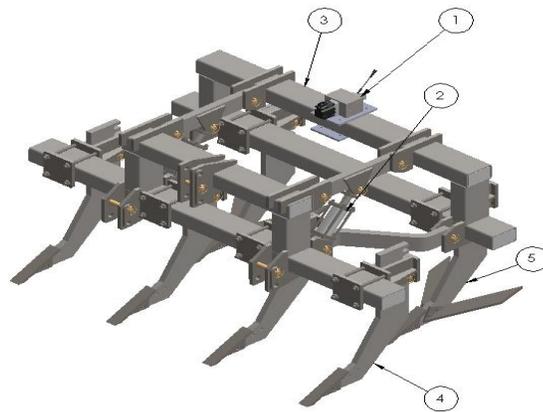


Fig.4.1 Equipo de labranza vertical.

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]. Diámetro del cilindro 34.87176 |
| 2 | Actuadores hidráulicos | 2 | 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 |

4.2 Acondicionamiento del sistema de paralelogramo y actuadores hidráulicos del bastidor del equipo de labranza inteligente.

Se redimensionó el tamaño de los cilindros recortando y ajustando la carrera del pistón a 0.19m, para obtenerla proporción más adecuada entre el bastidor fijo (1) y la sección articulada (2).

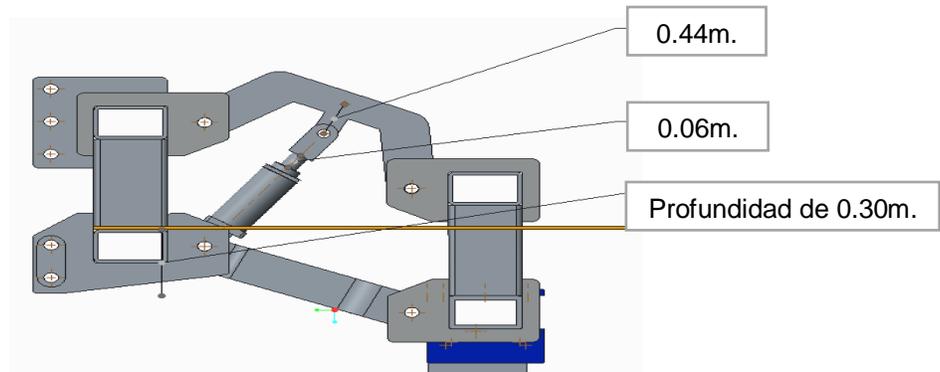


Fig. 4.2 Componentes de las barras del equipo de labranza inteligente mostrando la sección fija y la sección articulada.

La posición requerida de acuerdo a las características del sistema, fue del 50% de la distancia entre los ejes del paralelogramo y con ello se obtuvo una carrera de trabajo de los cilindros de 0.19m, lo que permitió un desplazamiento por encima de la referencia (posición paralela entre la parte fija y articulada) de 0.24m y por debajo de la referencia de 0.11m. Dicho cambio, permite operar la profundidad de laboreo de la parte articulada en un rango de 0.20 a 0.40 m (figura 4.3).

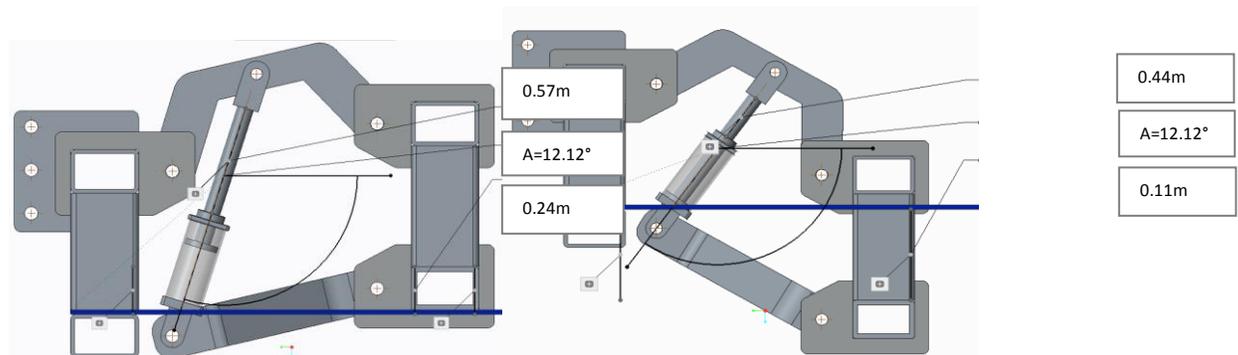


Fig. 4.3 Acondicionamiento del sistema de paralelogramo y actuadores hidráulicos.

4.3Tiempo de respuesta de la válvula a una prescripción de 50 mm de desplazamiento de los actuadores y diferentes (rpm) del tractor.

El cuadro (4.2) muestra los tiempos de respuesta del controlador FMX para una calibración de desplazamiento de los cinceles a diferentes rpm del tractor. El análisis de varianza del cuadro (4.3) muestra una media del tiempo de 23.3 segundos con un coeficiente de variación de 19.7 %. Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre los tiempos de respuesta a diferentes revoluciones del motor del tractor.

Cuadro 4.2 Tiempo de respuesta en 50 mm de desplazamiento de los actuadores, usando la válvula proporcional. Manipulada por el controlador FMX a diferentes (rpm) del tractor.

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

Cuadro 4.3 Análisis de varianza de los tiempos de respuesta de la válvula a diferentes (rpm) del tractor.

| Análisis de varianza | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------|
| FV | GL | SC | CM | F | F 0.05 |
| Tratamientos | 7 | 53.73 | 7.67 | 0.36 | 2.36 |
| Bloques | 9 | 82.70 | 9.18 | 0.43 | |
| Error | 63 | 1,33 | 21.19 | | |
| Total | 79 | 1471.90 | | | |
| Media=23.26 Segundos | | | | | |
| C.V= 19.71 % | | | | | |



Fig. 4.4 Prototipo de labranza inteligente con válvula electrohidráulica.

En la figura 4.4 se muestra una vista panorámica del acoplamiento de la válvula proporcional en el prototipo articulado de arado de cinceles, en la que se evaluaron los tiempos de respuesta de la válvula a una prescripción emitida por el controlador.

El cuadro (4.4) muestra el total de pulsos de respuesta del controlador FMX para una calibración de desplazamiento de los cinceles a 50 mm de altura por encima y por debajo de la referencia a cuatro diferentes rpm del tractor.

El análisis de varianza del cuadro (4.5) muestra una media de pulsos de 22.2 con un coeficiente de variación de 22.35 %. Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre el número de pulsos de respuesta a diferentes revoluciones del motor del tractor.

Cuadro 4.4 Número de pulsos contabilizados para alcanzar 50 mm de altura enviados por la válvula proporcional manipulada con el FMX y con diferentes (RPM) del tractor.

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

Cuadro 4.5 Análisis de varianza de los números de pulsos de respuesta de la válvula Danfoss con el controlador Fmx.

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

Media= 22.2 pulsos

C.V= 22.35 %



Fig. 4.5 Prototipo de labranza inteligente para la medición de pulsos arrojados y distancia recorrida por los actuadores hidráulicos.

En la figura (4.5). Se muestra un esquema de evaluación de los pulsos de respuesta de la válvula y desplazamiento de la parte articulada a una prescripción emitida por el controlador.

El cuadro (4.6) muestra el recorrido total de respuesta de desplazamiento de los cinceles para una calibración de 50 mm de altura por encima y por debajo de la referencia a cuatro diferentes rpm del tractor. El análisis de varianza muestra una media de desplazamiento de 41.45 mm con un coeficiente de variación de 10.43 %. El análisis de varianza del cuadro (4.7) indica que no existen diferencias significativas entre el desplazamiento a diferentes revoluciones del motor del tractor.

Cuadro 4.6 Respuesta del desplazamiento a una altura de 50mm. De la válvula proporcional con diferentes (RPM) del tractor.

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

Cuadro 4.7 Análisis de varianza para el desplazamiento a una prescripción de 50 mm por encima y por debajo de la referencia emitida por el controlador FMX a diferentes rpm del tractor.

| Análisis de varianza | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|------|--------|
| FV | GL | SC | CM | F | F 0.05 |
| Tratamientos | 7 | 13.59 | 1.94 | 0.10 | 2.36 |
| Bloques | 9 | 207.54 | 23.06 | 1.23 | |
| Error | 63 | 1176.65 | 18.67 | | |
| Total | 79 | 1397.79 | | | |
| Media=41.45 mm recorrido | | | | | |
| C.V= 10.43 % | | | | | |

4.4 Descripción del sistema de medición de profundidad de laboreo.

En la figura (4.6) se muestra el esquema de conexión del equipo de adquisición de datos Daq-book 2000. Este sistema permite almacenar en forma instantánea los datos y visualizar la respuesta del sensor en la pantalla durante el proceso de profundidad de laboreo tipo LV-MaxSonar-EZ1.

