



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Metodología para la evaluación de un Sistema de
Control de Velocidad de dosificación Modelo PCS 200

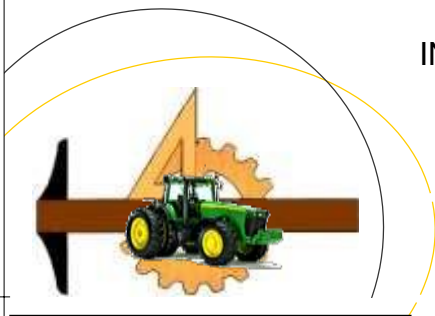
Por:

Misael Aparicio López

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA



Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**Metodología para la evaluación de un Sistema de Control de Velocidad de
dosificación Modelo PCS 200.**

Por:

Misael Aparicio López

Tesis:

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el Comité de Tesis

Director de Tesis

Dr. Santos G. Campos Magaña

Codirector

Ing. Héctor Emilio González Ramírez

Sinodal

Dr. Hugo Gutiérrez Flores

Coordinador de la División de Ingeniería

Dr. Luis Samaniego Moreno

Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro



Coordinación de la División
Saltillo, Coahuila, México, Noviembre de 2017 Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado la vida, por darme fuerzas y valor en los momentos difíciles, por darme esa oportunidad de lograr uno de los muchos sueños que he logrado a lado de mi familia, por sus bendiciones y por estar siempre conmigo, a mi lado.

A la **UAAAN** por haberme recibido y abierto las puertas, por la suerte de estar en ella y permitirme terminar la carrera, por darme todas las herramientas necesarias para tener una buena preparación. Gracias Alma Mater.

Al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña** por su gran y valioso apoyo, por su confianza, su enseñanza, su experiencia y por el tiempo dedicado para realizar este proyecto, por ser parte fundamental de este nuevo logro.

A los distinguidos profesores del Departamento de Maquinaria Agrícola, al **DR. Hugo Gutiérrez Flores, M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, M.C. Genaro Demuner Molina, Ing. Héctor Emilio Gonzales Ramírez, Ing. Juan Arredondo Valdez, Ing. Rosendo Gonzales Garza, Ing. Tomas Gaytan Muñiz** y todos aquellos profesores que aportaron sus conocimientos y experiencias durante el desarrollo de mi carrera.

Al Departamento de Maquinaria Agrícola por haberme brindado sus instalaciones, gracias a JUANITA, por su gran y valioso apoyo, por su tiempo. Al Personal Técnico y al Ing. Osvaldo, por su apoyo y por colaborar para el desarrollo de este proyecto.

A mis **Compañeros de Generación CXXI**, por brindarme su apoyo, su amistad, su confianza y por todos los momentos buenos y malos que se vivieron juntos.

DEDICATORIA

El presente trabajo fue producto del esfuerzo y sacrificio de muchas personas por tal motivo es para ustedes.

A mis Padres:

Sr. Leonor Aparicio Santiago

Sra. Macrina López Aparicio

Por su gran apoyo incondicional que me han brindado durante toda mi vida.

A mi padre muy en especial para ti, por ser el hombre que más admiro, por tu apoyo incondicional, tus conejos, tus regaños, porque siempre has estado conmigo en los buenos y malos momentos, porque nunca de gastes de creer en mí, por la confianza que me tienes, por eso y muchas cosas más, este trabajo te la dedico a ti Papa.

A mi madre porque eres el ser más maravilloso, por dame la vida, por darme ese gran amor de madre, por tu cariño, por tu apoyo incondicional, tu comprensión, por tu protección, porque siempre te has preocupado por mí y siempre has estado en los buenos y malos momentos, este trabajo te la dedico mama.

A mis hermanos:

Irvin Aparicio López

Mareli Anahí Aparicio López

A mi hermano por brindarme su apoyo en todo momento, sus ánimos, por creer en mí, por ser más que un hermano “un amigo”.

A mi hermanita por llenar de alegría a la familia, por su cariño, por su gran amor a mí, a mi hermano y a mis padres.

A mi novia para ti chaparrita **Zulma Esther Mejía Díaz**, por tu cariño y tu gran amor, por tu confianza, tu apoyo incondicional, tu paciencia y porque a pesar de todas las cosas que hemos pasado juntos; buenas y malas, siempre estuviste conmigo.

A mis abuelos:

Juan Aparicio

Caledonia Santiago

Antonio López

Constantina Aparicio

A mis abuelos por sus ánimos, su apoyo y su constante motivación para salir adelante.

A mis Tíos(as) por su apoyo, sus consejos, sus constantes ánimos.

Gracias familia, recuerden siempre que mi triunfo también es el suyo.

Y a todas las personas que me apoyaron les doy las gracias por sus ánimos, sus motivaciones y por formar parte de este logro y de esta pequeña etapa de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
II.-OBJETIVOS	3
2.1. <i>Objetivo general.</i>	3
2.2 <i>Objetivos específicos.</i>	3
III.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 <i>Antecedentes</i>	4
3.2 <i>Agricultura de precisión</i>	4
3.3 <i>Funciones de una sembradora neumática</i>	8
3.3.1 Partes de una sembradora neumática	8
3.3.2 Los dosificadores de semillas pueden ser clasificadas según su sistema de dosificador.....	9
3.4 <i>Siembra de precisión.</i>	10
3.4.1 Beneficios de la siembra de precisión.....	10
3.4.2 Fórmula para determinar el llenado de celdas.	11
3.5 <i>Dosis Variable</i>	11
3.6 <i>Banco de pruebas para las evaluaciones de los motores eléctricos y dosificadores de maíz.</i>	12
3.7 <i>Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión</i>	14
3.8 <i>Sistema de dosis variable TRIMBLE</i>	15
IV.- MATERIALES, EQUIPO Y MÉTODOS	18
4.1 <i>Ubicación del lugar.</i>	18
4.2 <i>Materiales</i>	18
4.3.- <i>Equipos</i>	20
4.3.1 Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión (PCS 200)...	20
4.3.1.1 Diseño del soporte para el Equipo MD.....	21

4.3.1.2 Partes del soporte para el MD.....	21
4.3.2 Instalación del Equipo PCS 200	22
4.3.3 Variador de frecuencia	25
4.3.3.1 Instalación del variador de frecuencia.....	26
4.3.4 Banco de pruebas	27
4.3.5 Sensor de pulsos de efecto HALL.....	27
4.3.6 Tarjetas electrónicas	28
4.3.7 Tarjeta de adquisición de datos National Instrument.....	29
4.3.8 Tarjeta de conexión de señales externas. (Tipo comercial de la marca National Instrument (NI SCC-68)).....	29
4.3.9 Computadora personal.....	30
4.3.10 Software LabView	30
4.3.11 Programa para el registro de pulso real-ideal.....	31
4.3.12 Motor eléctrico con reductor de velocidad.	32
4.4 Metodología.....	33
4.4.1 Diseño e instalación de un soporte para un motor eléctrico MD	34
4.4.2 Familiarización e instalación del equipo PCS 200.....	34
4.4.3 Modificación y construcción de los sensores de efecto HALL	34
4.4.4 Fabricación de un plato fenólico con 10 imanes.....	35
4.4.5 Instalación y configuración del variador de frecuencia	35
4.4.6 Utilización y registro de datos en el programa LabVIEW	35
4.5 Evaluación del Sistema	36
V.- RESULTADOS	36
5.1 Funcionamiento de componentes.....	37
5.2 Programa conteo de pulsos.....	38
5.3 Evaluación del sistema dosificador.....	38
VI- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
VII.- LITERATURA CITADA	52
ANEXOS A.....	54
CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE PLANTACIÓN NEUMÁTICA DE PRECISIÓ- PCS 200.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3.1 ETAPAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN, FUENTE: AGCO.....	6
FIGURA.3.2 COMPONENTES DE UNA SEMBRADORA NEUMÁTICA.	9
FIGURA.3.3 MANEJO DE SITIO ESPECÍFICO.....	11
FIGURA 3.4 ESQUEMA DE CONEXIÓN BÁSICA DEL SISTEMA PCS 200.....	15
FIGURA 3.5. DIAGRAMA GENERAL DE CONEXIÓN DE FIELD-IQ.....	16
FIGURA 4.1 LABORATORIO DE PROTOTIPOS PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN	18
FIGURA 4.2 MICROCONTROLADOR PIC16F84 (MICROCHIP).....	19
FIGURA 4.3 SENSOR DE EFECTO HALL DN6851A (PANASONIC ELECTRONIC COMPONENTS).	19
FIGURA 4.4 TALLER DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS.....	20
FIGURA 4.5 DISEÑO DEL SOPORTE EN EL PROGRAMA SOLIDWORKS 2016.....	21
FIGURA 4.6 PARTES DEL SOPORTE PARA EL MOTOR (MD) EN EL PROGRAMA SOLIDWORKS 2016.....	22
FIGURA 4.7 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 12.8V.	22
FIGURA 4.8 CAJA DE DISTRIBUCIÓN SBD.	23
FIGURA 4.9 UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO (ECU).	23
FIGURA 4.10 MOTOR-REDUCTOR (MD-O P/N 1406.601).....	24
FIGURA 4.11 PANTALLA GRÁFICA HMI.....	24
FIGURA 4.12 SENSOR DE VELOCIDAD Y EL CABLE CORRESPONDIENTE	25
FIGURA 4.13 SENSOR DE POSICIÓN.	25
FIGURA 4.14 VARIADOR DE FRECUENCIA (WEG-CFW500)	26
FIGURA 4.15 ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.	26
FIGURA 4.16 BANCO DE PRUEBAS.....	27
FIGURA 4.17 SENSOR DE EFECTO HALL.....	28
FIGURA 4.18 TARJETA ELECTRÓNICA PARA CONTEO DE SEMILLAS IDEALES-REALES.	28
FIGURA 4.19 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PCI-NI-6621.	29
FIGURA 4.20 BLOCK DE CONEXIONES.....	29
FIGURA 4.21 COMPUTADORA	30

FIGURA 4.22 SOFTWARE LABVIEW	30
FIGURA 4.23 PROGRAMA PARA CONTEO DE PULSOS REALES-IDEALES Y TIEMPO.	31
FIGURA 4.24 MOTOR ELÉCTRICO.	32
FIGURA 4.25 ADAPTACIÓN DEL SENSOR EFECTO HALL	34
FIGURA 4.26 DISCO FENÓLICO CON 10 IMANES DE NEODIMIO	35
FIGURA 5.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA	37

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 3.1 ETAPAS PARA LA APLICACIÓN DE AP (ADAPTADO DE USDA, 1998).....	7
CUADRO 3.2 PARTES DE CONEXIÓN DE FIELD-IQ.....	17
CUADRO 4.1 METODOLOGÍA GENERAL	33
CUADRO 5.1. REGISTRO DE DATOS VARIANDO LA VELOCIDAD DE AVANCE A 800, 1000, 1500, 2000 PULSOS A UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -10000, BAJANDO LA VELOCIDAD A 1485, 1000 Y 700 Hz.	39
CUADRO 5.2. REGISTRO DE DATOS VARIANDO LA VELOCIDAD DE AVANCE DE 800, 1000, 1500, 2000 PULSOS A UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -8000, BAJANDO LA VELOCIDAD A 1485, 1000 Y 700 Hz.	41
CUADRO 5.3. REGISTRO DE DATOS VARIANDO LA VELOCIDAD DE AVANCE DE 800, 1000, 1500, 2000 PULSOS A UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -6000, BAJANDO LA VELOCIDAD A 1485, 1000 Y 700 Hz.	43
CUADRO 5.4. REGISTRO DE DATOS VARIANDO LA VELOCIDAD DE AVANCE DE 800, 1000, 1500, 2000 PULSOS A UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -4000.....	45
CUADRO 5.5. REGISTRO DE DATOS MANTENIENDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE AVANCE A 800 PULSOS Y VARIANDO LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN EN UN RANGO DE 3500, 3490, 3510,3515, BAJANDO LA VELOCIDAD A 1485, 1000 Y 700 Hz.	48

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 5.1 VELOCIDAD DE AVANCE DE 800, 1000, 1500, 2000 CALIBRADA A 100M A UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE – 10000.....	40
GRÁFICA 5.1A. VELOCIDAD DE AVANCE DE 800 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -10000.	40
GRÁFICA 5.1B. VELOCIDAD DE AVANCE DE 1000 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -10000.	40
GRÁFICA 5.1C. VELOCIDAD DE AVANCE DE 1500 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -10000.	40
GRÁFICA 5.1D. VELOCIDAD DE AVANCE DE 2000 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -10000.	40
GRÁFICA 5.2 VELOCIDAD DE AVANCE DE 800, 1000, 1500, 2000 CALIBRADA A 100M A UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE – 8000.....	42
GRÁFICA 5.2A. VELOCIDAD DE AVANCE DE 800 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -8000.	42
GRÁFICA 5.2B. VELOCIDAD DE AVANCE DE 1000 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -8000.	42
GRÁFICA 5.2C. VELOCIDAD DE AVANCE DE 1500 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -8000.	42
GRÁFICA 5.2D. VELOCIDAD DE AVANCE DE 2000 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -8000.	42
GRÁFICAS 5.3 VELOCIDAD DE AVANCE DE 800, 1000, 1500, 2000 CALIBRADA A 100M A UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE – 6000.....	44
GRÁFICA 5.3A. VELOCIDAD DE AVANCE DE 800 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -6000.	44
GRÁFICA 5.3B. VELOCIDAD DE AVANCE DE 1000 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -6000.	44
GRÁFICA 5.3C. VELOCIDAD DE AVANCE DE 1500 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -6000.	44

GRÁFICA 5.3D. VELOCIDAD DE AVANCE DE 2000 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -6000.	44
GRÁFICAS 5.4 VELOCIDAD DE AVANCE DE 800, 1000, 1500, 2000 CALIBRADA A 100M A UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE – 4000.....	46
GRÁFICA 5.4A. VELOCIDAD DE AVANCE DE 800 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -4000.	46
GRÁFICA 5.4B. VELOCIDAD DE AVANCE DE 1000 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -4000.	46
GRÁFICA 5.4C. VELOCIDAD DE AVANCE DE 1500 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -4000.	46
GRÁFICA 5.4D. VELOCIDAD DE AVANCE DE 2000 PULSOS CALIBRADA A 100M CON UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -4000.	46
GRÁFICA 5.5A VELOCIDAD DE AVANCE DE 800 PULSOS CALIBRADA A 100M A UNA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE -4000	49

RESUMEN

La presente tesis evalúa un Sistema de Control de Velocidad de Dosificación para Semilla, a través del equipo PCS 200 se determina la mejor relación de transmisión junto con la mejor velocidad de avance a cada 100 metros, por lo que se utilizaron sensores de efecto hall, uno para detectar la velocidad de avance a través del motorreductor (ideales) y el otro instalado en la sembradora (reales). Se utilizó un programa para el registro de datos (reales e ideales) así como el tiempo a través del Software LabView, para posteriormente realizar dicha evaluación, también se manipuló un variador de frecuencia, éste para controlar la velocidad del motorreductor.

Durante la evaluación del Sistema de control de Plantación Neumática de Precisión-PCS 200 se obtiene el mínimo de error, en la diferencia entre reales-ideales, en el que se logra una constante en la relación de transmisión, en el cual se puede observar la calidad de funcionamiento del sistema.