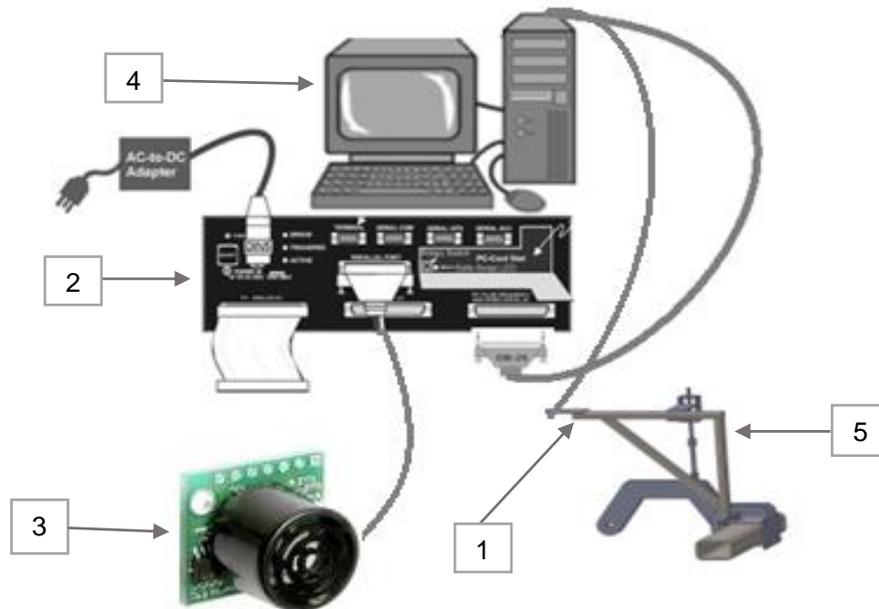


Fig.4.6 Conexión del equipo de monitorio de profundidad de laboreo.

Cuadro 4.8 Componentes del equipo de medición y registro de profundidad de laboreo propuesto.

| Elementos | Descripción | Cantidad | Especificaciones |
|-----------|---------------------------|----------|--|
| 1 | Sensor de distancia Sonar | 1 | LV-MaxSonar-EZ1. Distancia max.15cm a 6m. Señales de salida: analógica, digital. |
| 2 | Daq-book 2000 | 1 | Está integrado por seis voltajes diferenciales, con una ganancia de 0.01 – 10 V y con una velocidad de muestreo de 25 – 625 E3 muestras por segundo. Con 16 canales analógicos y ocho canales digitales. |
| 3 | Sensor de tipo digital | | Con mecanismo tipo biela manivela y corredera con sensores opto electrónicos en número binarios. |
| 4 | Computadora | 1 | |
| 5 | Bastidor | 1 | |

Elaboración propia del esquema de los componentes del equipo.

Departamento de maquinaria agrícola., Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

4.5 Calibración del sensor de Distancia (Sonar).

Se realizaron cinco repeticiones que van de 0.0 a 0.40m; con intervalos de 0.05m para generar la ecuación de calibración del sensor, graficando los datos generados por el Daq-Book 2000 en el programa Excel y tomando como referencia los puntos medios de cada escalón de la gráfica generada. Véase en la (figura 4.7).

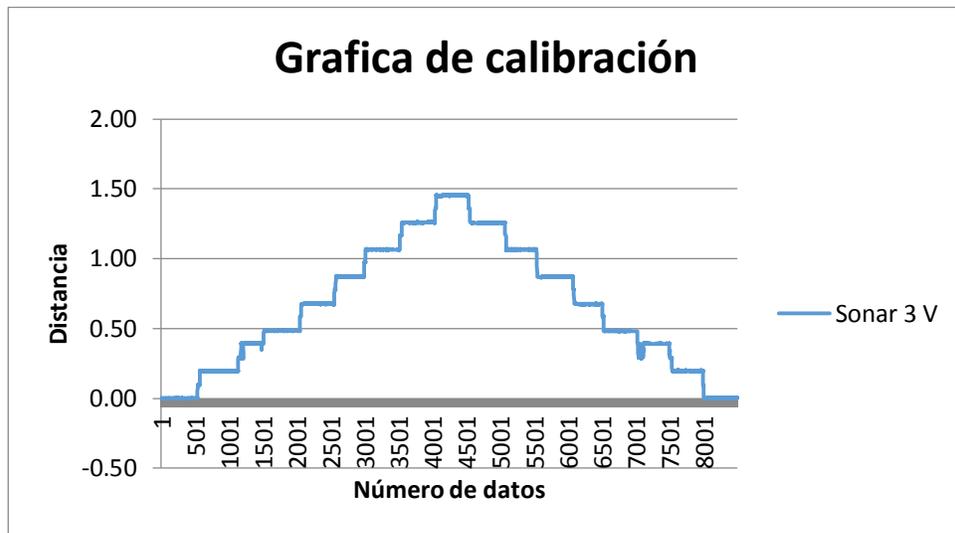


Fig.4.7 Grafica escalonada de la calibración del sensor Sonar.

Se determinó bajo condiciones de laboratorio la curva de respuesta del sonar LV-MaxSonar-EZ1, lo que permitió evaluar la profundidad de laboreo del prototipo articulado bajo condiciones de campo. En el cuadro (4.9) se muestran los datos en volts (V) para un rango de profundidad de laboreo de 0.0 a 0.40 m.

Cuadro 4.9 Proporción entre valores de distancia y voltaje para la obtención de la constante de calibración.

| Distancia (m) | Números de repeticiones de lectura del sensor (V) | | | | |
|---------------|---|------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V |
| 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.05 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.19 | 0.19 |
| 0.10 | 0.38 | 0.39 | 0.4 | 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 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Generación de constante de calibración con software Minitab.

Departamento de maquinaria agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

En la fig. (4.8) se muestra la constante de calibración del sensor en $mV.mm^{-1}$, teniendo como valor de constante $28.04mV .mm^{-1}$, con un coeficiente de correlación del 99.6%.

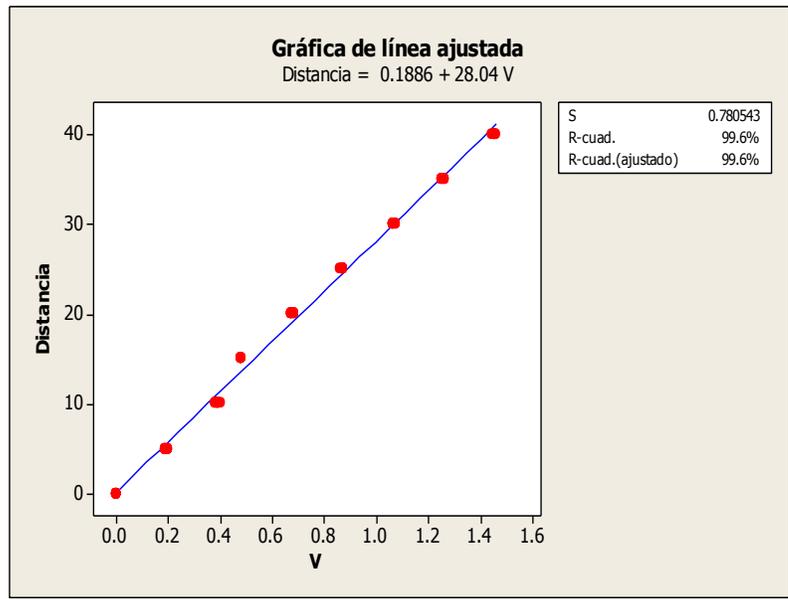
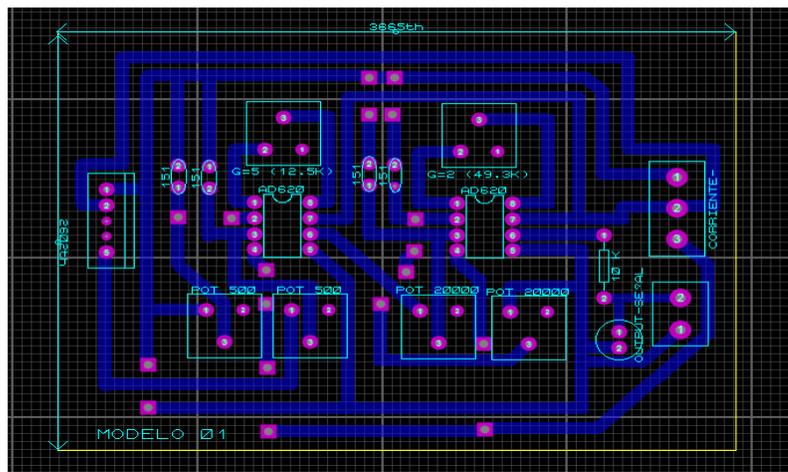
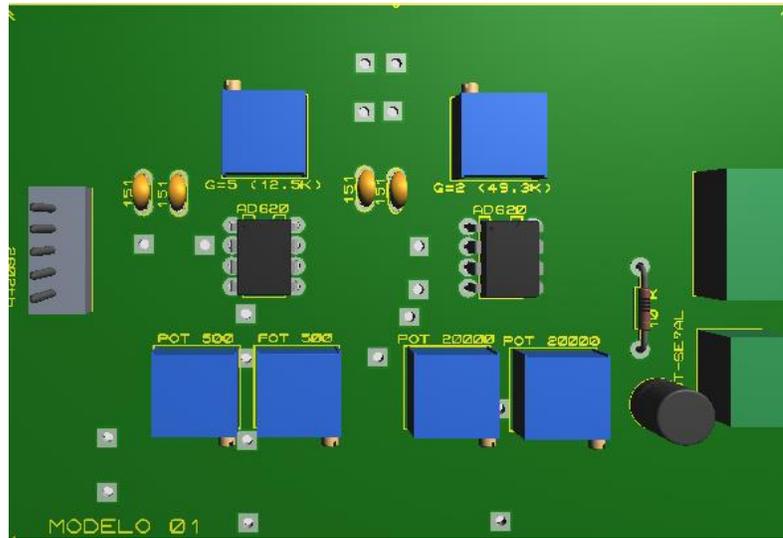


Fig.4.8 Generación de ecuación de calibración del sensor de posicionamiento de altura (Sonar).

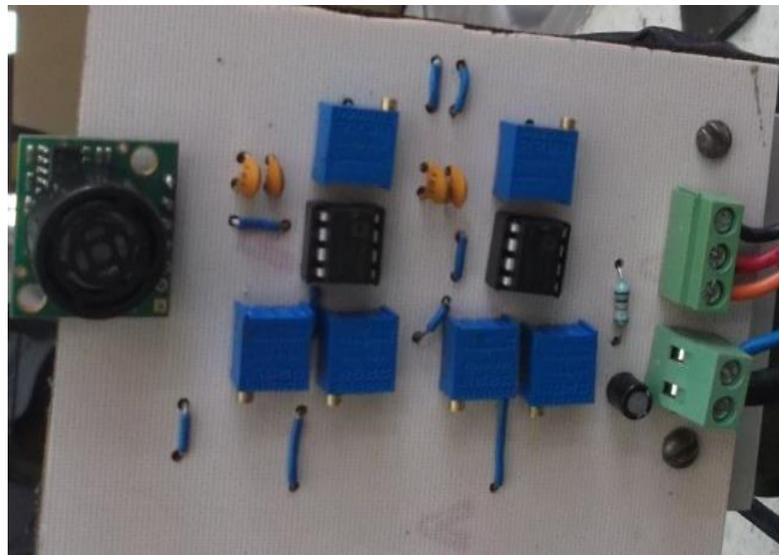
Una vez verificada la linealidad de la señal, se utilizó el amplificador (AD620), el cual funcionó como amplificador diferencial para la señal de salida. El circuitelectrónico construido se muestra en la figura (4.9), este fue elaborado en el programa Ares 8 profesional (PROTEUS). Los circuitos primeramente fueron montados en un protoboard para garantizar su funcionamiento.



a) Diseño esquemático del circuito en Ares Proteus.



b) Diseño del sonar en vista 3D desde Ares Proteus.



c) Fotografía del circuito armado.

Fig. 4.9 Se muestran los diagramas esquemáticos en tres dimensiones, físico del sensor y el amplificador con sus componentes.

4.6 Evaluación del sensor (Sonar) para verificar la respuesta 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 4.10y 4.11se 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.

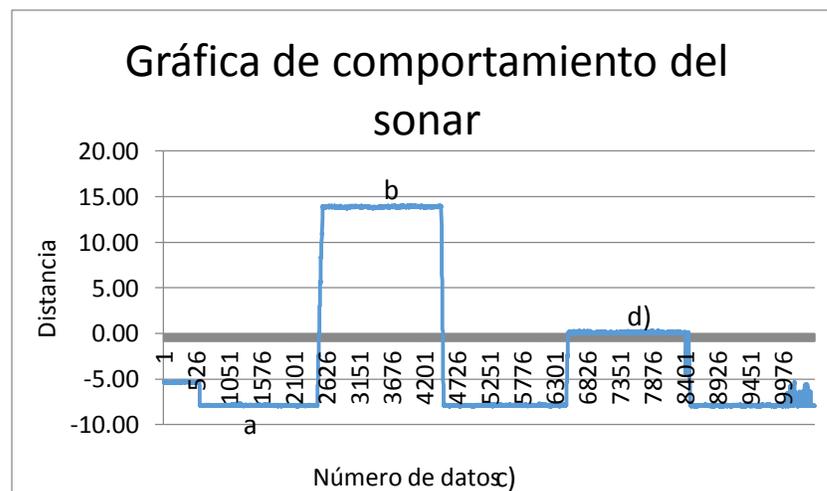


Fig. 4.10 Gráfica de comportamiento del sonar en campo.

En la gráfica de la figura (4.11) 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).

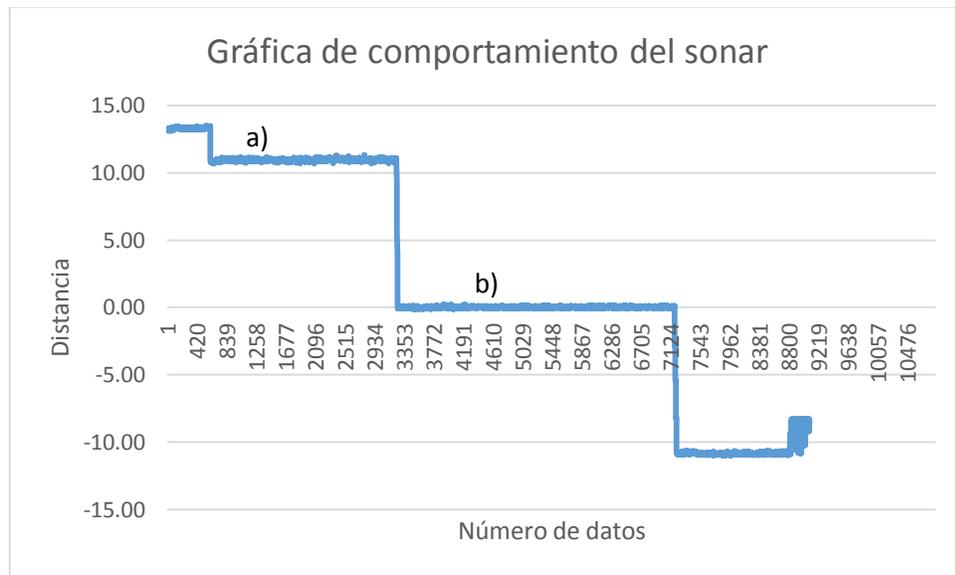


Fig. 4.11 Gráfica de comportamiento del sonar en campo.

En los cuadros 4.10y 4.11se 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.

Cuadro 4.10 Lectura de desplazamiento (V vs m) del marco articulado respecto a la parte fija del equipo.

| <i>Número de corridas</i> | <i>prescripción</i> | <i>Referencia (m)</i> | <i>Profundidad variable (m)</i> | <i>lectura del Sensor (v)</i> | <i>Desplazamiento real (m)</i> |
|---------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| I | 0.10 + | 0.30 | 0.20 | 0.29 | 0.08+ |
| | 0.00 | 0.30 | 0.30 | 0 | 0 |
| | 0.10 + | 0.30 | 0.20 | 0.29 | 0.08+ |
| | 0.10 - | 0.30 | 0.40 | 0.39 | 0.11- |
| | 0.00 | 0.30 | 0.30 | 0 | 0 |
| II | 0.00 | 0.30 | 0.30 | 0 | 0 |
| | 0.10 - | 0.30 | 0.40 | 0.39 | 0.11- |
| | 0.10 - | 0.30 | 0.40 | 0.39 | 0.11- |
| III | 0.10 + | 0.30 | 0.20 | 0.29 | 0.08+ |
| | 0.10 - | 0.30 | 0.40 | 0.49 | 0.13- |
| | 0.10 + | 0.30 | 0.20 | 0.29 | 0.08+ |
| | 0.00 | 0.30 | 0.30 | 0 | 0 |
| IV | 0.10 - | 0.30 | 0.40 | 0.39 | 0.11- |
| | 0.10 + | 0.30 | 0.20 | 0.29 | 0.08+ |
| | 0.10 - | 0.30 | 0.40 | 0.49 | 0.13- |
| | 0.10 + | 0.30 | 0.20 | 0.29 | 0.08+ |
| | 0.00 | 0.30 | 0.30 | 0 | 0 |

Desplazamiento del equipo a diferentes posiciones de laboreo.

Departamento de maquinaria agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

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.

Cuadro 4.11 Lectura de desplazamiento del marco articulado respecto a la parte fija del equipo.

| Referencia | Prescripción | I | II | IV |
|-----------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Profundidad (m) | Profundidad variable (m) | Profundidad registrada (m) | Profundidad registrada (m) | Profundidad registrada (m) |
| 0.30 | 0.10+ | 0.11+ | 0.11+ | 0.11+ |
| 0.30 | 0.10- | 0.11- | 0.11- | 0.11- |
| 0.30 | 0.10+ | 0.10+ | 0.11+ | 0.08+ |
| 0.30 | 0.10- | 0.11- | 0.11- | 0.11- |
| 0.30 | 0.10- | 0.11- | 0.11- | 0.11- |

4.7 Generación de Guía rápida de uso y operación de la válvula proporcional manipulada con el controlador Fmx.

Se generó una guía para la operación automática del implemento por medio del controlador FMX y la válvula proporcional, se desarrolló una secuencia lógica de instrucciones para la manipulación de la posición vertical o profundidad de trabajo ir anexo D.

4.8 Propuesta de sensor digital de posición

Como parte del sistema de control de posición del prototipo se requiere un sensor digital, que permita en forma precisa monitorear las prescripciones o desplazamientos de 0.0,+0.10 y -0.10m de la sección articulada con respecto a la parte fija. Dichos desplazamientos, simulan las profundidades de laboreo a 0.20, 0.30 y 0.40m, y corresponden a los valores binarios de 001 (1), 011 (3), y 111(7) en la programación del microcontrolador.