Palabras claves: Dosificación, Sensor, Control, Precisión, LabView, Velocidad, Transmisión, PCS 200.

I.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad se encuentran en el mercado varias marcas y tipos de máquinas destinadas a siembra. Sin embargo, no todas estas satisfacen en las mismas medidas los requerimientos para las distintas condiciones de trabajo existentes en las distintas regiones de México.

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 (Medina *et al.*, 2010).

A nivel mundial las oportunidades y riesgos actuales en la producción de alimentos están vinculados con: alta demanda y costo de petróleo y gas natural. El gas natural es 90% del costo de la producción de amoníaco; aumento del área fertilizada en el mundo, deficiencias de nutrientes que limitan la producción de cultivos y forrajes así como altos índices de contaminación ambiental, entre otros.

Una forma de contrarrestar estos efectos y corregir algunas de sus causas es mediante el manejo, óptimo en la aplicación de insumos en la agricultura, para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con 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 (Maroni, 2007).

Se requiere para lo anterior contar con un sistema que se integren, entre otros, por AgDGPS (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial), Sensores, SIG (Sistema de Información Geográfica), así como equipos de dosificación variables de insumos (Lowenberg, 1997).

Actualmente en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) cuenta con maquinaria, equipos e instrumentos automatizados para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión

Por tal motivo durante la convocatoria interna 2009 para proyectos de Investigación de la Universidad, fue presentado y autorizado un proyecto de investigación denominado: “DESARROLLO DE EQUIPOS, SENSORES E INSTRUMENTOS PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y LABRANZA DE CONSERVACIÓN”. Cuyos objetivos planteados fueron:

1. Fortalecer la enseñanza e investigación en agricultura de precisión.
2. Evaluación de calidad de equipos agrícolas de labranza de conservación.
3. Desarrollo de un Sistema de Simulación de dosis variable de semillas.
4. Sistema de Dosificación Variable de Semillas en tiempo real.
5. Desarrollo de equipo para la generación de Mapas de Conductividad Eléctrica, resistencia al corte y penetración geo-referenciados.
6. Desarrollo de un Sistema Integral para el Monitoreo de Fuerzas en Equipo de Labranza.

El presente trabajo se circunscribe en los objetivos 3 y 4 complementado con la evaluación del funcionamiento de un Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión.

II.-OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.

Evaluar el comportamiento de un Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión-PCS 200.

2.2 Objetivos específicos.

- ✓ Determinar el comportamiento de un sistema de dosificación neumática empleando motores eléctricos y sensores de efecto hall.

- ✓ Verificar la calidad de respuesta de los dosificadores ante los cambios de velocidad en términos de uniformidad de dosificación.

III.- REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Antecedentes

En la actualidad la creciente preocupación medioambiental y la necesidad de producir alimentos de mayor calidad de una manera sostenible y respetuosa con el entorno, ubican al sector agroalimentario en el punto de mira de la sociedad. El empleo de la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, siglas en inglés) en el ámbito civil ha fomentado el surgimiento de nuevas fuentes de desarrollo, entre las que se puede mencionar la agricultura, y muy particularmente la agricultura de precisión la cual se puede definir como la posibilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local de un cultivo y obtener una mayor producción con el menor costo posible. El rendimiento agrícola resume el resultado de todo el ciclo de producción de un cultivo, por lo que su censado y mapeo brindan la posibilidad de manejarlo con la elaboración de un mapa de rendimiento del cultivo y una vez obteniendo el rendimiento de cada punto se le puede aplicar una dosis variable de pesticidas, abonos fertilizantes, etc., contribuyendo a minimizar el costo y aumentar la producción y a lograr un mejor equilibrio con el ambiente (Lago et al., 2011)

3.2 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión (AP) es un concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de una importante variabilidad espacial a nivel de campo. La AP requiere del uso de varias herramientas tecnológicas dentro de las cuales destacan, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores remotos, imágenes aéreas y/o satelitales junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones dentro del terreno, (Villalobos *et al.*, 2009).

La agricultura de precisión podría definirse como un conjunto de prácticas agrícolas utilizadas para identificar y registrar la variabilidad de ciertos parámetros agronómicos

dentro de un mismo lote. Sobre la base de dicha información se aplican dosis variables de insumos posicionándolos en el lote acorde a la necesidad de un nivel de productividad prefijado. Definición propuesta por Maroni y Gargivevich (1996).

Bongiovanni (2003) define la agricultura de precisión como: es la utilización de modernas herramientas capaces de facilitar la obtención y análisis de datos georeferenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos. Así como una mayor producción con sostenibilidad del ambiente productivo.

La agricultura de precisión no consiste solamente en medir la variabilidad existente en el área sino también en la adopción de prácticas administrativas que se realizan en función de esa variabilidad.

De acuerdo con Robert (1999), la observación de la existencia de la variabilidad en las propiedades o factores determinantes de la producción en los agroecosistemas no es una novedad. Lo que es diferente, en realidad, es la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear esa variabilidad. Más aún, es posible georeferenciar y aplicar los insumos con dosis variables en puntos o áreas conocidas.

Del campo (2005) define la agricultura de precisión como: el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La agricultura de precisión involucra el uso de sistemas de posicionamiento global y de otros medios electrónicos para implementar planes de manejo de la variabilidad. Junto a la biotecnología, la agricultura de precisión es uno de los cambios tecnológicos más importantes que ha vivido la agricultura en los últimos años.

Los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir este conjunto de tecnología en tres etapas diferentes, AGCO 2005(Allis Corporacion Gleaner).

- ✓ Recolección de datos.
- ✓ Procesamiento e interpretación de la información
- ✓ Aplicación de insumos.

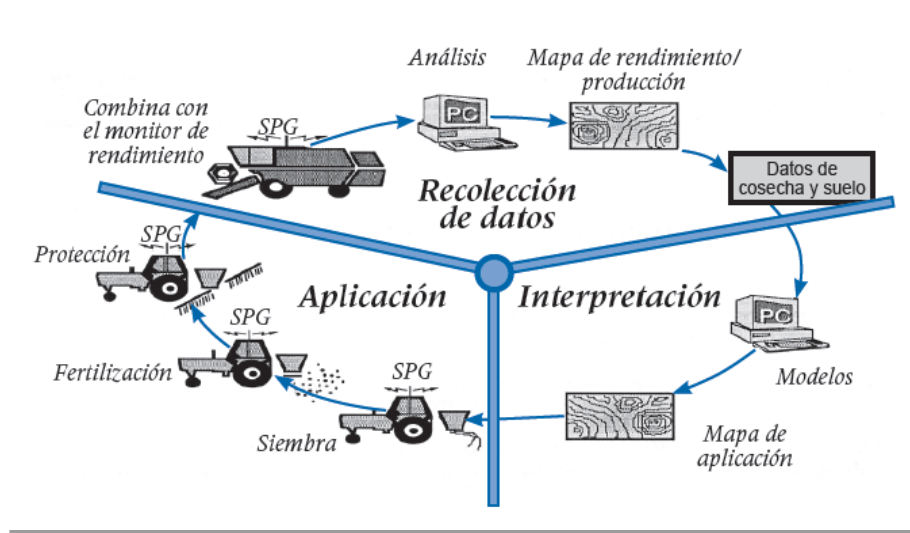


Figura 3.1 Etapas de la agricultura de precisión, Fuente: AGCO.

La idea es relativamente simple: maximizar la producción y minimizar los costos.

Cuadro 3.1 Etapas para la aplicación de AP (Adaptado de USDA, 1998)

ETAPA	TECNOLOGÍA INVOLUCRADA	ACTIVIDADES
Recolección e ingreso de datos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sistema de posicionamiento global (GPS). ➤ Sistema de información geográfica (SIG). ➤ Instrumentos topográficos. ➤ Sensores remotos. ➤ Sensores directos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Medición de la topografía del suelo ➤ Muestreo de suelo en grilla. ➤ Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. ➤ Monitoreo de rendimientos. ➤ Medición directa de las propiedades de 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"> ➤ Programa 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 variable. ➤ 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 de variable de semillas. ➤ Otras.

Actualmente se sigue avanzando en los conocimientos agronómicos, en la apuesta a punto de las herramientas de cosecha de datos geo-referenciados, en el diseño de ensayos y en el desarrollo de nuevas herramientas como los sensores remotos de tiempo real; la percepción remota aportará importantes adelantos tecnológicos. También y por otro camino paralelo se está mejorando la precisión, facilidad de utilización, bajando los costos de todo el equipamiento necesario para un tractor, ya sea con una fertilizadora, sembradora, o pulverizadora para realizar en forma eficiente

la aplicación de insumo variables, a partir de una prescripción, de acuerdo a la necesidad real de cada sitio del lote (Norton, et al., 2001).

3.3 Funciones de una sembradora neumática

Para la realización de una buena siembra se requiere que una sembradora efectúe las siguientes funciones, (Kepner, 1978):

1. Abra el surco para la semilla a una determinada profundidad
2. Mida la semilla
3. Deposite la semilla en el surco dentro de un patrón aceptable.
4. Cubra la semilla y compacte el suelo alrededor de la semilla a un grado propio para el tipo de semilla involucrada.

La sembradora debe ser capaz de no dañar la semilla, para que haya una buena germinación. La semilla debe ser colocada en el suelo de tal manera que todos los factores que afecten a la germinación y las labores de emergencia sean tan favorables como sea posible.

3.3.1 Partes de una sembradora neumática

Las partes de una sembradora de precisión como la que se muestra en la Figura 3.2, son las siguientes (Ortiz, 1989).

- Bastidor
- Discos cortantes de residuo
- Abridor de surcos
- Dosificador de semilla
- Dosificador de fertilizante
- Tapadores de surcos
- Transmisión
- Sensores de dosificación

➤ Turbina

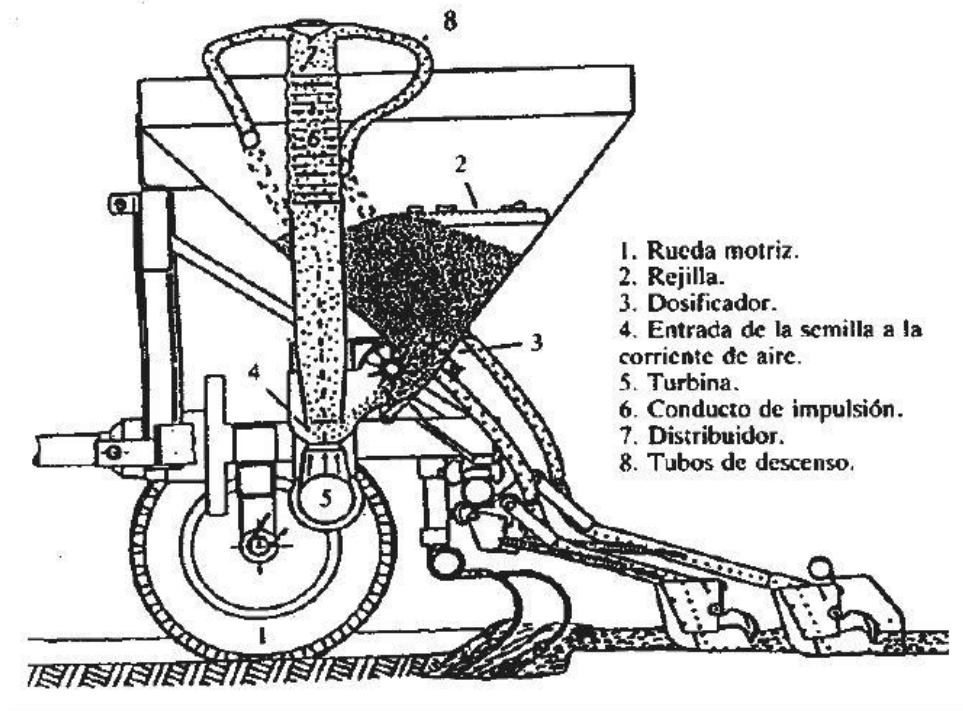


Figura. 3.2 Componentes de una sembradora neumática.

3.3.2 Los dosificadores de semillas pueden ser clasificadas según su sistema de dosificador.

Mecánicas:

- Placa alveolada
- De dedos

Neumáticas:

- Por depresión
- Por soplado

3.4 Siembra de precisión.

Ortiz, (1989) menciona las condiciones que se deben reunir para que una siembra pueda denominarse de precisión:

- a) Las semillas deben de ser de tamaño uniforme y forma preferible esférica.
- b) Las celdas deben de ser de tamaño apropiado para las semillas. Los platos y otras partes críticas del mecanismo de medición deben de ser fabricadas con exactitud.
- c) Las semillas deben tener tiempo suficiente para entrar en las celdas, para lo cual es importante la velocidad periférica del plato.
- d) Debe de existir un buen cepillo, con objeto de evitar siembras múltiples y barrer las semillas mal colocadas con el objeto de que no se quiebren.
- e) Debe existir un sistema positivo de inyección de semillas de modo que las obligue a caer por el tubo de salida.
- f) El tubo de caída debe ser de diámetro pequeño, liso, recto y debe terminar en la proximidad del fondo del surco, con el objeto de que no se retrase la semilla durante la caída. Así, sembrando a una velocidad de 5 km/h con un espacio de 5 cm, si una semilla se retrasa 1/30 seg. al caer, será alcanzada por la semilla siguiente.
- g) Las semillas deben situarse a la profundidad adecuada y no deben desviarse por rebote o rodar en el surco.

3.4.1 Beneficios de la siembra de precisión.

- Ahorro de semilla a aplicar.
- Exactitud en la superficie unitaria de las plantas para una productividad óptima.
- Mayor facilidad para realizar labores de cultivo mecanizadas.
- Disminución de las faenas de escarda aclarado.
- Siembra a distancia definitiva
- Óptimas condiciones para la recolección.

3.4.2 Fórmula para determinar el llenado de celdas.

$$\% \text{ de llenado de celdas} = \frac{\text{semillas reales}}{\text{semillas ideales}} (100\%)$$

3.5 Dosis Variable

Unas de las herramientas que interesa a asesores y productores, en particular, es la dosis variable que actualmente apunta a mejorar el manejo de los insumos, lo que dependerá del cultivo y del fertilizante que se utilice. Ejemplo de esto son los ensayos que buscan curvas de respuesta a la fertilización, que se realizan con nitrógeno y en gramíneas (maíz y trigo básicamente). Por ello, variar las dosis en estos cultivos y con éxito va a depender de los conocimientos que tengamos sobre rendimientos en los diferentes ambientes, el porcentaje de variabilidad del lote y del objetivo que persigue el asesor o productor. Algunos buscan obtener respuestas agronómicas (en vez de una respuesta meramente económica). En la figura 3.3 se muestra una de las herramientas que se utiliza para el manejo de sitio específico.



Figura.3.3 Manejo de sitio específico.