Para esto, se diseñó un mecanismo de cuatro barras del tipo de biela, manivela y corredera, con la finalidad de que el sensor digital se desplazará en forma paralela a los cinceles, sin importar cuál sea su posición inicial y realizar los registros de los desplazamientos prescritos. La propuesta se muestra en la fig. (4.12)

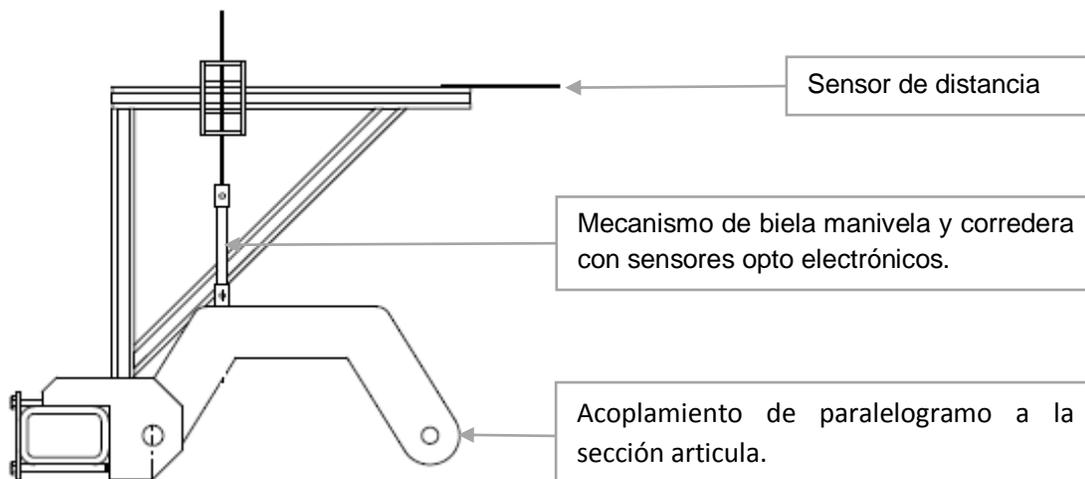


Fig. 4.12 Mecanismo de biela, manivela y corredera.

El sensor de posición estará complementado con sensores opto-electrónicos los cuales obtendrán la señal digital representada en números binarios y decimales: 111(7), 011(3) ,001(1). Con esta señal digital, se pretende controlarlas tres posiciones de profundidad de laboreo en forma digital.

La señal de entrada y salida de las posiciones de trabajo fueron igualadas y simuladas utilizando el microcontrolador PIC16F84A y el software de posición que se muestra en el Anexo C.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Se acondicionó el sistema de paralelogramo para que la barra articulada se desplazara en forma paralela en el plano X-Y con una carrera máxima del vástago de 0.190m, obteniendo un desplazamiento de la sección articulada de 0.24 m y 0.12 m por encima y por debajo de la parte fija o referencia.
2. El tiempo de respuesta obtenido en la integración válvula proporcional Danfoss y pantalla Fmx para una carrera de 50mm. Fue de 23.3 segundos con un coeficiente de variación de 19.7% no habiendo diferencia significativa en el análisis de varianza en los tiempos de respuesta a diferentes revoluciones del motor del tractor.
3. La curva de calibración obtenida bajo condiciones de laboratorio del sensor de posición tipo sonar muestra una constante de calibración de $28.04mV \cdot mm^{-1}$ con un coeficiente de correlación de 99.6%.
4. La evaluación del sonar bajo condiciones de campo mostro una alta calidad y nitidez de la señal sonar lo cual indica una alta confiabilidad en los datos registrados.
5. Se integró una guía rápida de la operación automática del controlador FMX para la manipulación de las profundidades de laboreo a través del uso de prescripciones.

5.2 Recomendaciones

Se propone la construcción de un sensor digital de posición que permita monitorear las posiciones de la profundidad de laboreo en forma digital y con alta confiabilidad de respuesta.

VI. LITERATURA CITADA

- Acedo, J.** 2006. Instrumentación. Ediciones Díaz de Santos. España.
- Agüera., V. J y Pérez., R. M.** 2013. Agricultura de precisión: Hacia la integración de datos espaciales en la producción Agraria. Revista ambienta. Lérida, España.
- Aluko, O.B., and D.A. Seig.** 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting. Soil Tillage Res. pp. 57:143-157.
- Angulo, U.J.M y Angulo, M.I.** 1999. Microcontrolador PIC. Segunda edición. pp.304. Madrid, España: Mc GRAW-HILL/Interamericana de España, S.A.V.
- Barber, R.G., 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.
- Best. S.** 2007. Necesidades tecnológicas de los cultivos: La agricultura de precisión como una alternativa atractiva y rentable. Revista Agropropuesta. Argentina.
- Bignell, J.W. y Donovan, R.L.** 1997. Digital Electronics. 3a ed. En electrónica digital. p.67, 75,76 y 77. Mexico .D.F. Continental S.A. de C.V.
- Bolstad, P.** 2005. GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems, Second Edition. White Bear Lake, MN: Eider Press, Pp 543.

- Bongiovanni, R, Mantovani, E. C., Best,S., y Roel, A (Ed.).** 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable.
- Bragachini, M., Méndez A., e Scaramuzza F.** 2004. Agricultura de Precisión y Siembra Variable de insumos en tiempo real mediante el uso de GPS y una prescripción con sembradora IOM Inteligente Mega de 12 surcos a 52,5 cm. INTA Manfredi, Argentina.
- Bragachini, M.** 2005.Dosis Variable de Insumos en tiempo real Equipamiento. Proyecto Agricultura de Precisión – INTA Manfredi, Argentina.
- Bragachini, M.** 2010. 9^{no} Curso internacional de agricultura de precisión. Red de agricultura de precisión misterios de agricultura de la nación. Argentina.
- Cabeda, M.S.V.**1984. Degradação física e erosão.En: 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, 1983. Anais, Brasil.
- Camacho-Tamayo, J.H. y G.A. Rodríguez B.** 2007. Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua en el suelo. Agricultura Técnica, Chillán, v.67, n.1, p.60-67.
- Derspch, R.** 2007. The no tillage revolution in South America. Farm Tech Proceedings. pp 54-68.
- Godwin, R.J. and M.J. O`Dogherty,** 2007. Integrated soil tillage prediction models. Journal of Terramechanics. 44(1): 3-14.

- Gutiérrez., M. J.** 2012. Sensores de diagnóstico Aplicados a la labranza para Agricultura de precisión. Tesis de licenciatura. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.
- Hoogmoed. W.B.** 1999. Tillage for soil and water conservation in the semiarid tropic. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.
- Jaramillo, D. F.** 2011. El suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. p 553
- Lal, R.** 1995. Tillage Systems in the tropics: Management options and sustainability implications. Soils Bulletin, Rome, Italy.
- López, L.J.A.** (2012). Evaluación de un sensor de permisividad eléctrica para la agricultura de precisión. Tesis de licenciatura. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.
- Magalhães, P.S.G., e W.R. Souza.** 1990. Subsolador: Influência de parâmetros geométricos no mecanismo de forças. 2:1033. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, São Paulo, Brasil, Julio de 1990. Sociedad Brasileira de Ingeniería Agrícola, Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil.
- Martínez J. A.** 1999. Evaluación agrotécnica y tecnológico-explotativa de un multirado modelo M-250. Tesis, licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Edo. de México.
- McKyes, E.** 1985. Soil cutting and tillage. p 217. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Navarro, R.** 2004. Ingeniería de control analógica digital. Ediciones McGraw-Hill. México D.F.

- Ortega, B. R y Flores, M. L.** 2008. Introducción al manejo sitio-específico. Agricultura de precisión: Departamento de recursos naturales y medio ambiente. Vicente Méndez N° 515-cas. Chillán Chile.
- Palacios M. E., Remiro D. F. y López P.L. J.** 2004. Microcontrolador PIC 16F84, Desarrollo de proyectos. México: Alfa omega RA-MA.
- Raper, R. L. and J. S. y Bergtold.** 2007. In row subsoiling: A review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation. Appl. Eng. Agric. 23: 463-471.
- Reynolds, C.M.A.** 2006. Diseño de un sistema inteligente de dosificación neumático de semilla. Tesis de maestría, Ingeniería de sistemas agrícolas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Reynolds, C.M.A.** 2012. Protocolo de proyectos de investigación (Programa Doctoral) de ingeniería en sistemas de producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Ruiz, H.J.A.** 2014. Evaluación de sensores para el monitoreo dinámico de la permisividad eléctrica para la generación de mapas de diagnóstico. Tesis de licenciatura. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN Buena Vista, Saltillo; Coahuila, México.
- Sánchez, P.E.** 2013. Labranza inteligente utilizando un control automático para profundidades variables de cinceles. Tesis de licenciatura. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN Buena Vista, Saltillo; Coahuila, México.
- Silva, F. M. da & Borges, P. H. de M.** 1998. Mecanização e Agricultura de precisão. SBEA/UFLA, Poços de caldas, Pp.232.

Steiner, K.G. 1998. Conserving Natural Resources and Enhancing food security by adopting no tillage. TÖB Publication No. F-5/e GTZ. Echborn. Germany.

Velázquez, J.U. 2011. Rediseño de prototipo para labranza de precisión. Tesis de licenciatura. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN Buena Vista, Saltillo; Coahuila, México.

Vivero, W. 1998. Prácticas de Conservación de suelos. In Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable de Montañas. (Quito, Ec.). pp. 36-361.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS.

Ibáñez, J.J. Agencia principal de investigaciones científicas del departamento de agricultura de EE.UU. [En línea] [Fecha de consulta: 15 de Abril 2014]<<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2010/09/07/136442>>

García, E; Flego, F. Agricultura de Precisión. Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Universidad de Palermo. [En línea] [Fecha de consulta: 15 de Abril 2014]. <<http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>>

Carmona, A. Sistemas de información geográfica. El centro de tesis, documentos publicaciones y recursos educativos más amplios de la red. [En línea] [Fecha de consulta: 8 de octubre 2008]. <<http://www.monografias.com/trabajos/gis/gis.shtml>>

Deere & Company. [En línea] [Fecha de consulta: [Fecha de consulta: 13 de enero del 2014]. <http://www.deere.com.ar/wps/dcom/es_AR/products/equipment/agricultural_management_solutions/displays_and_receivers/greenstar_2_display_1800/greenstar_2_display_1800.pag>

Sistema Trimble Field Level II Controlado Por G. [En línea] [Fecha de consulta: 25 del abril 2014]. <<http://www.agroads.com.ar/detalle.asp?clasi=204964>>

"Sistema hidráulico, ¿centro abierto o cerrado?". Editorial Agrícola Española C/ Caballero de García, 24-3ª izquierda. 28013-Madrid, 2010, [En línea] [Fecha de consulta: 26 de abril 2014]. <http://www.editorialagricola.com/v_portal/informacion/informacionver.asp?cod=1604&te=117&idage=3697&vap=0>

Antonio Delgado Díez. Ingeniería de máquinas "Actuadores hidráulicos". [En línea] [Fecha de consulta: 25 de Abril del 2014]. <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Trabajos%20IM%202009-10/Antonio%20Delgado%20Diez-Actuadores%20hidraulicos_2.pdf>

Conceptos Básicos de neumática e hidráulica. [En línea] [Fecha de consulta: 25 de Abril de 2014]. <<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica16.htm>>

Ensayo de "MICROCONTROLADORES Y PLC'S EN LAS INDUSTRIAS." Universidad del valle de México, 2010. [En línea] [Fecha de consulta: 28 de abril 2014]. <http://www.tlalpan.uvmnet.edu/oiid/download/Microcontroladores%20y%20plc%C2%B4s_04_ING_IMECA_PIT_E.pdf>

Vilas, I.J.M. "Sistema multimedia para la enseñanza de los sensores de proximidad". Universidad de Vigo. [En línea] [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2014]. <http://www.dte.uvigo.es/recursos/proximidad/Sensores_Proximidad.swf>

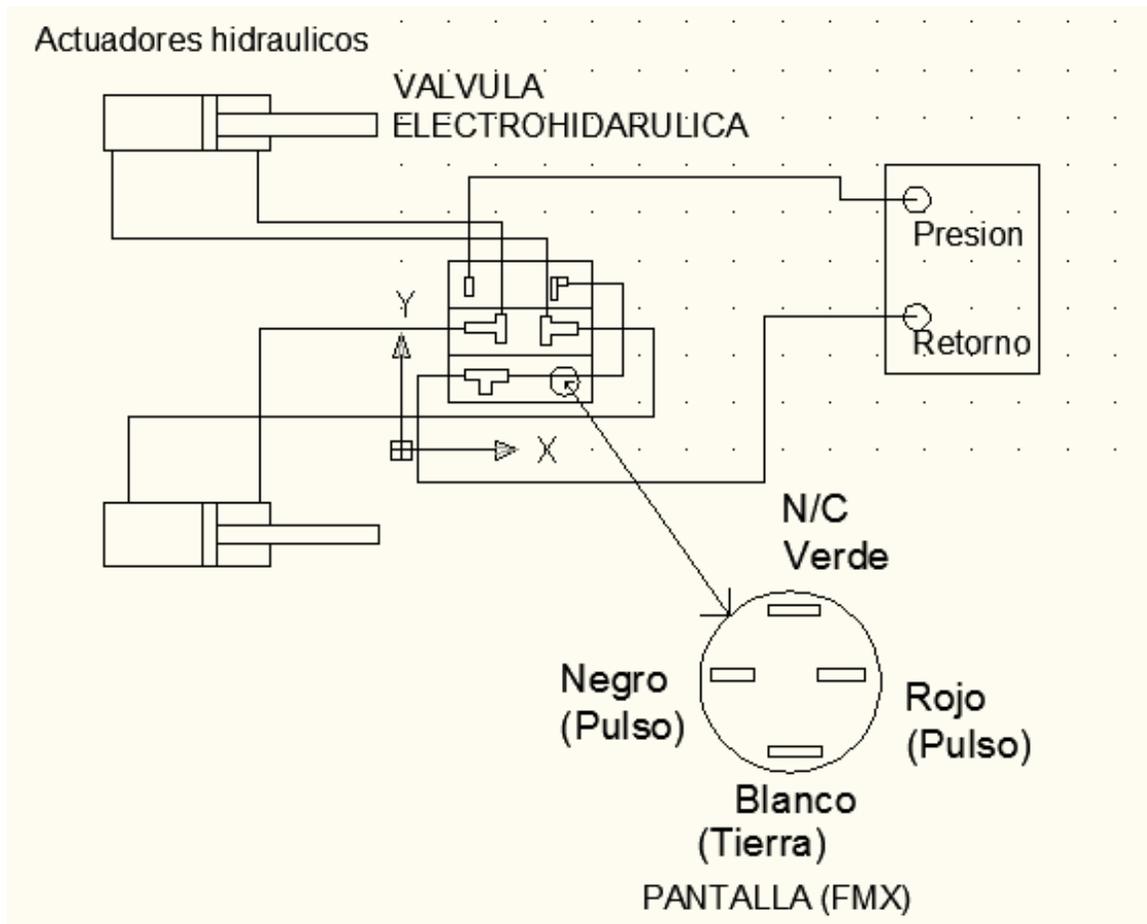
Quijada, R.B. Aplicación de sensores ópticos y de proximidad, [En línea] [Fecha de consulta: 10 de febrero del 2012]. <<http://es.scribd.com/doc/99225911/Aplicacion-de-Sensores-Opticos-y-de-Aproximacion>>

SORHEA (2011). Funcionamiento de tecnología infrarroja, [En línea] [Fecha de consulta: 05 de mayo 2014]. <<http://www.sorhea.es/funcionamiento-de-tecnologia-infrarroja.html>>

Rene, P. M. Compuertas lógicas y algebra Boole. [En línea] [Fecha de consulta: 08 de mayo del 2014]. <<http://claroline.ucaribe.edu.mx/claroline/claroline/backends/download.php?url=L0NvbXB1ZXJ0YXNfeV9BbGdIYnJhX2RlX0Jvb2xlLnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=113483>>

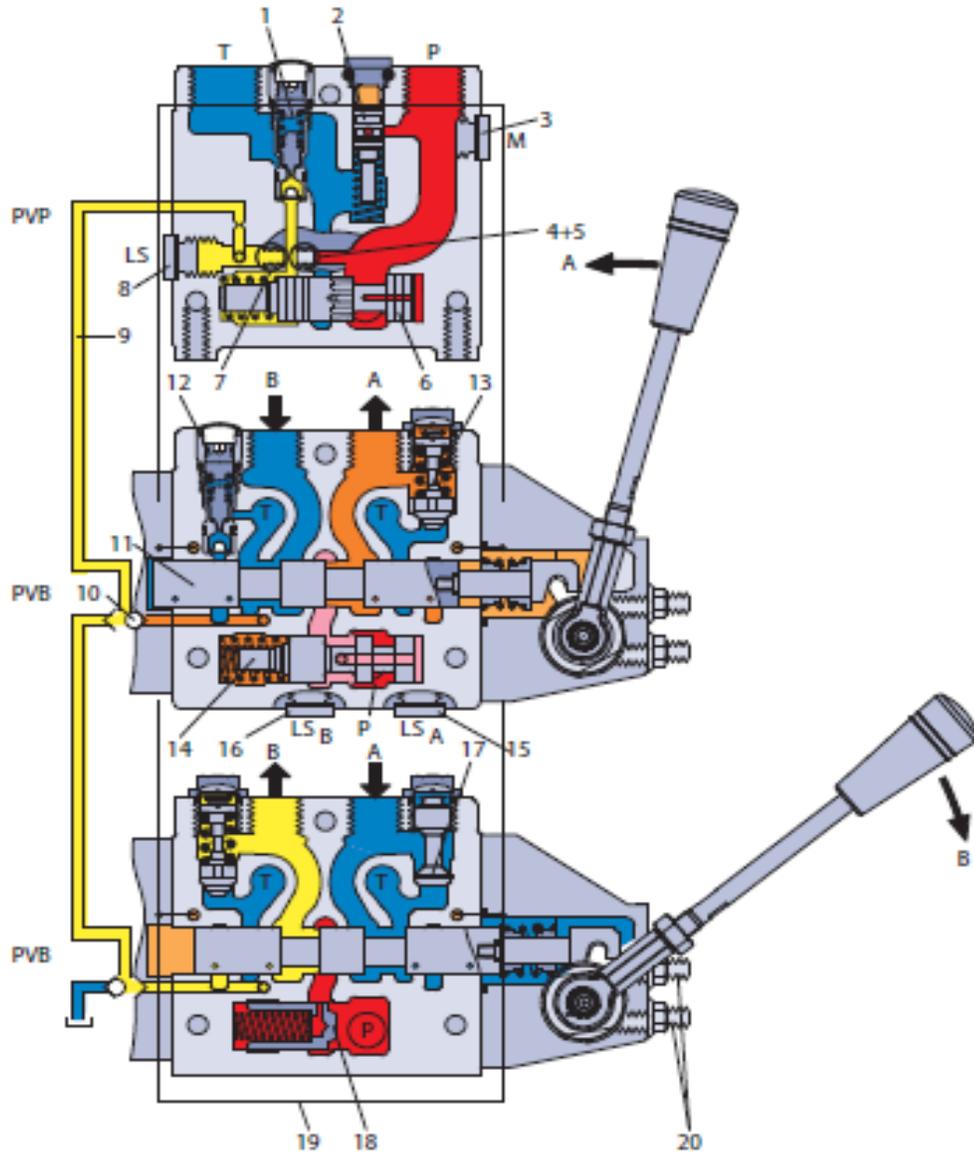
VII. ANEXOS

ANEXO A. Diagrama de conexión de mangueras de la válvula electro-hidráulica a los actuadores y al sistema hidráulico del tractor.