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

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

3.6 Banco de pruebas para las evaluaciones de los motores eléctricos y dosificadores de maíz.

García et al. (2000) desarrollaron un banco de ensayos para sembradoras neumáticas, que consiste en un motor reductor de relación 6:1 con motor de 0.5 kW, la succión de vacío fue proporcionada por un sistema aspirador de 127 voltios finalmente para la simulación de sacudidas empleo una leva, que permitió simular la magnitud la amplitud de las sacudidas desde 0 hasta 25mm. Además realizó un estudio sobre la calidad de dosificación de sembradoras neumáticas en laboratorio, donde se evaluó una sembradora monogrado marca STANHAY, con tres tipos diferentes de semilla, a velocidades del disco dosificador de 12 y 24 rpm con tres niveles de vacío de 30, 40 y 60 milibares con dos niveles de sacudidas de 120 y 240 impactos/minutos, con una amplitud de 20mm. Como resultado las sacudidas alteran notablemente la calidad del

trabajo, como también la velocidad excesiva del mismo disminuye la entrega de semillas del mecanismo dosificador.

Colombino (1996) diseñó y construyó un banco de ensayos para equipos dosificadores de sembradoras y fertilizantes el cual lo componen: la fuente de potencia que consiste en un motor eléctrico de corriente alterna, con un régimen de 1450volts/minutos y 0.75 kW de potencia, para reducir la velocidad del motor empleando un variador mecánico.

Ramírez (2000) desarrolló un sistema semiautomático para el control de la frecuencia de la dosificación de semilla en dos sembradoras unitarias, donde realizó pruebas para determinar el porcentaje de llenado de celdas, a las máquinas de vacío a diferentes rangos de presiones y velocidades del plato semillero, el reporta que los resultados más satisfactorios se dieron a bajas velocidades (26 y 36 rpm) y de (10 y 12.5 pulgadas de agua).

Michel (2014) desarrolló un sistema de simulación en tiempo real de dosis variable de semillas utilizando un programa de control automático que permite el control de velocidad de dosificación empleando instrumentos virtuales, además del registro en tiempo de semilla reales e ideales, donde él reporta que la velocidad de dosificación muestra un efecto menor al 0.4% en el registro de semillas ideales, lo cual implica una alta confiabilidad en el sistema de evaluación, además concluyó que para dosificaciones menores a 570 semillas por minuto puede ser recomendada para AP dado que esta dosificación tiene un CV menor al 5%, para el caso del dosificador Precisión Planting.

La Norma Mexicana NMX-0-168-SFI-2002; para la evaluación de sembradoras indica que se deberá construir un banco de pruebas donde se pueda enganchar la sembradora, deberá tener un motor y transmisión con la que se podrá variar la velocidad de giro del eje de alimentación, además, deberá contar con los aditamentos necesarios con los cuales se podrá simular la pendiente del terreno para conocer el efecto en la dosificación de semilla.

3.7 Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión

El propósito del sistema (PCS 200) es sustituir la transmisión mecánica de discos de siembra por medio de motores eléctricos, permitiendo una mayor flexibilidad de la máquina y proporcionando nuevas funcionalidades que no es posible conseguir con la transmisión mecánica. El PCS 200 se basa en el robusto motor PCS MD, controlado por el PCS 200 ECU.

El sistema puede ampliarse añadiendo unidades adicionales de distribuidores de semillas, así como distribuidores de tolva de fertilizantes, cubriendo prácticamente cualquier configuración de la máquina.

PCS 200 también se puede aplicar a plantadores de vegetales; gracias a la configuración individual de población de filas, es posible aumentar la población de semillas en filas externas y lograr mayores rendimientos.

Sus características principales son:

- ❖ Interfaz de pantalla táctil a color fácil de usar
- ❖ Control de sección manual
- ❖ Ajuste de población en fila individual
- ❖ Supervisión del sensor de siembra
- ❖ Sensor de presión, con advertencias de alta/baja presión
- ❖ Función Tramline
- ❖ Registro del trabajo de siembra para análisis estadísticos.
- ❖ Compatibilidad con CASE IH AFS Y CNH PLM para sección de control.

En la figura 3.4 se muestra los componentes y el esquema básico de conexión de Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión (PCS200).

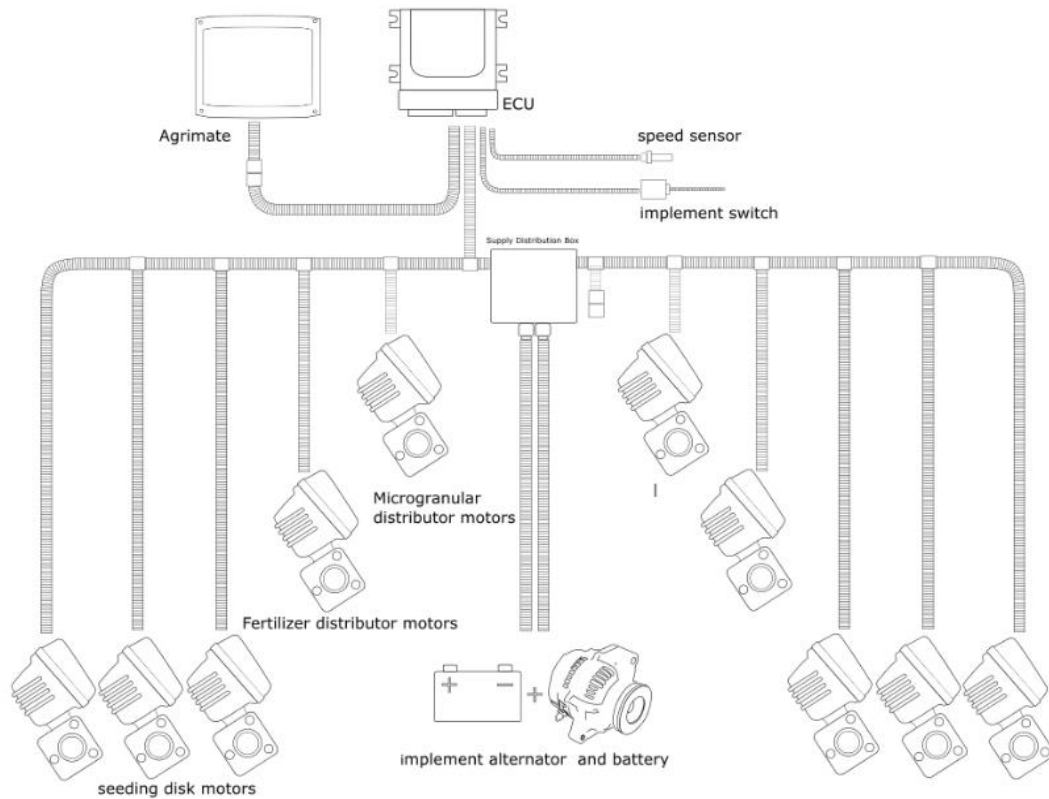


Figura 3.4 Esquema de Conexión Básica del Sistema PCS 200.

3.8 Sistema de dosis variable TRIMBLE

El sistema de control de insumos para cultivos Field-IQ es un sistema para el control de secciones y de aplicación de dosis variable que evita la superposición de semillas y fertilizante, controla la dosis de aplicación de productos y monitorea las dosis de semillas y el bloqueo de fertilizante, y controla la altura de los brazos de aplicación (Trimble, 2017).

La superposición de insumos aumentará sus costos y creará una deficiencia de nutrientes en el suelo debido a la sobrepoblación de semillas. El sistema Field-IQ controla los embragues de la plantadora y una variedad de sistemas de sembradoras neumáticas encendiendo y apagando automáticamente las secciones en función de las zonas de acceso restringido y las áreas ya sembradas.

El monitoreo de la población de semillas, la eliminación de saltos y superposiciones múltiples, y el mantenimiento del espaciamiento correcto entre semillas son criterios para generar el máximo rendimiento por hectárea. El sistema Field-IQ ayuda a los agricultores a evitar que disminuya el rendimiento al monitorear los resultados del análisis de simulación en tiempo real y poder hacer ajustes al instante.

Las plantas pueden tener distintas necesidades nutricionales a lo largo de su ciclo de crecimiento dependiendo de las condiciones del suelo y de otros factores medioambientales. El sistema Field-IQ monitorea y varía simultáneamente la dosis de los productos para plantar las semillas y aplicar los fertilizantes con precisión.

A continuación se muestra en la figura 3.5 el diagrama de conexión de Field-IQ.

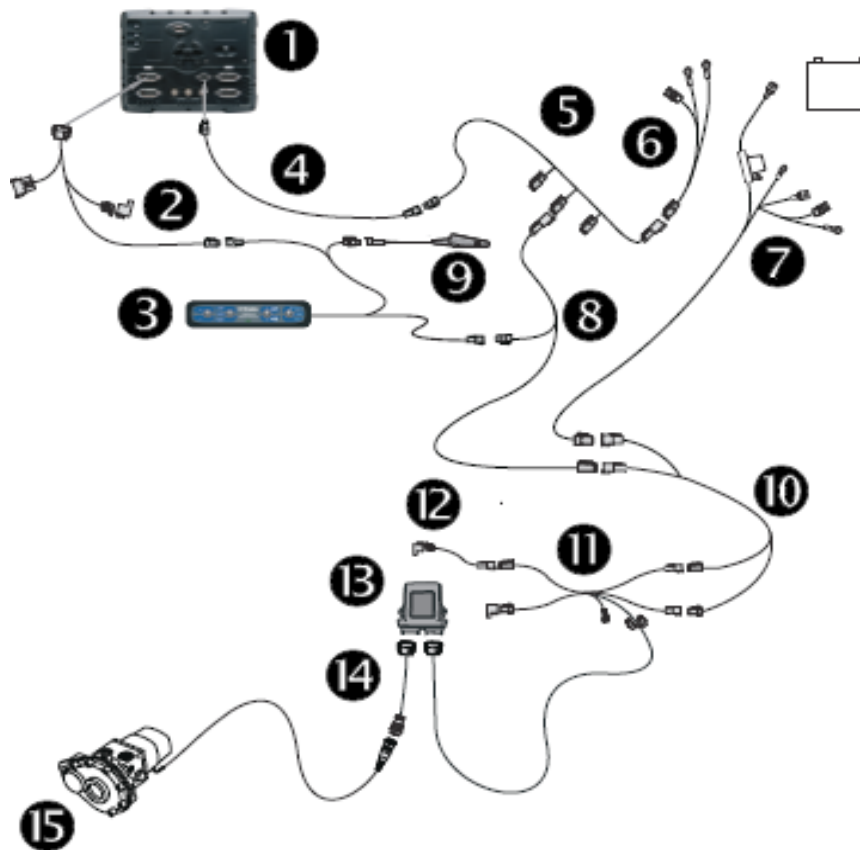


Figura 3.5. Diagrama General de conexión de FIELD-IQ.

En el cuadro 3.2 muestra las partes del diagrama de conexión de FIED-IQ.

Cuadro 3.2 Partes de conexión de FIELD-IQ

	Descripción	Número de parte Trimble
1	Pantalla Integrada AgGPS TM	93100-01
2	Pantalla Integrada Fmx al cable Field-IQ	75834
3	Caja de Conmutación Maestra Field-IQ	75050-01
4	Cable de Alimentación de la pantalla	66694
5	Bus de Alimentación	67259
6	Cable de Alimentación Básico	67258
7	Montaje de Cable, Conexión de alimentación a Enganche	76941
8	Montaje de Cables, Conexión CAN de la cabina a la conexión de Enganche	77368
9	Interruptor de pedal Remoto (Opcional)	60490
10	Cable de Extensión de Alimentación CAN	75528-xx
11	Módulo de soporte de cable Rawson	75527
12	Kit Terminador de implemento (Incluye P/N 75491)	75529
13	Módulo de control Rawson	75070-00
14	Motor Rawson Cable CPC a DTM para motor Rawson	75531
15	Motor de Piñón simple Rawson Par 40	304152

Ventajas

- Elimina la sobre-plantación.
- Aumenta el rendimiento.
- Asegurar un espaciamiento entre semillas correcto.
- Evita la putrefacción de las plantas y la competencia por los nutrientes.
- Crea un rendimiento uniforme en todos los campos.
- Reduce el impacto medio ambiental.

IV.- MATERIALES, EQUIPO Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del lugar.

La evaluación del presente proyecto se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Bellavista, Saltillo Coahuila, México, en el Departamento de Maquinaria Agrícola dentro de las instalaciones de Laboratorio de Prototipos para Agricultura de Precisión



Figura 4.1 Laboratorio de Prototipos para Agricultura de Precisión

4.2 Materiales

Los materiales utilizados para el desarrollo del proyecto fueron los siguientes:

- Microcontrolador PIC16F84, con memoria tipo flash lo que permite que sea reprogramado, compuesto de 18 pines, 13 pines de E/S, 5 del puerto A y 8 del puerto B, utiliza un oscilador de cristal de 4 MHz, cuenta con una memoria de programación serial de 1024 registros, 128 posiciones de memoria RAM de 8 bits cada una y 64 posiciones de memoria EEPROM.



Figura 4.2 Microcontrolador PIC16F84 (MICROCHIP)

- Se utilizó herramientas y componentes electrónicos, en la construcción del circuito que manipuló un sensor de efecto HALL DN6851A de Panasonic Electronic Components



•

Figura 4.3 Sensor de efecto HALL DN6851A (Panasonic Electronic Components).

- Para el acondicionamiento del prototipo de banco de pruebas de dosificadores de semillas se utilizó el taller de máquinas y herramientas, el cual consta de las herramientas necesarias para el trabajo.



Figura 4.4 Taller de máquinas y herramientas.

4.3.- Equipos

Los equipos utilizados para el desarrollo de este proyecto fueron.

4.3.1 Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión (PCS 200).

- Motores (MD-O P/n1406.601) Tensión nominal 12v, par nominal 8.75Nm, velocidad nominal 100rpm.
- Unidad de control electrónico (ECU), Procesador 80 MHz, Flash Mem., 2.5 Mb, RAM 128 Kb, NVRAM 8 Kb CAN bus línea 3, Protección IP69K.
- Pantalla (HMI), pantalla de color TFT de 7 pulgadas, Resolución 800 x 400 pixeles, 18 bpp, pantalla táctil resistiva.
- Caja de distribución (SDB). Caja de alimentación con fusibles.
- Kit de cables de comunicación y corriente
- Sensor de velocidad GS102301 (P/N ROJ 50A00174)
- Sensor de posición del implemento (P/N ROJ 05R01306)
- Una fuente de alimentación (S-400-13.5) conmutada de 8v a 16v a 30amp.

4.3.1.1 Diseño del soporte para el Equipo MD

- Se diseñó un soporte para un motor eléctrico de 100 rpm (MD-O P/n1406.601) en el programa SolidWorks 2016, posteriormente se instaló en el banco de pruebas de una sembradora.

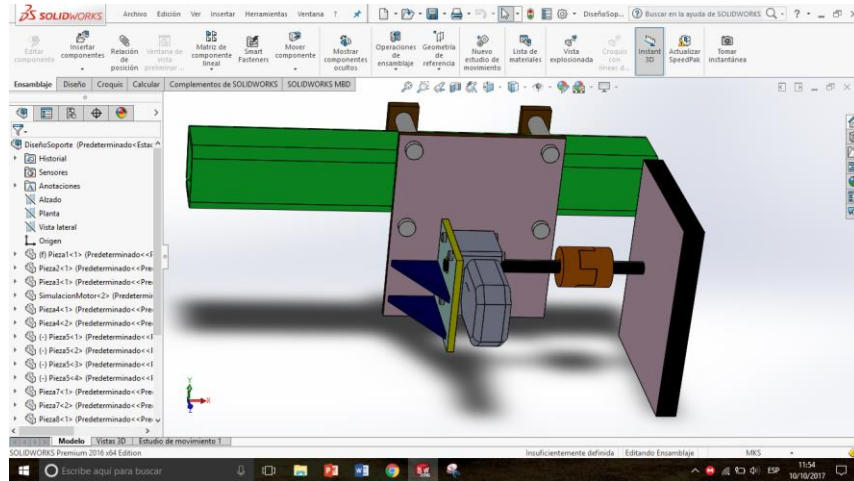


Figura 4.5 Diseño del soporte en el programa SolidWorks 2016.