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

PVG 32 Sectional Drawing

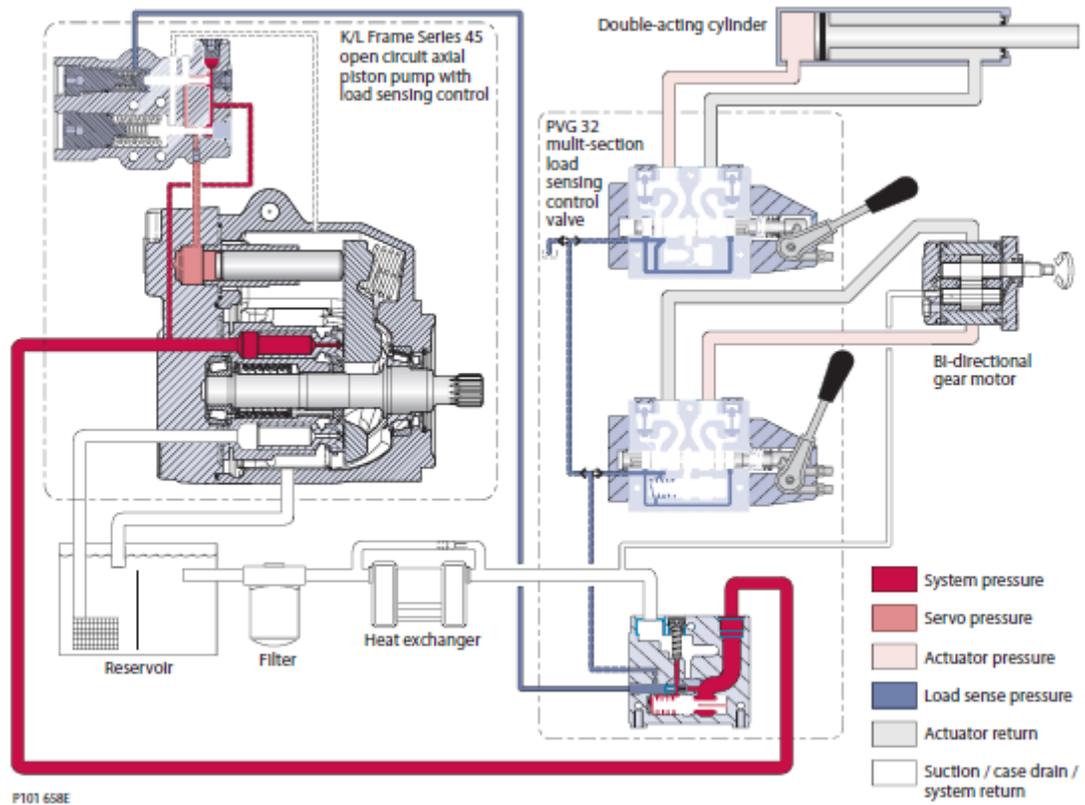


V310106.A

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

ANEXO A. Esquema del circuito

Pictorial circuit diagram



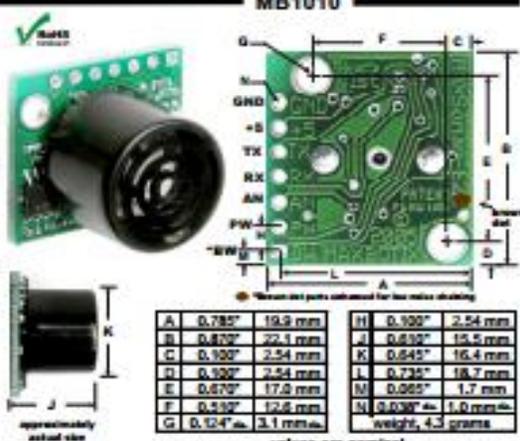
ANEXO B.Hoja de datos del LV-MaxSonar-EZ1.

MB1010

LV-MaxSonar®-EZ1™

High Performance Sonar Range Finder

With 2.5V - 5.5V power the LV-MaxSonar®-EZ1™ provides very short to long-range detection and ranging, in an incredibly small package. The LV-MaxSonar®-EZ1™ detects objects from 0-inches to 254-inches (6.45-meters) and provides sonar range information from 6-inches out to 254-inches with 1-inch resolution. Objects from 0-inches to 6-inches range as 6-inches. The interface output formats included are pulse width output, analog voltage output, and serial digital output.



| | | |
|---|--------|---------|
| A | 0.785" | 19.9 mm |
| B | 0.820" | 20.8 mm |
| C | 0.950" | 24.1 mm |
| D | 0.950" | 24.1 mm |
| E | 0.670" | 17.0 mm |
| F | 0.430" | 10.9 mm |
| G | 0.124" | 3.1 mm |

| | | |
|---|--------|---------|
| H | 0.100" | 2.54 mm |
| J | 0.630" | 16.0 mm |
| K | 0.645" | 16.4 mm |
| L | 0.735" | 18.7 mm |
| M | 0.065" | 1.7 mm |
| N | 0.030" | 0.8 mm |

values are nominal

Features

- Continuously variable gain for beam control and side lobe suppression
- Object detection includes zero range objects
- 2.5V to 5.5V supply with 2mA typical current draw
- Readings can occur up to every 50mS, (20-Hz rate)
- Free run operation can continually measure and output range information
- Triggered operation provides the range reading as desired
- All interfaces are active simultaneously
- Serial, 0 to Vcc, 9600Baud, 81N
- Analog, (Vcc/512) / inch
- Pulse width, (147uS/inch)
- Learns ringdown pattern when commanded to start ranging
- Designed for protected indoor environments
- Sensor operates at 42KHz
- High output square wave sensor drive (double Vcc)

Benefits

- Very low cost sonar ranger
- Reliable and stable range data
- Sensor dead zone virtually gone
- Lowest power ranger
- Quality beam characteristics
- Mounting holes provided on the circuit board
- Very low power ranger, excellent for multiple sensor or battery based systems
- Can be triggered externally or internally
- Sensor reports the range reading directly, frees up user processor
- Fast measurement cycle
- User can choose any of the three sensor outputs

Beam Characteristics

People detection requires high sensitivity, yet a narrow beam angle requires low sensitivity. The LV-MaxSonar®-EZ1™ balances the detection of people with a narrow beam width. Sample results for measured beam patterns are shown below on a 12-inch grid. The detection pattern is shown for:

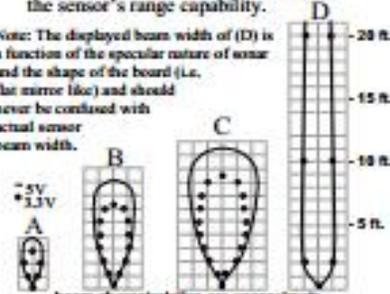
(A) 0.25-inch diameter dowel, note the narrow beam for close small objects,

(B) 1-inch diameter dowel, note the long narrow detection pattern,

(C) 3.25-inch diameter rod, note the long controlled detection pattern,

(D) 11-inch wide board moved left to right with the board parallel to the front sensor face and the sensor stationary. This shows the sensor's range capability.

Note: The displayed beam width of (D) is a function of the specular nature of sonar and the shape of the board (i.e. flat mirror like) and should never be confused with actual sensor beam width.



beam characteristics are approximate

MaxBotix® Inc.
MaxBotix, MaxSonar & EZ1 are trademarks of MaxBotix Inc.
 LV-EZ1™ • Patent 7,679,996 • Copyright 2005 - 2012

Page 1
 Email: info@maxbotix.com
 Web: www.maxbotix.com
 07/2005

ANEXO B.Hoja de datos del LV-MaxSonar-EZ1.

MB1010

LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] Pin Out

GND = Return for the DC power supply. GND (& Vcc) must be ripple and noise free for best operation.

+5V = Vcc - Operation on 2.5V - 5.5V. Recommended current capability of 3mA for 5V, and 2mA for 3V.

TX = When the *BW is open or held low, the TX output delivers asynchronous serial with an RS232 format, except voltages are 0-Vcc. The output is an ASCII capital "R", followed by three ASCII character digits representing the range in inches up to a maximum of 255, followed by a carriage return (ASCII 13). The baud rate is 9600, 8 bits, no parity, with one stop bit. Although the voltage of 0-Vcc is outside the RS232 standard, most RS232 devices have sufficient margin to read 0-Vcc serial data. If standard voltage level RS232 is desired, invert, and connect an RS232 converter such as a MAX232.

- *Brown dot parts: When BW pin is held high the TX output sends a single pulse, suitable for low noise chaining (no serial data).

RX = This pin is internally pulled high. The EZ1[™] will continually measure range and output if the RX pin is left unconnected or held high. If held low the EZ1[™] will stop ranging. Bring high 20µs or more for range reading.

AN = Outputs analog voltage with a scaling factor of (Vcc/512) per inch. A supply of 5V yields ~9.8mV/in. and 3.3V yields ~6.4mV/in. The output is buffered and corresponds to the most recent range data.

PW = This pin outputs a pulse width representation of range. To calculate distance use the scale factor of 147µs per inch.

BW = *Leave open or held low for serial output on the TX output.

- *Brown dot parts: When BW pin is held high the TX output sends a pulse (instead of serial data), suitable for low noise chaining.

LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] Circuit

The LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] sensor functions using active components consisting of an LM324, a diode array, a PIC16F676, together with a variety of passive components.

LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] Timing Description

250mS after power-up, the LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] is ready to accept the RX command. If the RX pin is left open or held high, the sensor will first run a calibration cycle (49mS), and then it will take a range reading (49mS). After the power up delay, the first reading will take an additional ~100mS. Subsequent readings will take 49mS. The LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] checks the RX pin at the end of every cycle. Range data can be acquired once every 49mS.

Each 49mS period starts by the RX being high or open, after which the LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] sends thirteen 42KHz waves, after which the pulse width pin (PW) is set high. When a target is detected the PW pin is pulled low. The PW pin is high for up to 37.5mS if no target is detected. The remainder of the 49mS time (less 4.7mS) is spent adjusting the analog voltage to the correct level. When a long distance is measured immediately after a short distance reading, the analog voltage may not reach the exact level within one read cycle. During the last 4.7mS, the serial data is sent. The LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] timing is factory calibrated to one percent at five volts, and in use is better than two percent. In addition, operation at 3.3V typically causes the objects range, to be reported, one to two percent further than actual.

LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] General Power-Up Instruction

Each time after the LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] is powered up, it will calibrate during its first read cycle. The sensor uses this stored information to range a close object. It is important that objects not be close to the sensor during this calibration cycle. The best sensitivity is obtained when it is clear for fourteen inches, but good results are common when clear for at least seven inches. If an object is too close during the calibration cycle, the sensor may then ignore objects at that distance.

The LV-MaxSonar[®]-EZ1[™] does not use the calibration data to temperature compensate for range, but instead to compensate for the sensor ringdown pattern. If the temperature, humidity, or applied voltage changes during operation, the sensor may require recalibration to reacquire the ringdown pattern. Unless recalibrated, if the temperature increases, the sensor is more likely to have false close readings. If the temperature decreases, the sensor is more likely to have reduced up close sensitivity. To recalibrate the LV-MaxSonar[®]-EZ1[™], cycle power, then command a read cycle.

Product / specifications subject to change without notice. For more info visit www.maxbotix.com

MaxBotix[®] Inc.
MaxBotix, MaxSonar & EZ1 are trademarks of MaxBotix Inc.
 LV-EZ1[™] - Patent 7,679,996 - Copyright 2005 - 2012

Page 2
 Email: info@maxbotix.com
 Web: www.maxbotix.com
PC30000

ANEXO B.Hoja de datos del amplificador AD620



Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor
(Gain Range 1 to 1000)
Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)
Higher Performance than Three Op Amp IA Designs Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging
Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

50 μ V max, Input Offset Voltage
0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift
1.0 nA max, Input Bias Current
100 dB min Common-Mode Rejection Ratio ($G = 10$)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise
0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth ($G = 100$)
15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

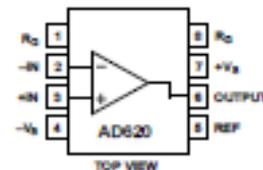
Weigh Scales
ECG and Medical Instrumentation
Transducer Interface
Data Acquisition Systems
Industrial Process Controls
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q)
and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superbeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

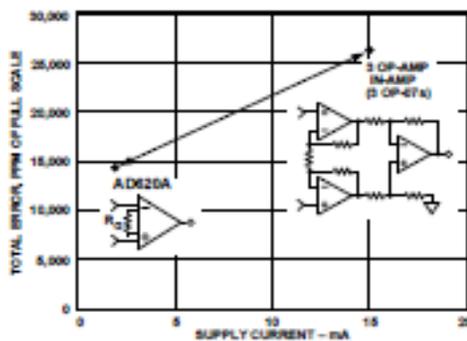


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

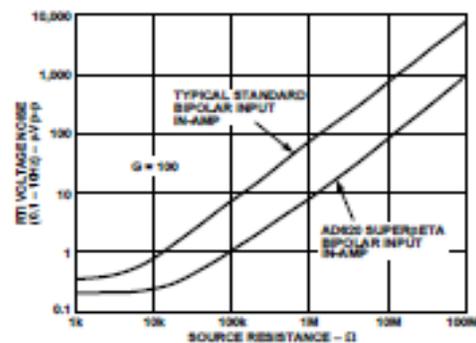


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

ANEXO B.Hoja de datos de conexiones del AD620



Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

EASY TO USE

- Gain Set with One External Resistor (Gain Range 1 to 1000)
- Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)
- Higher Performance than Three Op Amp IA Designs Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging
- Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

- 50 μ V max, Input Offset Voltage
- 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift
- 1.0 nA max, Input Bias Current
- 100 dB min Common-Mode Rejection Ratio ($G = 10$)

LOW NOISE

- 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise
- 0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

- 120 kHz Bandwidth ($G = 100$)
- 15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

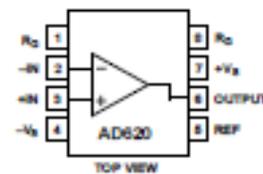
- Weigh Scales
- ECG and Medical Instrumentation
- Transducer Interface
- Data Acquisition Systems
- Industrial Process Controls
- Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q) and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superbeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

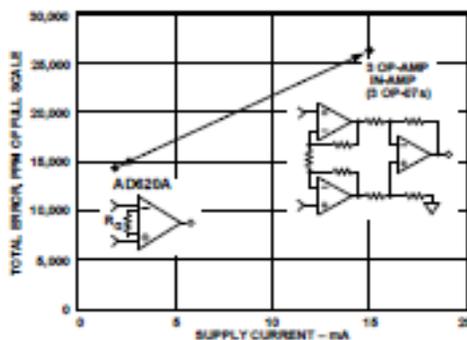


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

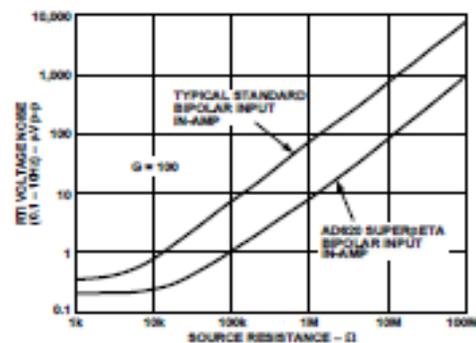


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

ANEXO C. Software para el monitoreo de posición de la barra articulada.

H:\sensor_pocision\Ensam_031.asm

```
1 ;***** Ensam_03.asm*****
2 ;
3 ; =====
4 ;   Del libro "MICROCONTROLADOR PIC16F84. DESARROLLO DE PROYECTOS"
5 ;   E. Palacios, F. Remiro y L. López.
6 ;   Editorial Ra-Ma. www.ra-ma.es
7 ;   =====
8 ;
9 ; Por el Puerto B se obtiene el dato de las cinco líneas del Puerto A al que está conectado
10 ; un array de interruptores. Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce "---11001", por
11 ; el Puerto B aparecerá "xxx11001" (el valor de las tres líneas superiores no importa).
12
13 ; ZONA DE DATOS*****
14
15     CONFIG    _CP_OFF&_WDT_OFF&_PWRTE_ON&_XT_OSC    ; Configuración para el
16
17                                     ; grabador.
18     LIST      P=16F84A    ; Procesador.
19     INCLUDE<P16F84A.INC>; Definición de los operandos utilizados.
20 ; ZONA DE CÓDIGOS*****
21
22     ORG      0    ; El programa comienza en la dirección 0 de memoria de
23                 ; programa.
24 Inicio bsf STATUS,RP0 ; Pone al bit 5 de STATUS. Acceso al Banco 1.
25 clrf TRISB    ; Las líneas del Puerto B se configuran como salidas.
26 movlw b'11111111'
27 movwf TRISA    ; Las líneas del Puerto A se configuran como entradas.
28 bcf STATUS,RP0 ; Pone a 0 el bit 5 de STATUS. Acceso al Banco 0.
29 Principal
30 movf PORTA,W    ; Lee el Puerto A.
31
32 xorlw b'00000111'
33 andlw b'00000111' ; Se queda con los tres bits de entrada.
34 movwf PORTB    ; El contenido de W se visualiza por el Puerto B.
35 goto Principal ; Crea un bucle cerrado.
36
37     END        ; Fin del programa.
38 ; =====
39 ;   Del libro "MICROCONTROLADOR PIC16F84. DESARROLLO DE PROYECTOS"
40 ;   E. Palacios, F. Remiro y L. López.
41 ;   Editorial Ra-Ma. www.ra-ma.es
42 ;   =====
43
```

ANEXO D. Guía rápida de uso y operación de la válvula proporcional manipulada con el controlador Fmx.

1. Iniciar la pantalla
2. Seleccionar y activar el botón **configuración**



3. Introducir la clave de acceso al software(**clave**)



4. De la lista de complementos activos agregar **Field Level II**.



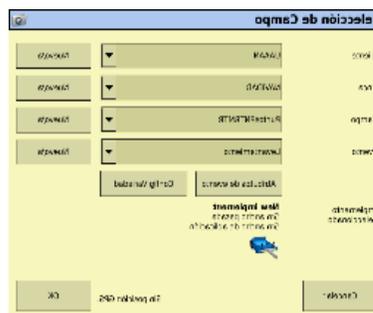
5. Seleccionar **OK**



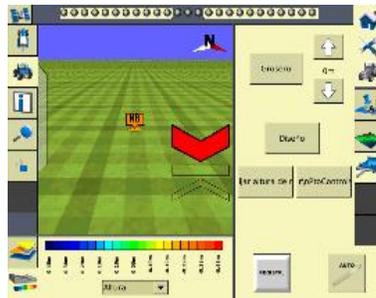
6. Definir el campo o superficie de trabajo (jerarquía de registro).



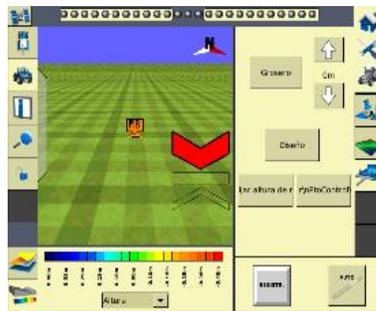
7. Presionar **OK** a la pantalla activa.



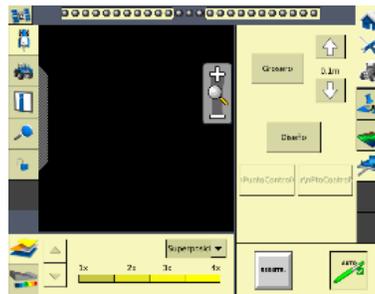
8. Seleccionar el botón **punto de control**. Aparece un indicador de cortes y rellenos y se torna de color verde cuando esta nivelado y de color rojo si se encuentra por encima o debajo del nivel.