4.3.1.2 Partes del soporte para el MD.

El diseño del soporte para el motor MD consta de una base, un soporte, 4 tornillos, 4 tuercas con 2 sujetadores, retenes para el soporte del motor, un cople y una flecha de 19 mm de acero 1045.

La base del soporte para el motor va atornillada con dos sujetadores, así mismo el soporte para el motor va soldada con la base, de igual manera se coloca retenes al soporte para que este quede fijo, de tal manera que quedara nivelado.

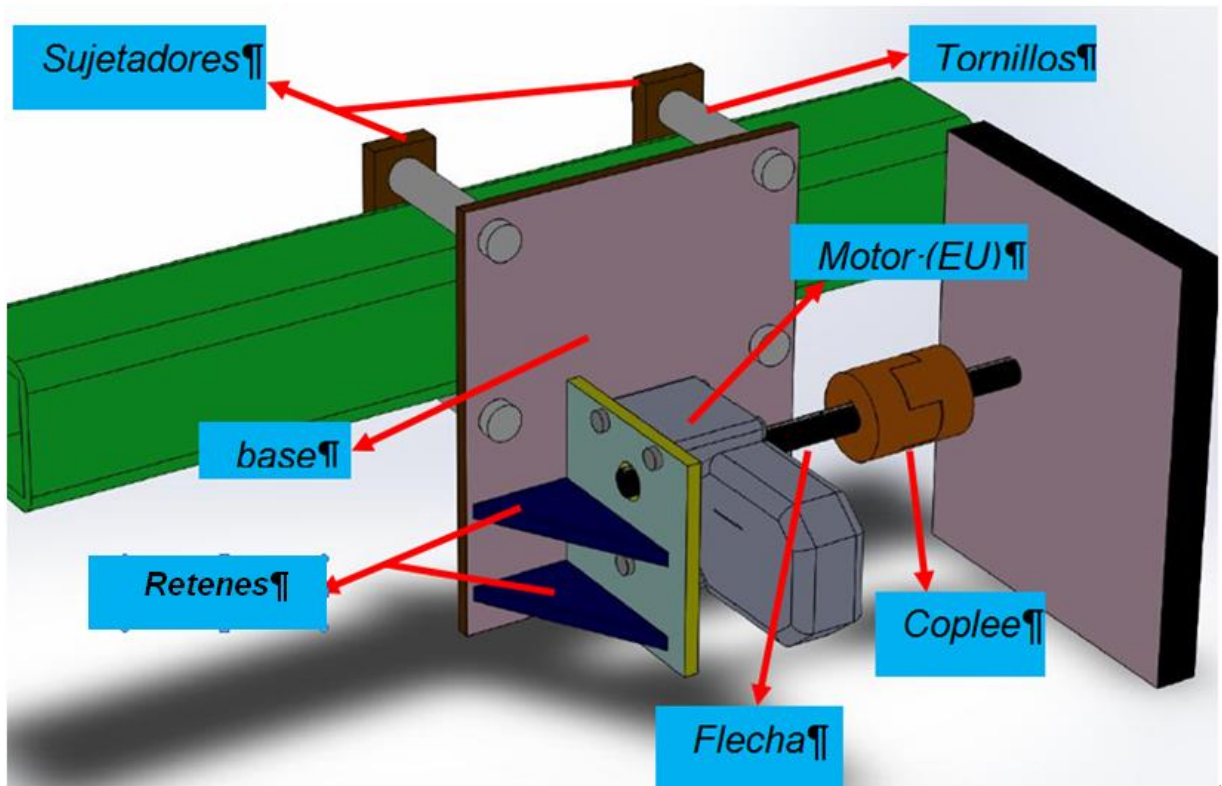


Figura 4.6 Partes del soporte para el motor (MD) en el programa SolidWorks 2016.

4.3.2 Instalación del Equipo PCS 200

- Colocación de una fuente de alimentación Marca SMUN (S-400-13.5) conmutada de 8v a 16v a 30amp, lo cual se sustituyó a un acumulador para obtener 12.8v.



Figura 4.7 Fuente de alimentación de 12.8v.

- Se realizó las conexiones necesarias de la fuente de alimentación a la caja de distribución (SBD) con fusibles como se muestra en la figura 4.8.

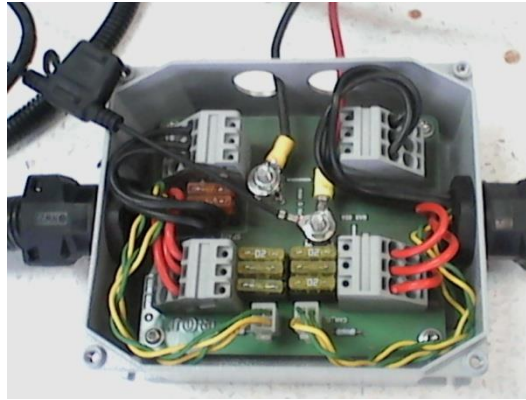


Figura 4.8 Caja de Distribución SBD.

- De la caja de distribución se conectó a la Unidad de Control Electrónico ECU, Procesador 80 MHz, Flas Mem. 2.5 Mb, RAM 128 Kb, NVRAM 8 Kb, CAN bus línea 3, Protección IP69K. (<http://www.roj.com/prodotti/mechatronic-systems/planter-control-system-pcs-200/>)



Figura 4.9 Unidad de Control Electrónico (ECU).

- De la caja de distribución se conectó al Motor Reductor-MD-O P/n1406.601.



Figura 4.10 Motor-Reductor (MD-O P/n 1406.601)

- A partir de la Unidad de Control Electrónico (ECU) se conectó a la pantalla Grafica HMI como se muestra en la figura 4.11.



Figura 4.11 Pantalla Gráfica HMI.

- Del cableado de la Unidad de Control Electrónico ECU también se conectan el sensor de posición, el cual es un sensor de proximidad inductivo (P/N ROJ 05R01306) utilizado para definir si la máquina está en posición de siembra (maquinaria abajo-maquinaria arriba), el sensor de velocidad GS102301 (P/N

ROJ 50A00174) que detecta la velocidad de una rueda dentada y el cable relevante (P/N ROJ 05R01400) como se muestra en la figura 4.12 y 4.13.



Figura 4.12 Sensor de Velocidad y el cable correspondiente

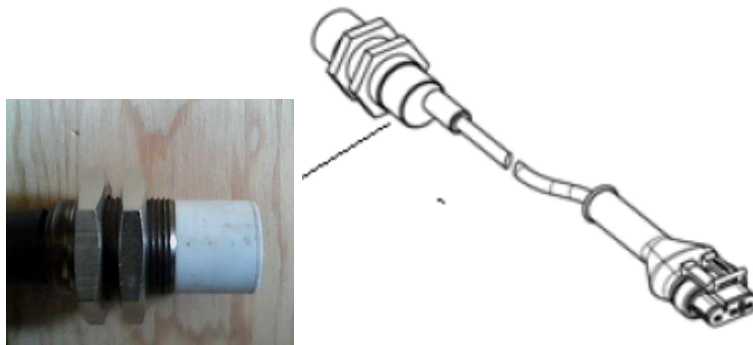


Figura 4.13 Sensor de Posición.

4.3.3 Variador de frecuencia

Se utilizó un variador de frecuencia CFW500 marca WEG con rango de potencia a 2.2 Kw (3 Hp). Este variador nos permite controlar la velocidad por medio del control de frecuencia de alimentación suministrada al motorreductor para iniciar la transmisión de los sistemas dosificadores del banco de pruebas.



Figura 4.14 Variador de frecuencia (WEG-CFW500)

4.3.3.1 Instalación del variador de frecuencia

Se realizó y se verificó las conexiones de entrada (R, S, T) y salida (U, V, W) para el correcto funcionamiento de éste, y se hizo la conexión a un motor eléctrico.

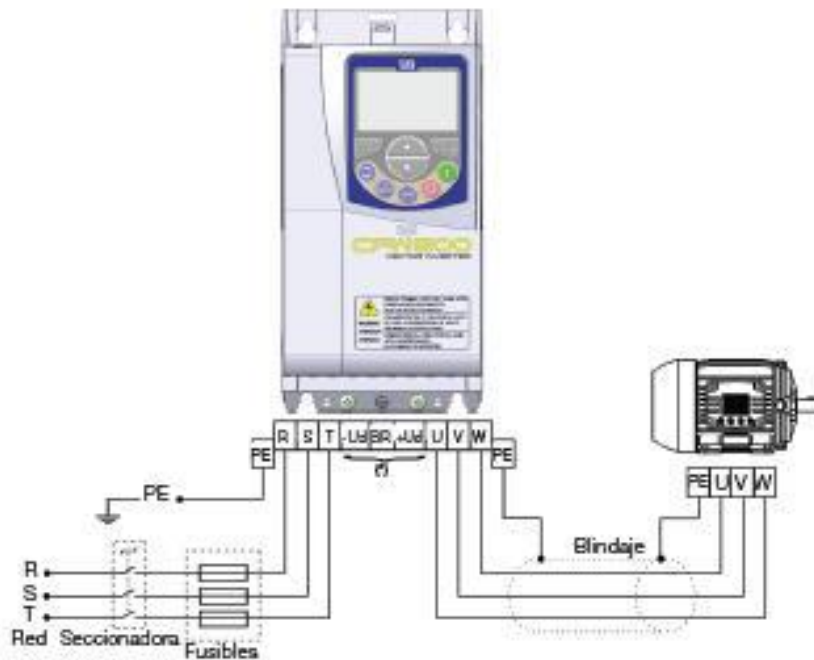


Figura 4.15 Esquema de conexión del variador de frecuencia.

4.3.4 Banco de pruebas

El sistema utilizado en la evaluación se encuentra ensamblado a un chasis, un sistema de dosificación de semillas en tiempo real y un motorreductor. El dosificador neumático Max Emerge 7200, contiene los siguientes ensambles: Un disco que simula el plato dosificador con respecto a semillas ideales, un sensor opto-electrónico (semilla ideal), un sensor de semilla real y velocidad.



Figura 4.16 Banco de pruebas

4.3.5 Sensor de pulsos de efecto HALL

Se desarrolló y se adaptó un sensor de efecto Hall DN6851A como se muestra en la figura 4.18, para el conteo de pulsos ideales y reales, en el motor eléctrico (placa fenólica con 10 imanes) y en el disco de la sembradora; en este se acopla un disco metálico el cual tiene 30 perforaciones al igual que el plato dosificador de la sembradora.

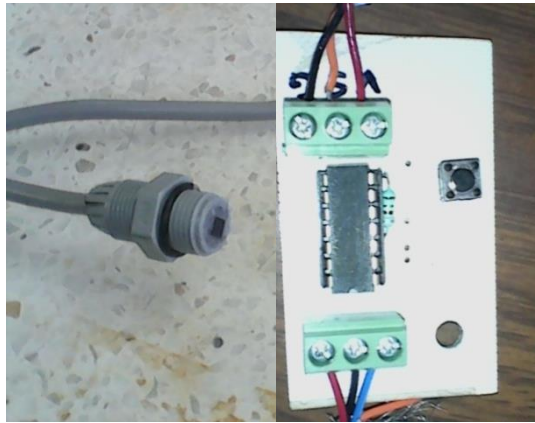


Figura 4.17 Sensor de Efecto HALL

4.3.6 Tarjetas electrónicas

Se utilizó las tarjetas electrónicas hechas en la UAAAN por (Michel 2014). Estas para llevar un conteo de pulsos reales e ideales recibidos a través de los sensores de efecto Hall.

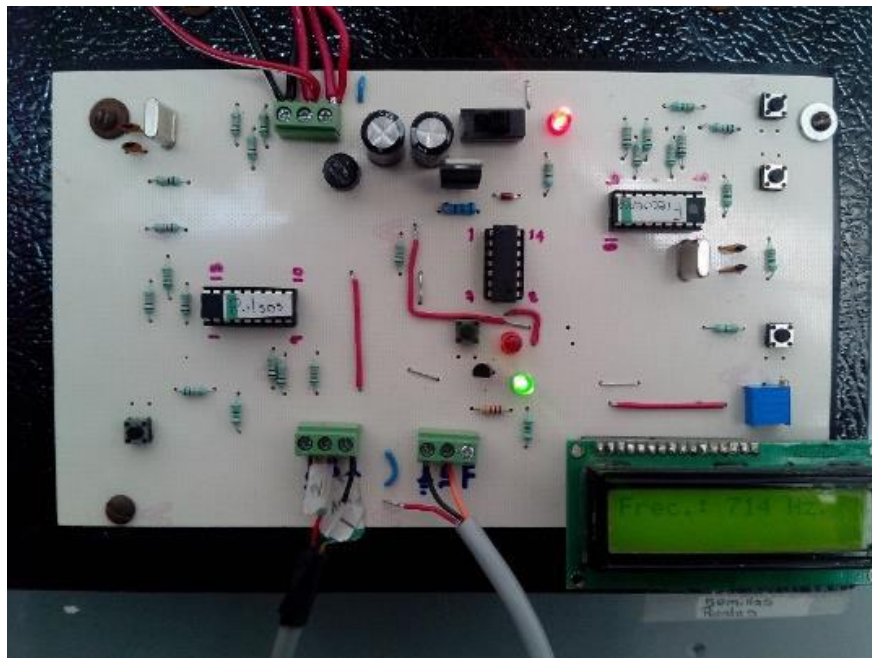


Figura 4.18 Tarjeta electrónica para conteo de semillas ideales-reales.

4.3.7 Tarjeta de adquisición de datos National Instrument

Tarjeta de entrada/salida PCI-NI-6621, para uso de adquisición de datos en las series X, M y E (solo NI-DAQmx), ensamblada en la tarjeta madre del CPU de la computadora, para recibir y enviar la información del programa gráfico de LabView.



Figura 4.19 Tarjeta de adquisición de datos PCI-NI-6621.

4.3.8 Tarjeta de conexión de señales externas. (Tipo comercial de la marca National Instrument (NI SCC-68))

Es utilizada para la comunicación externa con las tarjetas electrónicas las cuales reciben la señal del sensor pulsos reales e ideales y mandar señal al variador de frecuencia.

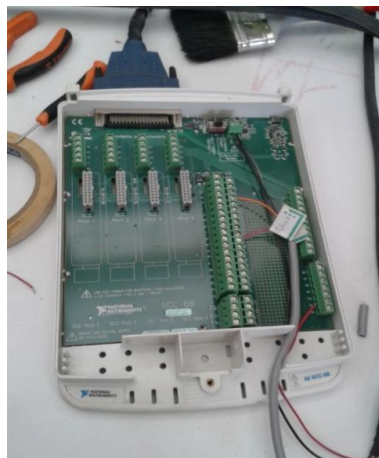


Figura 4.20 Block de conexiones.

4.3.9 Computadora personal

Computadora personal marca DELL con sistema operativo Windows 8.1, pantalla de 15 pulgadas marca Lanix, quemador de DVD y CD con regulador de voltaje, procesador Intel (R) Core(TM)2 CPU de 1.86 GHz, memoria RAM de 1 GB y memoria de disco duro de 297 GB.



Figura 4.21 Computadora

4.3.10 Software LabView

El software LabView de National Instruments. Es el software en el cual se desarrolló el programa virtual que permite tener comunicación con la tarjeta de adquisición de datos National Instruments, mismo que recibe y envía señales de los sensores y actuadores, activando de forma dinámica y variable los sistemas de dosificación.

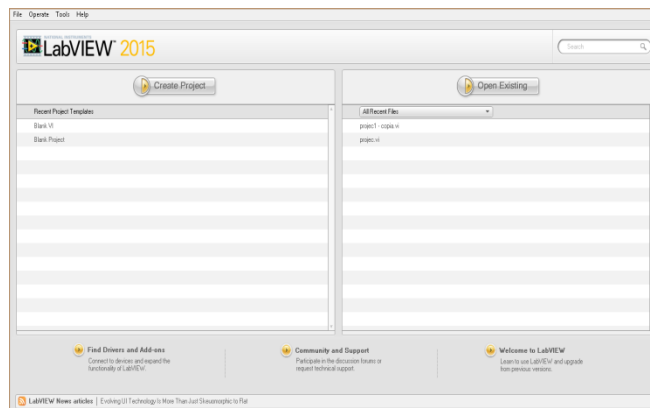


Figura 4.22 Software LabView

4.3.11 Programa para el registro de pulso real-ideal

En la figura 4.23 se muestra el programa para el conteo de pulsos reales (pulsos del dosificador) e ideales (número de pulsos de la velocidad de avance que se simula en el motorreductor), así como el voltaje de referencia para el control de frecuencia del variador y el tiempo.

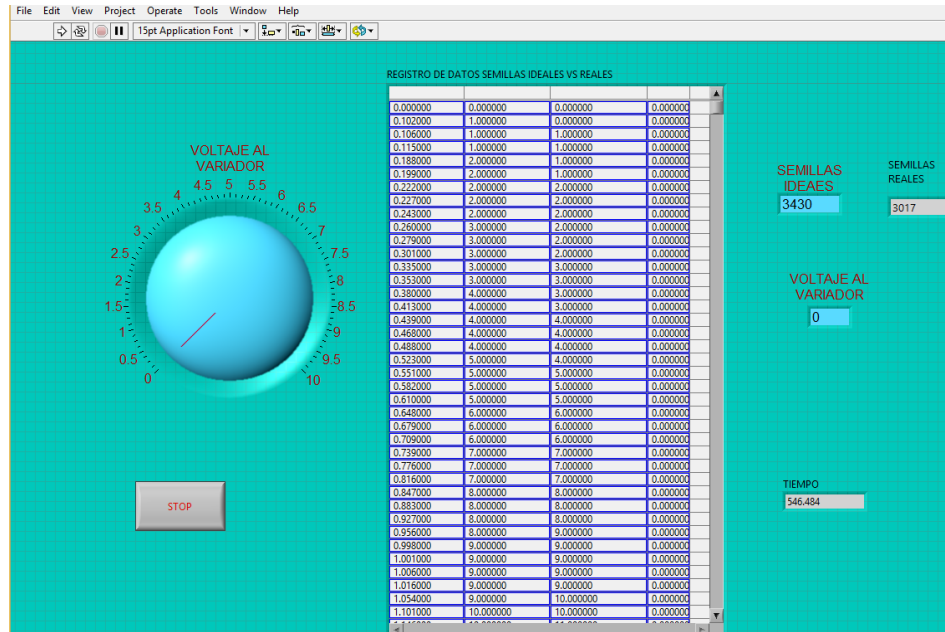


Figura 4.23 Programa para conteo de pulsos reales-ideales y tiempo.

4.3.12 Motor eléctrico con reductor de velocidad.

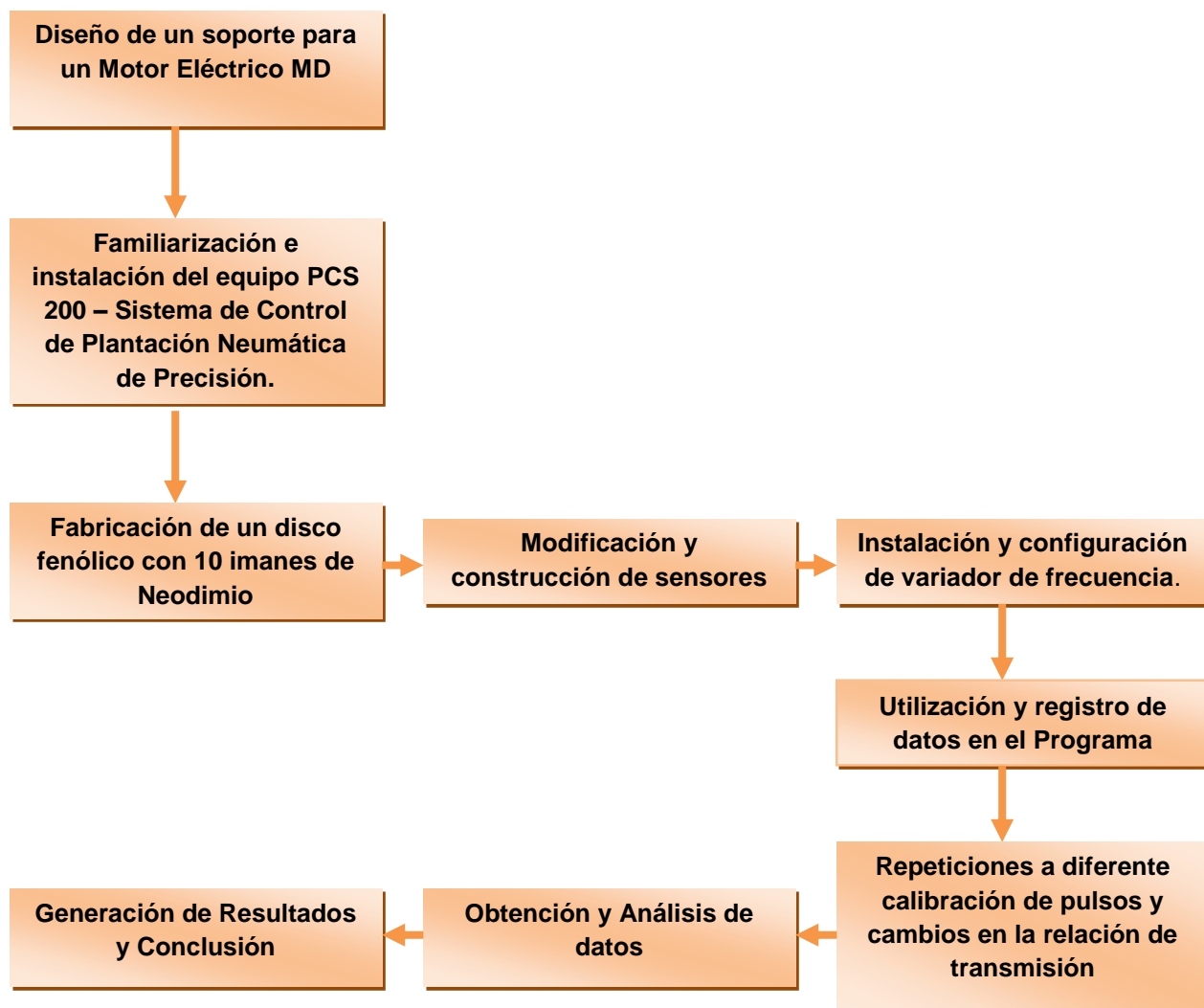
Se utilizó un motor eléctrico EBERHARD BAUER D-73734 ESSLINGEN MOTOR (196073-1/1994) a 1350 RPM, en éste se controló la velocidad desde el variador de frecuencia.



Figura 4.24 Motor eléctrico.

4.4 Metodología

La metodología general para alcanzar los objetivos planteados es la que se describe en la imagen del diagrama de bloques.



Cuadro 4.1 Metodología General

4.4.1 Diseño e instalación de un soporte para un motor eléctrico MD

Se diseñó un soporte-base para motor eléctrico con el programa SolidWorks 2016 para obtener un modelo base y conseguir la estructura correcta del motor ensamblado a la flecha de la sembradora en conjunto con el chasis.

4.4.2 Familiarización e instalación del equipo PCS 200.

Se realizó e instaló correctamente cada parte del equipo para luego familiarizarse y conocer el funcionamiento correcto del Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión (PCS 200) y no tener problemas al momento de su configuración.

4.4.3 Modificación y construcción de los sensores de efecto HALL

Se construyó y se hizo una adaptación al circuito de efecto HALL de tal manera que el sensor esté externo al circuito rectificador de señal por reducción de espacio.

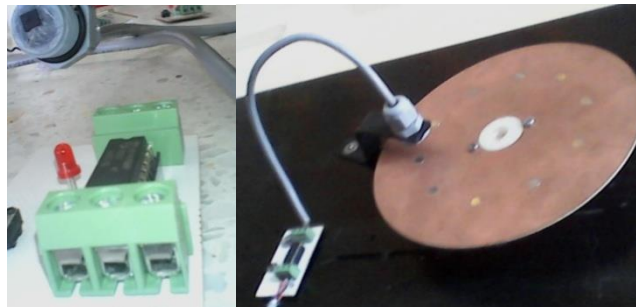


Figura 4.25 Adaptación del Sensor Efecto HALL

4.4.4 Fabricación de un plato fenólico con 10 imanes

Se fabricó en el taller de herramientas un plato fenólico con 10 perforaciones la cual se utilizaría para simular la velocidad de avance del tractor con los 10 imanes de Neodimio colocados y detectados a través del sensor de velocidad del equipo PCS 200.

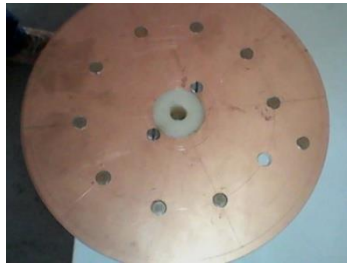


Figura 4.26 Disco fenólico con 10 imanes de Neodimio

4.4.5 Instalación y configuración del variador de frecuencia

Se instaló correctamente y se utilizó el variador de frecuencia para poder controlar de manera manual la velocidad del motorreductor y a través de los imanes instalados en el disco junto con el motorreductor, el sensor de velocidad registraría la velocidad emitida en la unidad de control y se reflejaría en la pantalla HMI.

4.4.6 Utilización y registro de datos en el programa LabVIEW

Se utilizó el programa LabView y la programación hecho por (Roblero, 2017) para registrar los datos que emitían los sensores de efecto Hall a través de los platos instalados en el motorreductor y en el engrane del banco de pruebas de la sembradora. Solo se realizaron las conexiones adecuadas de las tarjetas electrónicas al block de conexiones y éste a la tarjeta de adquisición de datos luego se conectó al programa LabView para ser plasmadas en el monitor de la computadora.

4.5 Evaluación del Sistema

Para la obtención de datos se realizaron repeticiones en el laboratorio de pruebas a diferentes cambios de velocidad de avance y a diferentes cambios en la relación de transmisión.

- ✚ Ser realizaron 4 repeticiones variando la velocidad de avance (pulsos), de cada repetición se cambiaron 3 rangos de velocidades controlados en forma manual en el convertidor de frecuencia con un rango máximo de 1485Hz, así mismo variando la relación de transmisión a cada repetición.
- ✚ Para realizar el análisis de datos se empleó Microsoft Excel 2007

V.- RESULTADOS

A continuación se describen los resultados obtenidos, diseño y montaje de un soporte para un motor eléctrico (MD-O P/n1406.601), configuración del variador de frecuencia WEG CFW500, conexión de la tarjeta de componentes y el variador de frecuencia al bloque de conexión, así como la instalación y adaptación del Equipo PCS 200.

Los elementos que se compone el sistema de evaluación se muestra en la figura 5.1.

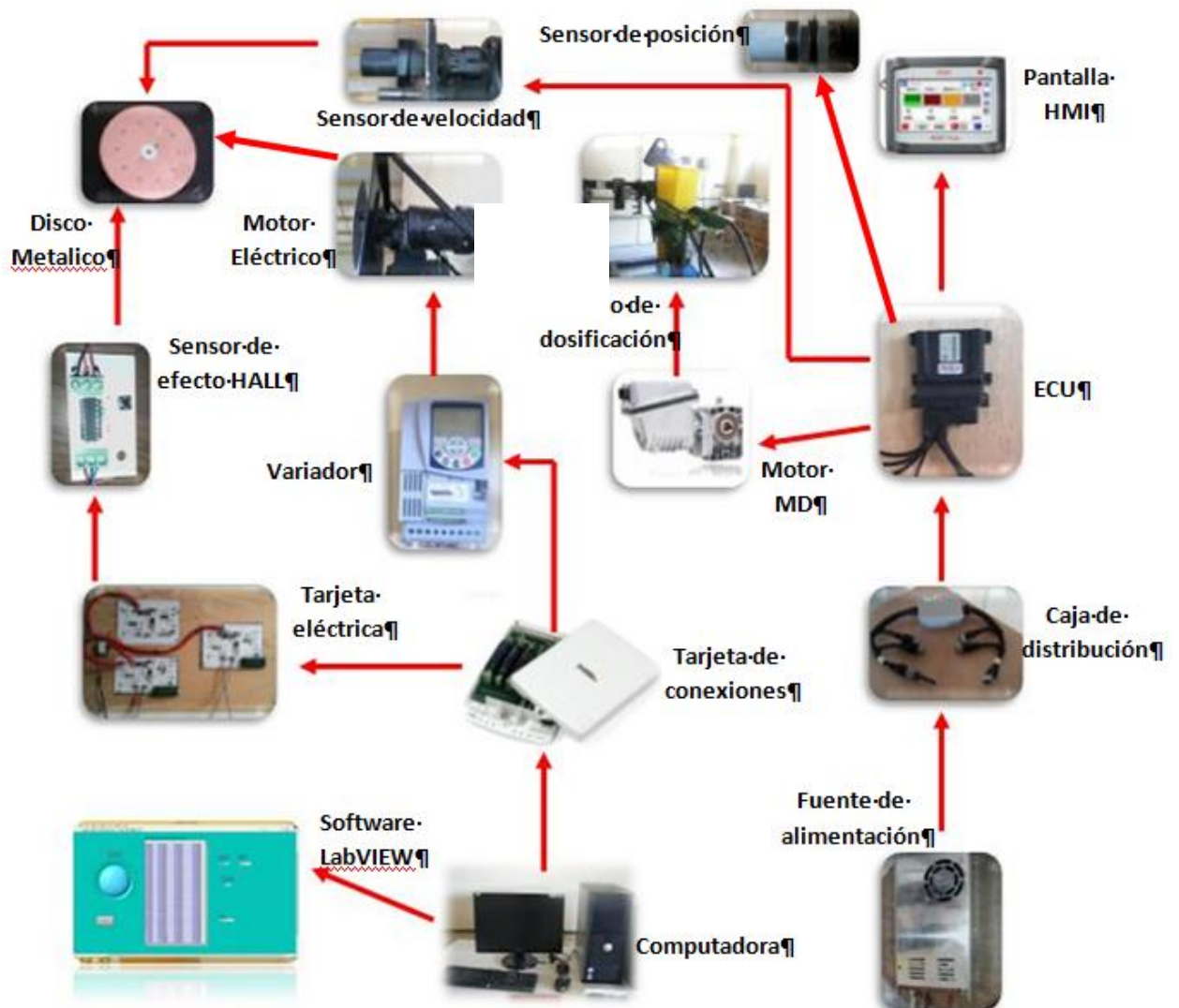


Figura 5.1 Elementos del Sistema

5.1 Funcionamiento de componentes

Una vez completados todos los componentes se realizó las conexiones necesarias y se comprobó el funcionamiento de cada uno de ellos, así como la verificación del programa semillas reales-ideales en el software LabView.