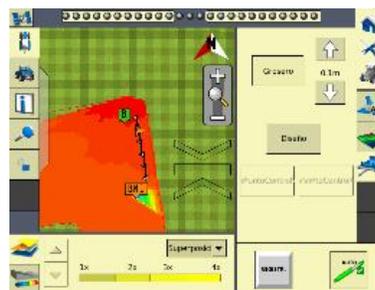
9. Se Selecciona la botón **grosero** para definir la distancia que espera subir o baja.



10. Una vez seleccionado el botón grosero se define la altura requerida (**prescripción**).

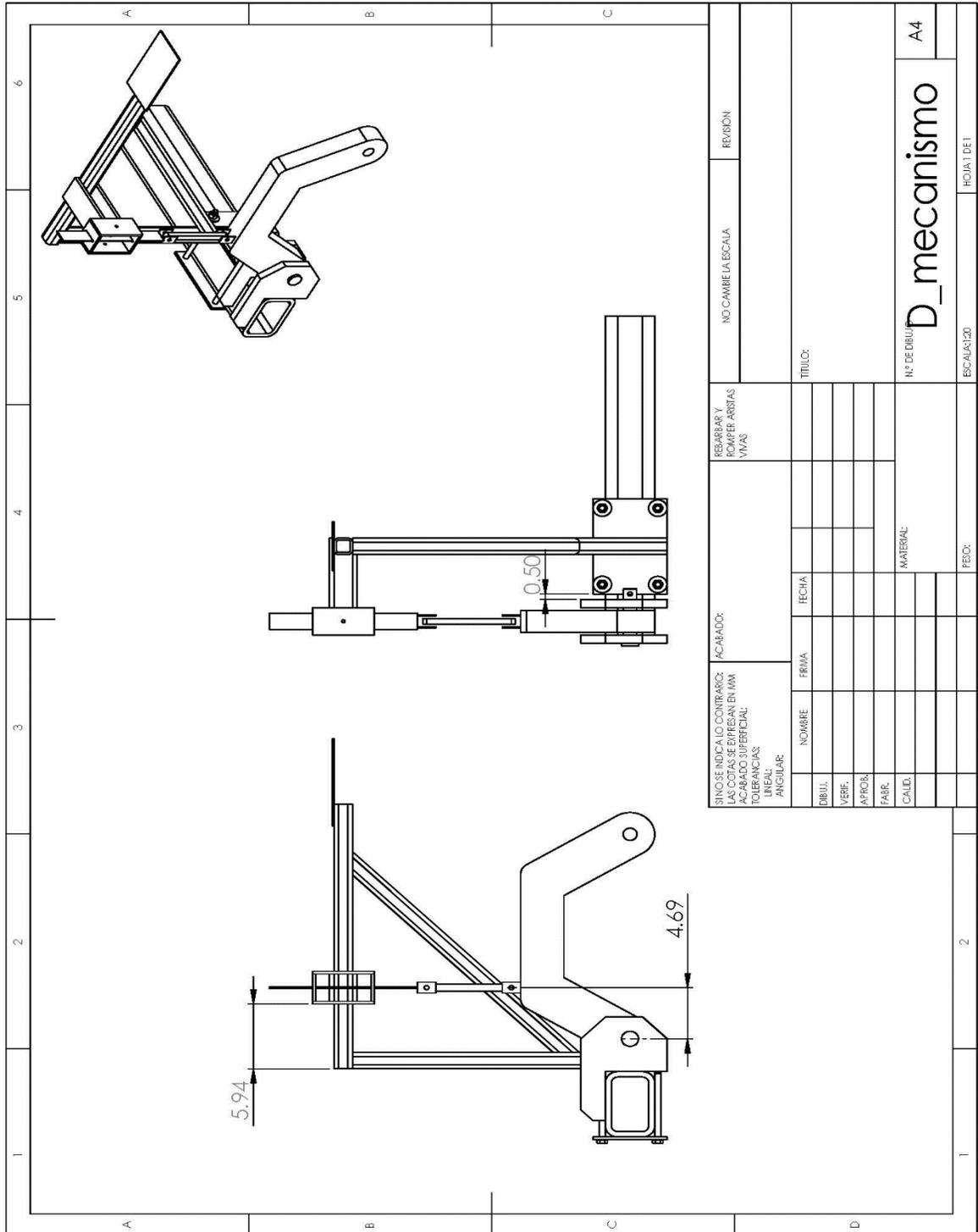


11. Se selecciona el botón **auto**.

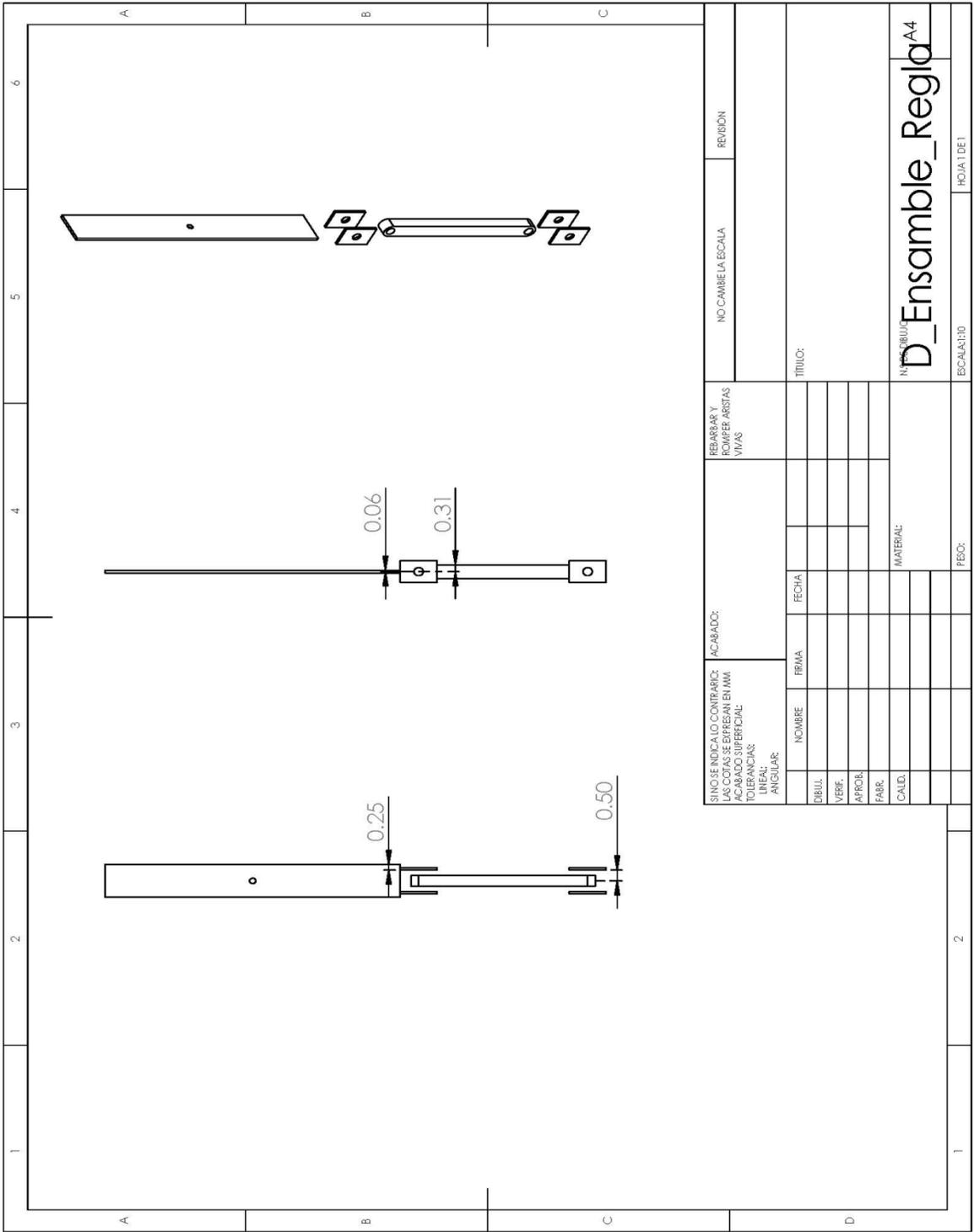


12. Automáticamente se emite la señal por medio de pulsos para la manipulación de la válvula y en consecuencia del implemento.

ANEXO E. Diseño de mecanismo tipo biela, manivela y corredera.



| | | | | | |
|--|--------|----------|---------------------------------------|---------------------|-------------|
| SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | ACABADO: | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | NO CAMBIE LA ESCALA | REVISION |
| DIBUJ. | NOMBRE | FIRMA | FECHA | TITULO: | |
| VERIF. | | | | | |
| APROJ. | | | | | |
| FABR. | | | | | |
| CALD. | | | | MATERIAL: | |
| | | | | Nº DE DIBUJ | |
| | | | | D_mecanismo | |
| | | | | A4 | |
| | | | | ESCALA: 1:20 | HOJA 1 DE 1 |



| | | | | | | | | | |
|---|--------|----------|-------|---------------------------------------|--|---------------------|--|----------|--|
| SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE ENTENDEN EN MM ACABADO SUPERFICIAL TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | ACABADO: | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIA LA ESCALA | | REVISION | |
| DIBUJ. | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | |
| CALD. | | | | | | | | | |
| | | | | MATERIAL: | | TITULO: | | | |
| | | | | | | D_Ensamble_Regla A4 | | | |
| | | | | | | ESCALA: 1:1 | | | |
| | | | | FEBO: | | HOJA 1 DE 1 | | | |