5.2 Programa conteo de pulsos

Se contrastó que el programa que se utilizó para el contador de pulsos (semillas ideales-reales y tiempo entre pulsos) hecho en LabView funcionara correctamente, a este programa se agregó el tiempo, por lo que se rediseño el programa agregándole un temporizador.

Se prosiguió a verificar que el conteo que se registraba en el programa fueran los mismos pulsos que mandaba la tarjeta a través del sensor.

5.3 Evaluación del sistema dosificador

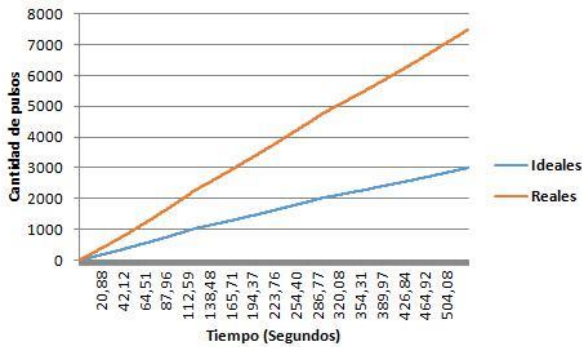
A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las diferentes experimentos de acuerdo al cambio de la velocidad de avance y relación de transmisión, controlando en forma manual la velocidad a través del convertidor de frecuencia a una velocidad máxima detectada por el sensor de velocidad de 3.8 km/h.

En cuadro 5.1 se muestra el número de pulsos, tomando la mínima 800 pulsos y variando a 1000, 1500 y a 2000 pulsos, calibrada a 100 metros de avance y manteniendo constante la relación de transmisión tomando - 10000, comenzando de forma manual en el convertidor de frecuencia a una máxima de 1485 Hz bajando la velocidad a 1000Hz y 700Hz realizando los cambios de velocidad a cada 1000 pulsos (ideales).

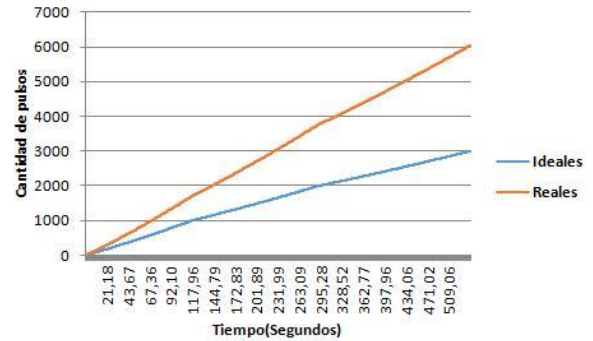
Cuadro 5.1. Registro de datos variando la velocidad de avance a 800, 1000, 1500, 2000 pulsos a una relación de transmisión de -10000, bajando la velocidad a 1485, 1000 y 700 Hz.

800 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -10000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	118.548	2213	1000	3.8	1485
	291.412	4714	2000	2.6	1000
	543.964	7493	3000	1.8	700
1000 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -10000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.798	1706	1000	3.1	1485
	292.555	3767	2000	2.1	1000
	547.105	6036	3000	1.4	700
1500 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -10000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.4	1328	1000	2.0	1485
	291.505	2843	2000	1.4	1000
	545.044	4360	3000	0.9	700
2000 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -10000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.262	1130	1000	1.5	1485
	290.172	2269	2000	1.0	1000
	543.341	3409	3000	0.7	700

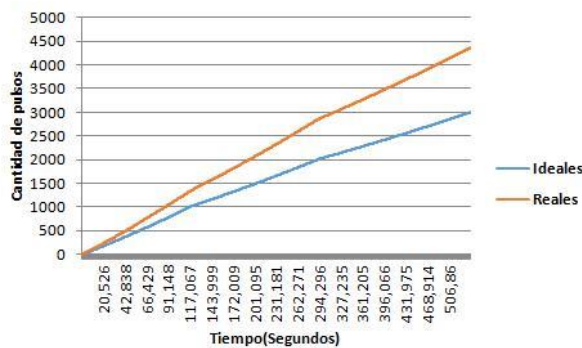
De acuerdo a los resultados que se obtuvo en el cuadro 5.1 se generaron las siguientes gráficas 5.1a, 5.1b, 5.1c 5.1d.



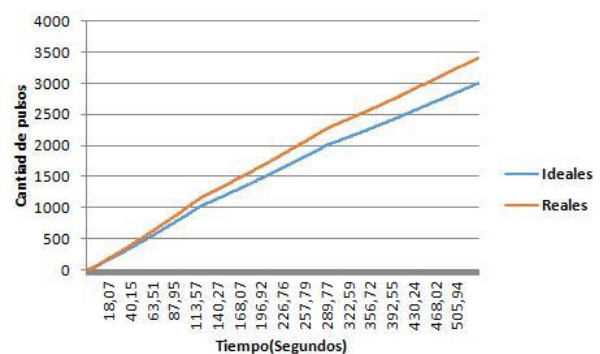
Gráfica 5.1a. Velocidad de avance de 800 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de - 10000.



Gráfica 5.1b. Velocidad de avance de 1000 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de - 10000.



Gráfica 5.1c. Velocidad de avance de 1500 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de - 10000.



Gráfica 5.1d. Velocidad de avance de 2000 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de - 10000.

Gráfica 5.1 Velocidad de avance de 800, 1000, 1500, 2000 calibrada a 100m a una relación de transmisión de – 10000.

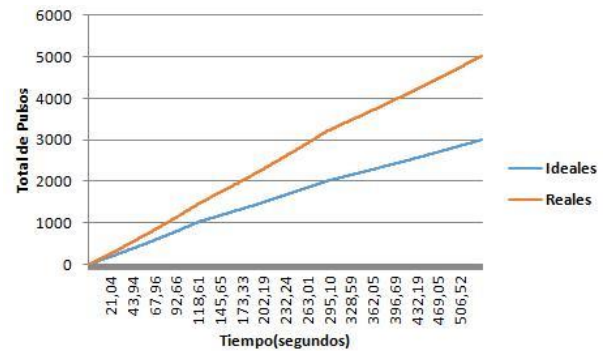
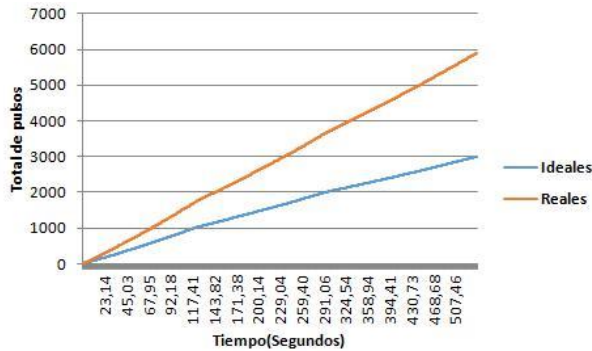
En la gráfica 5.1a, 5.1b y 5.1c se muestra una dispersión amplia en comparación con la última gráfica 5.1d, por lo que se deduce que a mayor número de pulsos menor será la velocidad en km/h, lo que se busca es tener una proporción de 1:1 entre la velocidad de avance y la relación de transmisión con una máxima velocidad de 3.8 km/h.

En el Cuadro 5.2 se muestra la velocidad de avance de 800,-1000,-1500,-2000 pulsos calibrada a 100 metros manteniendo una constante en la relación de transmisión de – 8000, reduciendo la velocidad en un rango de 1485Hz, 1000Hz y 700Hz a cada 1000 pulsos.

Cuadro 5.2. Registro de datos variando la velocidad de avance de 800, 1000, 1500, 2000 pulsos a una relación de transmisión de -8000, bajando la velocidad a 1485, 1000 y 700 Hz.

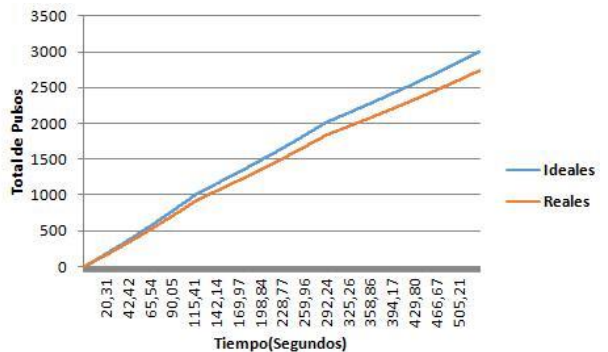
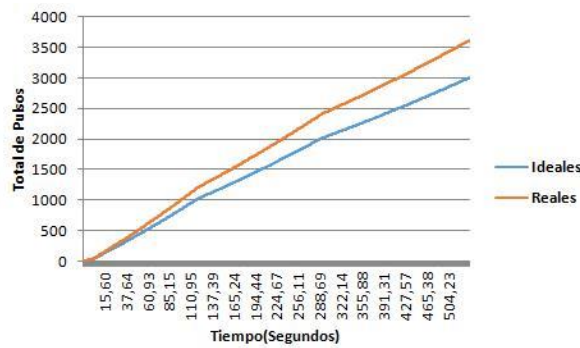
800 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -8000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	120.012	1706	1000	3.8	1485
	293.006	3645	2000	2.6	1000
	546.245	5898	3000	1.8	700
1000 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -8000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.362	1432	1000	3.1	1485
	290.583	3189	2000	2.1	1000
	543.727	5014	3000	1.4	700
1500 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -8000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.168	1180	1000	2.0	1485
	290.204	2394	2000	1.4	1000
	542.81	3608	3000	0.9	700
2000 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -8000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.261	912	1000	1.5	1485
	290.467	1823	2000	1.0	1000
	542.964	2734	3000	0.7	700

De acuerdo a los resultados que se obtuvo en el cuadro 5.2 se generaron las siguientes gráficas 5.2a, 5.2b, 5.2c y 5.2d.



Gráfica 5.2a. Velocidad de avance de 800 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -8000.

Gráfica 5.2b. Velocidad de avance de 1000 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -8000.



Gráfica 5.2c. Velocidad de avance de 1500 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -8000.

Gráfica 5.2d. Velocidad de avance de 2000 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -8000.

Gráfica 5.2 Velocidad de avance de 800, 1000, 1500, 2000 calibrada a 100m a una relación de transmisión de -8000.

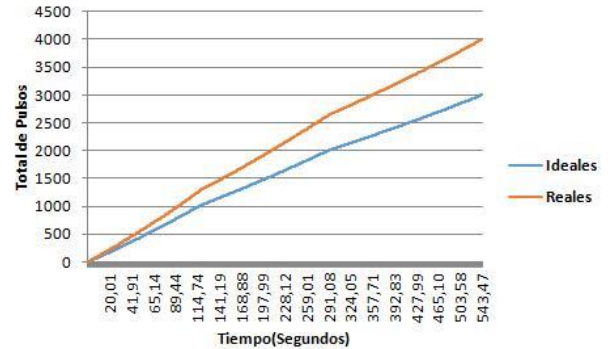
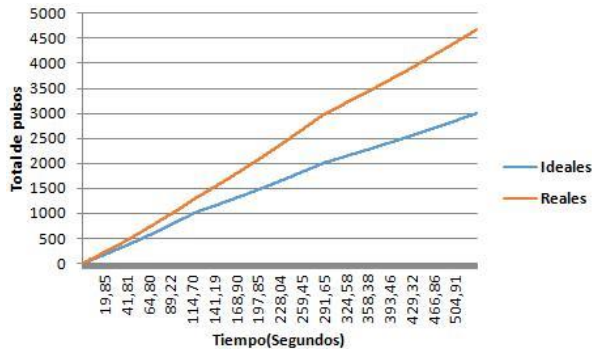
En la gráfica 5.2a, 5.2b se muestra una dispersión amplia en comparación con la gráfica 5.2c y 5.2d, con la diferencia de la última gráfica (5.2d) que los pulsos reales tiene un decrecimiento entre los pulsos ideales.

En Cuadro 5.3 se muestra la velocidad de avance a 800, 1000, 1500, 2000 pulsos calibrada a 100 metros manteniendo constante la relación de transmisión de – 6000, reduciendo la velocidad en un rango de 1485hz, 1000hz, 700hz a cada 1000 pulsos (ideales)

Cuadro 5.3. Registro de datos variando la velocidad de avance de 800, 1000, 1500, 2000 pulsos a una relación de transmisión de -6000, bajando la velocidad a 1485, 1000 y 700 Hz.

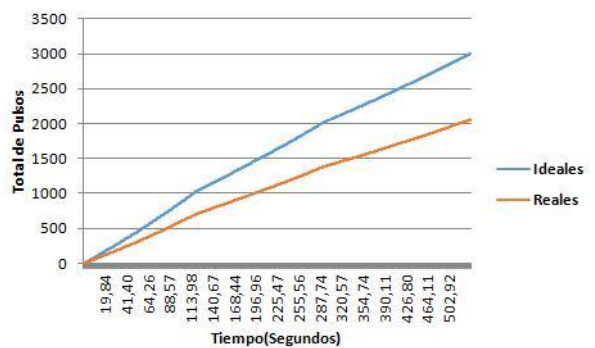
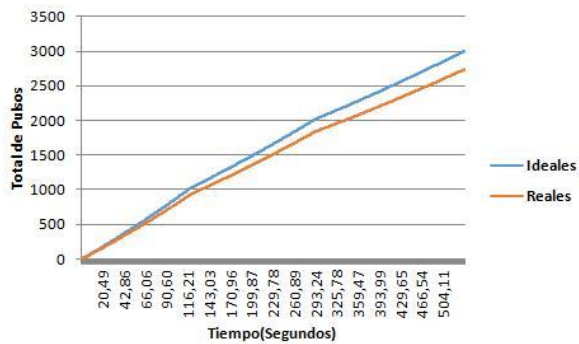
800 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -6000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.072	1281	1000	3.8	1485
	290.433	2965	2000	2.6	1000
	543.427	4673	3000	1.8	700
1000 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -6000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	116.937	1267	1000	3.1	1485
	290.28	2630	2000	2.1	1000
	543.052	3996	3000	1.4	700
1500 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -6000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.137	910	1000	2.0	1485
	289.663	1822	2000	1.4	1000
	541.847	2734	3000	0.9	700
2000 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -6000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.204	685	1000	1.5	1485
	289.812	1370	2000	1.0	1000
	541.825	2055	3000	0.7	700

De acuerdo a los resultados que se obtuvo en el cuadro 5.3 se generó las siguientes gráficas 5.3a, 5.3b, 5.3c 5.3d.



Gráfica 5.3a. Velocidad de avance de 800 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -6000.

Gráfica 5.3b. Velocidad de avance de 1000 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -6000.



Gráfica 5.3c. Velocidad de avance de 1500 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -6000.

Gráfica 5.3d. Velocidad de avance de 2000 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -6000.

Gráficas 5.3 Velocidad de avance de 800, 1000, 1500, 2000 calibrada a 100m a una relación de transmisión de – 6000.

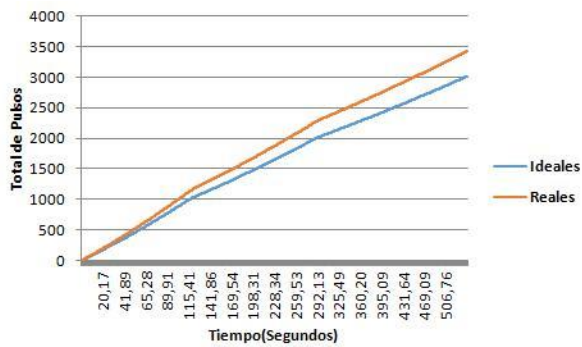
En la gráfica 5.3a, 5.3b, 5.3d se muestra una dispersión amplia en comparación con la gráfica 5.1c, se observa que en las gráficas 5.3c y 5.3d existe la diferencia que los pulsos reales tuvieron un decrecimiento a las ideales, a una velocidad de 3.8 km/h.

En el Cuadro 5.4 se muestra la velocidad de avance a 800, 1000, 1500, 2000 pulsos calibrada a 100 metros manteniendo constante la relación de transmisión de – 4000, reduciendo la velocidad en un rango de 1485hz, 1000hz, 700hz a cada 1000 pulsos (ideales)

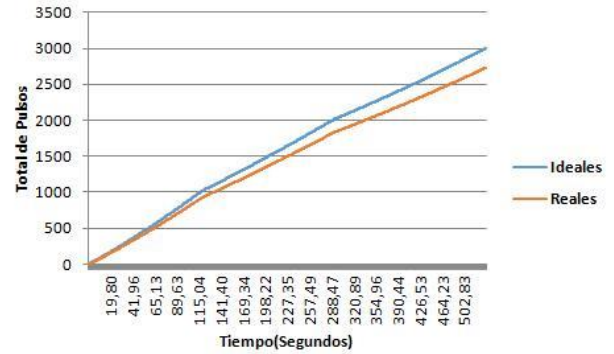
Cuadro 5.4. Registro de datos variando la velocidad de avance de 800, 1000, 1500, 2000 pulsos a una relación de transmisión de -4000.

800 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de - 4000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Diferencia entre pulsos (%)	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.034	1133	1000	13,30%	3.8	1485
	289.899	2272	2000	13,60%	2.6	1000
	542.115	3411	3000	13,70%	1.8	700
1000 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de - 4000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Diferencia entre pulsos (%)	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	116.842	909	1000	-9,10%	3.1	1485
	289.544	1820	2000	-9,00%	2.1	1000
	541.601	2730	3000	-9,00%	1.4	700
1500 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de - 4000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Diferencia entre pulsos (%)	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.094	608	1000	-39,20%	2.0	1485
	289.627	1215	2000	-39,25%	1.4	1000
	542.269	1823	3000	-39,23%	0.9	700
2000 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de - 4000	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Diferencia entre pulsos (%)	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.15	457	1000	-54,30%	1.5	1485
	290.222	913	2000	-54,35%	1.0	1000
	542.082	1369	3000	-54,37%	0.7	700

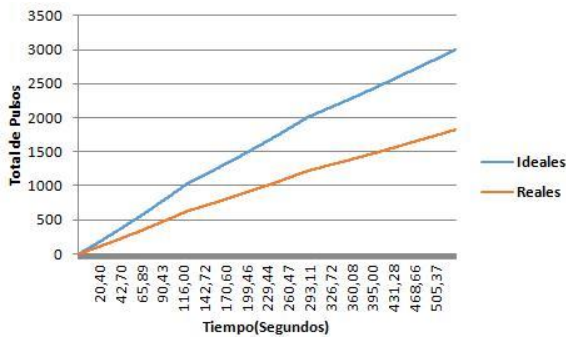
De acuerdo a los resultados que se obtuvo en el cuadro 5.4 se generó las siguientes gráficas 5.4a, 5.4b, 5.4c 5.4d.



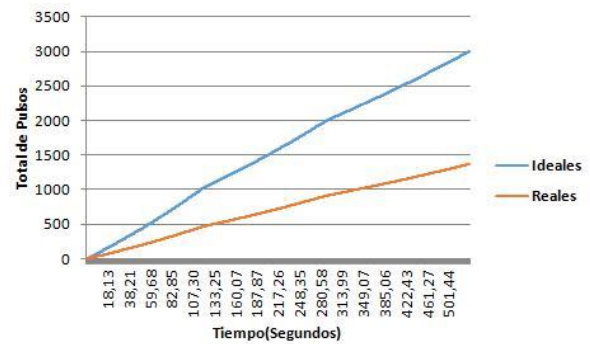
Gráfica 5.4a. Velocidad de avance de 800 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -4000.



Gráfica 5.4b. Velocidad de avance de 1000 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -4000.



Gráfica 5.4c. Velocidad de avance de 1500 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -4000.



Gráfica 5.4d. Velocidad de avance de 2000 pulsos calibrada a 100m con una relación de transmisión de -4000.

Gráficas 5.4 Velocidad de avance de 800, 1000, 1500, 2000 calibrada a 100m a una relación de transmisión de – 4000.

Analizando las gráficas 5.4a, 5.4b, 5.4c, 5.4d se realiza una comparación y se determina que en el gráfica 5.4a, con una velocidad de avance de 800 pulsos calibrada a 100 metros con una relación de transmisión de -4000 alcanza una velocidad máxima de 3.8 km/h con un error de 13.30% a 1000 pulsos, por lo que se recurre a realizar unas corridas adicionales, esto para reducir y obtener un mínimo de error, para determinar la gráfica con la menor diferencia de comportamiento entre reales e ideales.

Se toma como referencia la gráfica 5.4a por tener una mínima diferencia entre reales e ideales a una velocidad de avance de 800 pulsos a una relación de transmisión de -4000 , por lo que se generan otras repeticiones en la cual solo se cambiará la relación de transmisión (-3500 , -3490 , -3510 , -3515) una velocidad máxima de 3.8km/h.

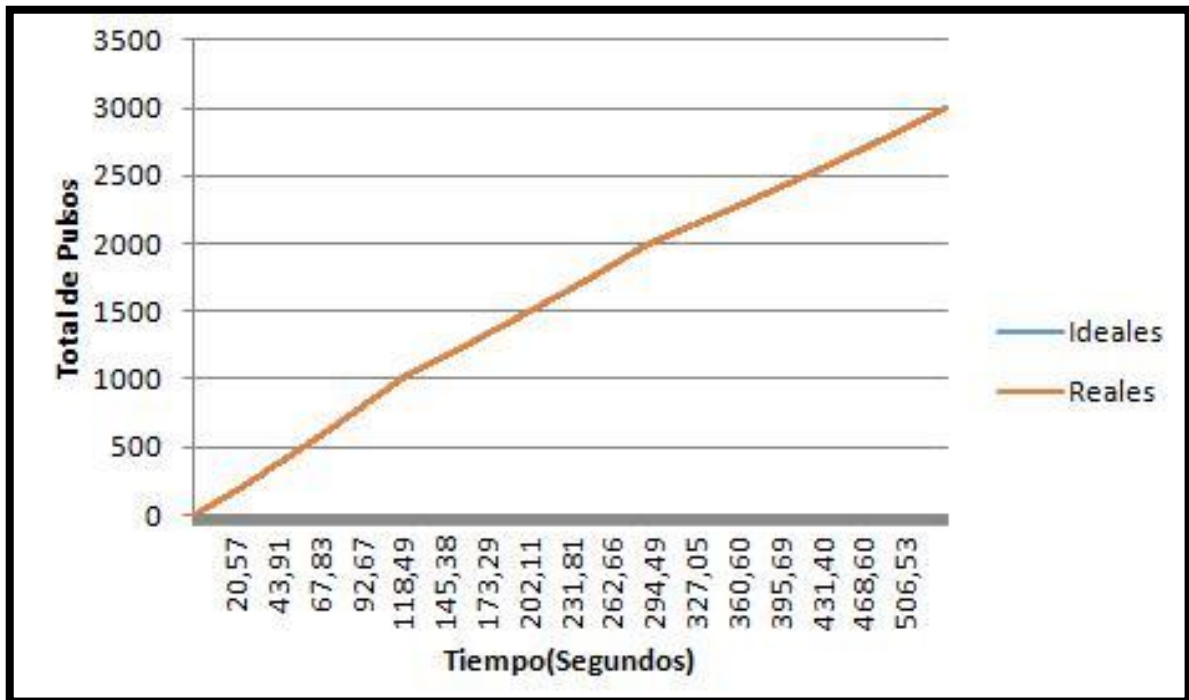
Se eligieron estos valores en la relación de transmisión porque el error que se obtuvo con los -4000 aún era demasiado alto (13.30%) y con el valor de -3500 se redujo de manera significativa, entonces a partir de este valor se fue aumentando o disminuyendo, esto para obtener el mínimo de error y llegar al valor óptimo.

En el Cuadro 5.5 se muestra una velocidad de avance de 800 pulsos calibrada a 100 metros la cual se mantuvo constante para obtener una velocidad de 3.8 km/h y solo se varió la relación de transmisión en el rango 3500,3490, 3510,3515 bajando la velocidad a 1485hz, 1000hz, 700hz a cada 1000 pulsos (ideales) para igualar los pulsos reales e ideales.

Cuadro 5.5. Registro de datos manteniendo constante la velocidad de avance a 800 pulsos y variando la relación de transmisión en un rango de 3500, 3490, 3510,3515, bajando la velocidad a 1485, 1000 y 700 Hz.

800 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de - 3500	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Diferencia entre pulsos (%)	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.319	993	1000	-0,70%	3.8	1485
	291.024	1988	2000	-0,60%	2.6	1000
	545.612	2984	3000	-0,53%	1.8	700
800 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de - 3490	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Diferencia entre pulsos (%)	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.643	993	1000	-0,70%	3.8	1485
	293.164	1986	2000	-0,70%	2.6	1000
	547.998	2979	3000	-0,70%	1.8	700
800 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de - 3510	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Diferencia entre pulsos (%)	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.39	996	1000	-0,40%	3.8	1485
	288.468	1993	2000	-0,35%	2.6	1000
	542.614	2991	3000	-0,30%	1.8	700
800 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de - 3515	Tiempo (seg)	Reales	Ideales	Diferencia entre pulsos (%)	Velocidad kmh ⁻¹	Hz
	117.304	997	1000	-0,30%	3.8	1485
	290.781	1997	2000	-0,15%	2.6	1000
	545.065	2996	3000	-0,13%	1.8	700

De acuerdo a los datos obtenidos se realizó un análisis comparando los resultados del Cuadro 5.1 y se dedujo que con una velocidad de avance de 800 pulsos calibrada a 100 m a una relación de transmisión de -3515 a una velocidad máxima de 3.8 km/h, da un error de -0.30% a 1000 pulsos entre reales e ideales, tal y como se muestra en la Grafica 5.5a.



Gráfica 5.5a Velocidad de avance de 800 pulsos calibrada a 100m a una relación de transmisión de -4000

En la gráfica 5.5a se observa el mejor comportamiento entre pulsos reales-ideales con un mínimo de error de -0.30% a 1000 pulsos (ideales).

VI- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El equipo PCS 200 permite el control de la velocidad, con el fin de depositar la cantidad de semillas a la distancia que se haya establecido, esto independientemente de la velocidad a la que el tractor vaya.

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos se llega a la conclusión que a un máximo número de pulsos “2000” (velocidad de avance) en el sistema PCS 200 el motor MD tendrá una revolución más lenta y a una calibración de pulsos mínima (800) la velocidad será mayor en el motor MD instalado en la sembradora.

Se obtiene el mínimo de error de -0.30% en la diferencia entre pulsos reales-ideales, en una relación de transmisión de -3515, a una velocidad de avance de 800 pulsos calibrada a 100 metros a una velocidad máxima de 3.8 km/h, por lo que se deduce que el equipo PCS 200 responde adecuadamente a los cambios de velocidad y detecta correctamente la velocidad de avance a través de sensor de velocidad.

Para llegar a la relación de transmisión de -3515 se partió de -4000, como este tenía un error demasiado alto (13.30%), entonces se redujo a -3500, y analizando los datos se observó que el error bajo de manera significativa a 0.70%, entonces se bajó a -3490 para ver si se reducía el error, pero se observó que aumento, entonces se dedujo que el valor estaba entre –un rango de -3500 y -4000. Por lo que se decidió ir aumentando a partir de -3500 hasta alcanzar un mínimo de error, el cual fue -0.30%.

Recomendaciones

Se recomienda cambiar el motor eléctrico (que simula la velocidad de avance) con una capacidad mayor de revoluciones para obtener una velocidad promedio de 9 a 10 km/h que son las que en promedio trabaja un tractor en siembra.

Configurar el variador para poder manipular la velocidad desde la computadora a través del programa LabView, esto para poder operar de manera automática desde la computadora.

Realizar la evaluación con semillas reales, de acuerdo a la constante obtenida en la relación de transmisión para tener registros y dictaminar que el equipo es adecuado y confiable para la siembra de precisión.

VII.- LITERATURA CITADA

- Colombino A., A.; Pollacino J., C.;** 1996. Diseño y construcción de un banco de ensayos ara conjuntos dosificadores de sembradoras y fertilizadoras. Revista de la Facultad de Agronomía. 16 (1-2) 69-72.
- García B., S.; Gracia L., C.; Serwatowski H., R.;** 2000. Diseño y construcción de un banco de ensayos para el estudio de equipos neumáticos de siembra. Memoria del Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola (CLIA). X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola (AMIA), Guanajuato; Gto., México.
- Kepner R., A.; Barger E., C.;** 1978. Principles of farm machinery. Third edition, The AVI Publishing Company, Inc. Connecticut, USA.
- Lago-Gonzales, C., J. C. Sepúlveda-Peña, R. Barroso- Abreu, F. O. Fernández-Peña, F. Macia-Pérez.** 2011. System for the automatic generation of yield mapping with application in precision farming. Idesia 29: 59-59.
- Lowenberg, D.J.** 1997. A bumpy road to the adoption of precision Agriculture. Purdue Agricultural Economics Report: 37-39.
- Maroni, J.R:** 2007. Agricultura de precisión: avances para realizar aplicaciones de dosis variable mediante maquinas pulverizadoras. Agromensajes 23:1-3.
- Medina-Vásquez, J., A. Aguilera-Alvear, L. M. Landínez.** 2010. Ejercicio EAD Agricultura de Precisión pp.8-10. Universidad Del Valle. Santiago de Cali.
- Michel T. S.** 2014. Evaluación bajo condiciones de laboratorio de un dosificador neumático para agricultura de precisión empleando instrumentos virtuales. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Bellavista, Saltillo Coahuila, México.
- Norma Mexicana. Secretaria de Economía,** NMX-0-168-SCFI-2001. Tractores, implementos, sembradoras unitarias, fertilizadoras accionadas mecánicamente, con dosificador de semilla de disco y métodos de prueba en la maquinaria agrícola.

Norton, and Scott M. S., George W. 2000. Precision Agriculture: Global Prospects and Environmental Implications.

Norton, G.W. y Swinton S.M.. 2001. Precision Agriculture: Global Prospects and Environmental Implications. Forthcoming in G.H. Peters and P. Pingali, eds. Tomorrow's Agriculture: Incentives, Institutions, Infrastructure and Innovations: Proceedings of the 24th International Conference of Agricultural Economists, 2000. London: Ashgate.

Ortiz-Cañavate J.; Hernenz J., I.; 1989. Técnica de la mecanización agraria. Edición Mundi-prensa, Madrid.

Ramírez T., A., 2000. Desarrollo de un sistema semiautomático para el control de la frecuencia de dosificación de semilla. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana, Veracruz, Ver. México.

Villalobos-Mateluna, P., R. Manríquez-Ramírez, C. Acevedo-Opazo, S. Ortega-Farias. 2009. Alcance de la agricultura de precisión en Chile pp.36-37. Universidad de Talca. Chile, Santiago de Chile.

<http://www.trimble.com/>

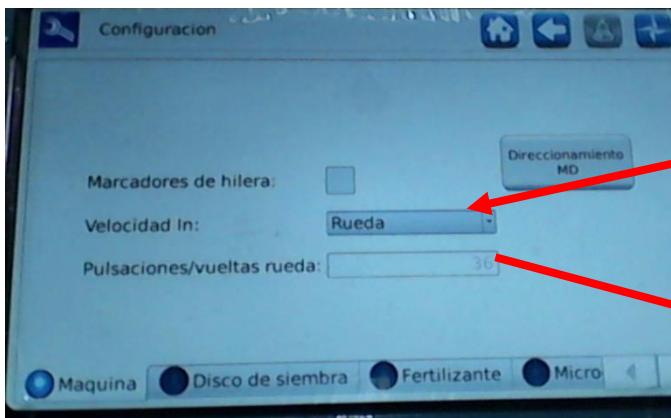
<http://www.roj.com/>

ANEXOS A

Configuración del Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión-PCS 200.

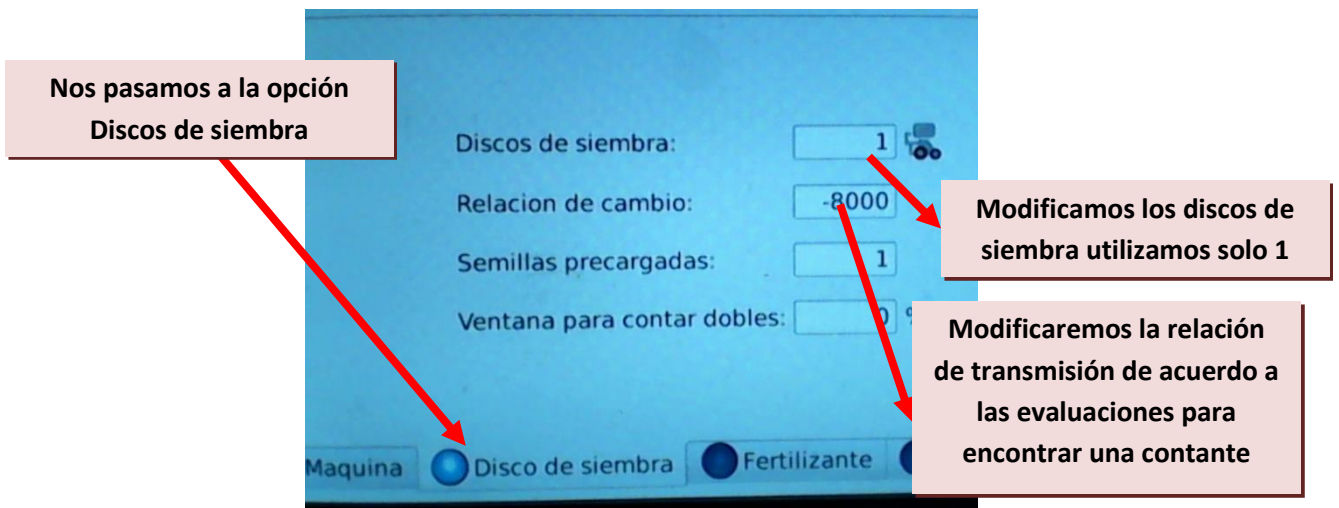
Una vez instalado el Sistema PCS 200 se procede a configurar a través de la pantalla HMI

Se va a la opción configuración y se modifica la velocidad y el número de pulsaciones que tenemos en el disco.



En este caso se selecciona Rueda +

Se selecciona esta opción y se le pone 10 pulsaciones

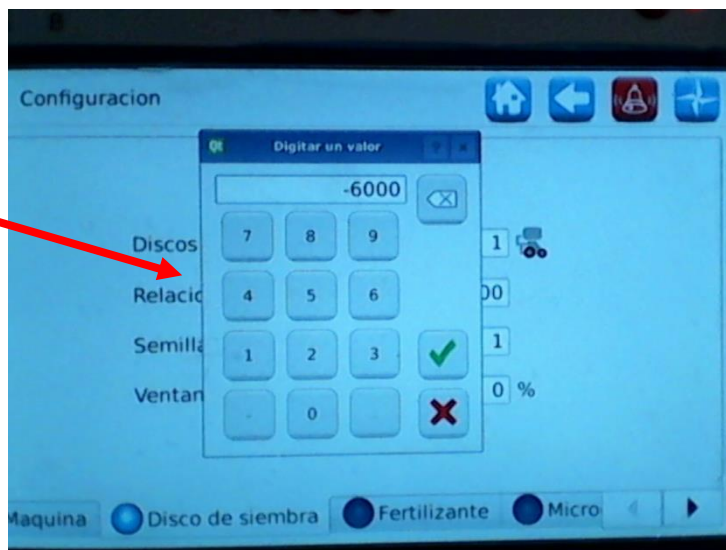


Nos pasamos a la opción Discos de siembra

Modificamos los discos de siembra utilizamos solo 1

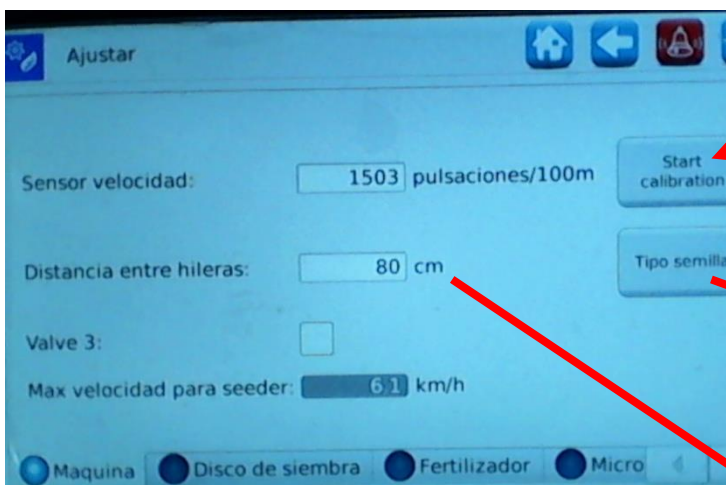
Modificaremos la relación de transmisión de acuerdo a las evaluaciones para encontrar una contante

Al cambiar la relación de transmisión nos saldrá una ventana y arrojamos el valor determinado.



En la parte de fertilizantes y microgranular no se utilizará, se pondrá 0 en las casillas correspondientes

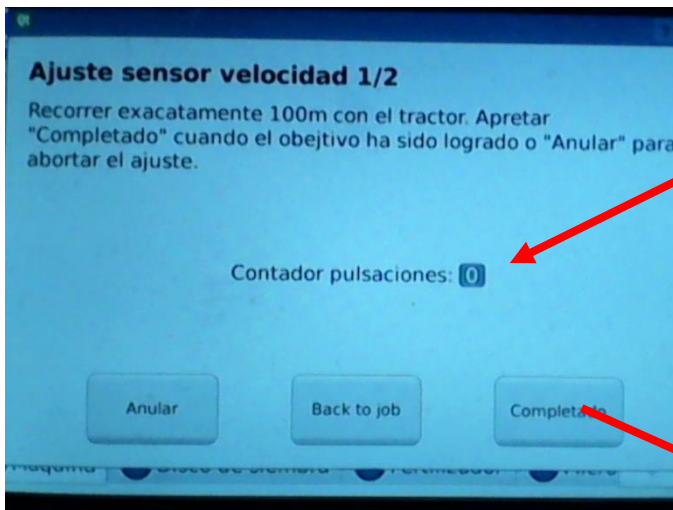
Volvemos con la flecha en la parte superior derecha y entramos en ajustar nos mostrará un cuadro como el siguiente



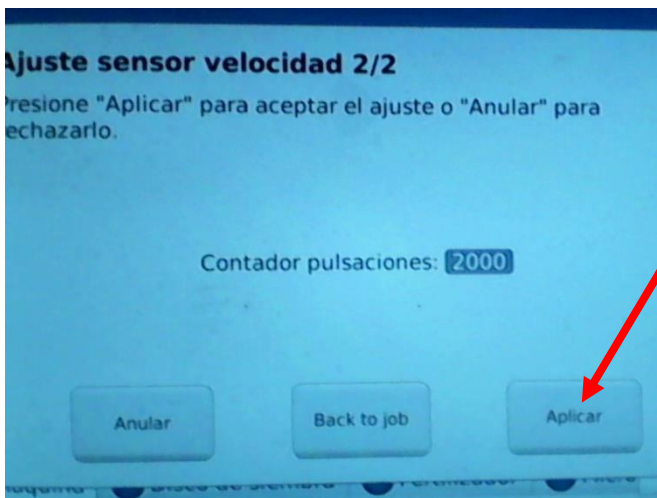
En esta opción modificamos las pulsaciones y se tuvo que calibrar al modificar las pulsaciones

En esta opción nos muestra que tipo de semilla utilizaremos, se dejó con maíz

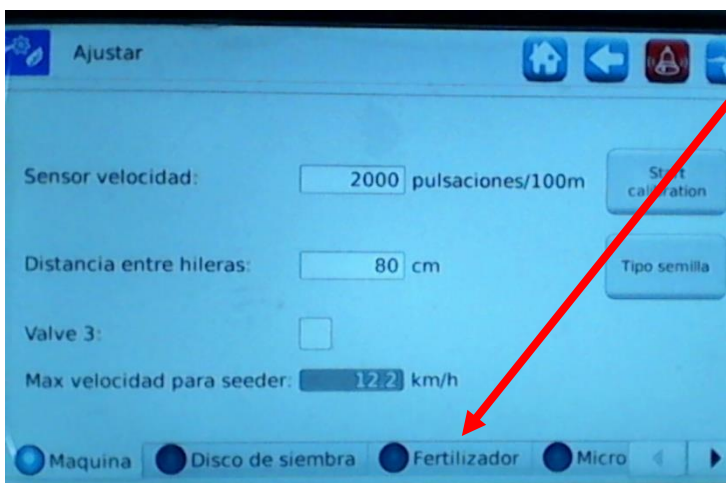
Necesitamos una distancia entre hileras de 80 cm



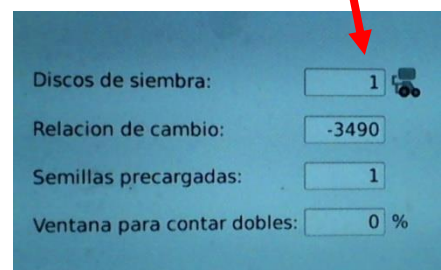
Para calibrar seleccionamos en start calibration y calibramos a los pulsos que se necesita a 100m



Una vez calibrado le damos completado y posteriormente en aplicar.

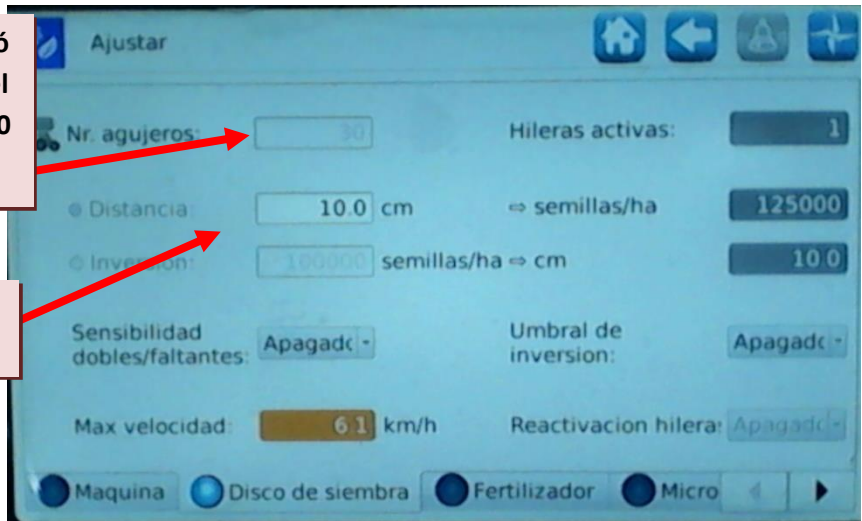


En las demás opciones de fertilizante y mirgrogranular no modificamos nada porque ya está configurado para un solo disco de siembra.



En esta ventana se modificó el número de agujeros en el disco en este caso fueron 30

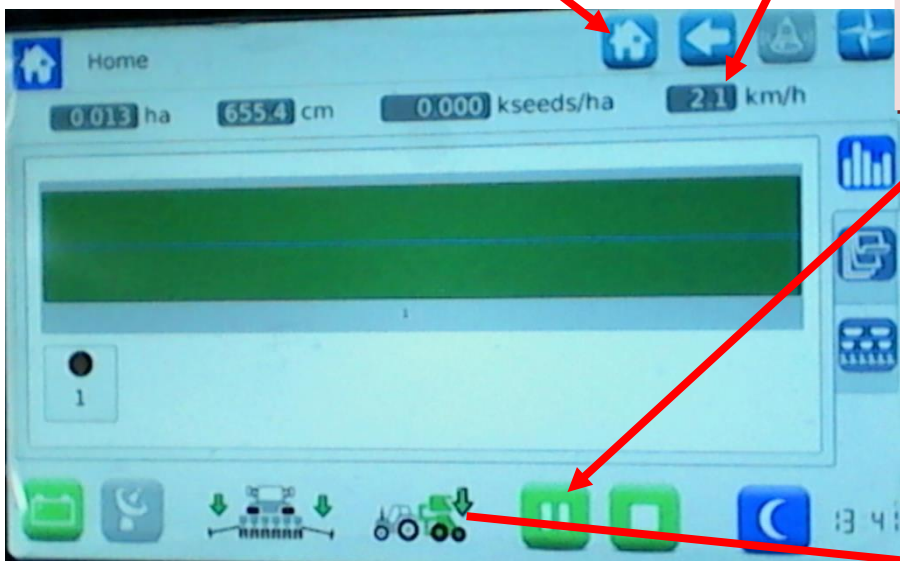
Y la distancia entre semillas será de 10 cm



Una vez hecho lo anterior vamos a la página principal

En este apartado se muestra a qué velocidad se mantiene a través del sensor de velocidad

Entonces damos play y verificamos si el equipo funciona



Verificamos que el sensor de posición detecte que la sembradora este abajo