



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
AGRARIA

“ANTONIO
NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Banco de sembradoras mecánica y neumática
con control automático de dosificación variable en
tiempo real para agricultura de precisión.

Por:

Reynaldo Pérez López

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el
título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo del 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

"ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Banco de sembradoras mecánica y neumática con control automático de dosificación variable en tiempo real para agricultura de precisión.

POR:

Reynaldo Pérez López

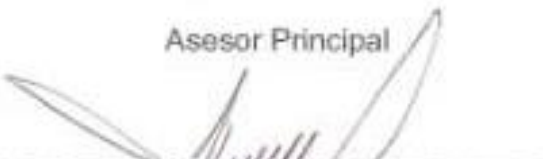
TESIS

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador Como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis


Asesor Principal


Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

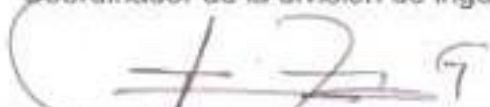
Co-director

Asesor externo


Dr. Martin Cadena Zapata


M.C. Marco Antonio Reynolds Chávez

Coordinador de la división de ingeniería


M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **DIOS PADRE** por darme la vida, la oportunidad de ser lo que ahora soy, cuidarme en momentos fáciles y difíciles de la vida y ponerme en el lugar donde me encuentro hoy en día.

A la **UAAAN** por haberme abierto sus puertas, en especial la de Ingeniería Mecánico Agrícola, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil en la sociedad. Gracias Alma Mater.

Al **Dr. Santos G. Campos Magaña**, por su gran apoyo y confianza hacia mi persona, por el tiempo dedicado en el desarrollo de este proyecto, por su excelente dirección y asesoría técnica en este trabajo de tesis.

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

A los distinguidos profesores del departamento de Maquinaria Agrícola en especial al **M. C. Héctor Uriel Serna Fernández, M. C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M. C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, Ing. Juan Arredondo Valdez, Dr. Jesús Valenzuela García, Ing. Tomás Gaytán Muñoz, Ing. Jorge Flores Berrueto, Ing. Rosendo González Garza**, y a todos aquellos profesores que aportaron sus conocimientos y experiencias durante el desarrollo de mi carrera.

Al **M.C. Marco Antonio Reynolds Chávez** por su apoyo y enseñanza que siempre me brindo de manera desinteresada.

A mis **Compañeros de Generación CXIV** de la carrera de Ing. Mecánico Agrícola, en especial a, **Moisés Guadarrama, Prisciliano Pérez, Juan Gonzales, Marlene Bustos, Rafael Salas, Ezequiel Sánchez, Dayana Martínez, Ervin Benigno Pérez, Daniel Rodríguez, José Alonso Solís, Ramaosiris Espinoza, Abraham Rivera, Jorge Asís y Cuauhtémoc Rodríguez**, gracias a todos ellos por su amistad. Y los que no pueden faltar: **Excelsa Pacheco y Leandro Alvares**, por brindarme su amistad sincera y desinteresada.

DEDICATORIA

Este trabajo fue producto del esfuerzo y sacrificios de muchas personas por tal motivo es para ustedes.

A mis padres:

Sr. Jorge Pérez López
Sra. Emma López Méndez

A mis padres por la darme la oportunidad de permitirme crecer y ser el orgullo de ustedes en la familia, el tomar mi propio camino en la vida, a pesar de los obstáculos de la misma, gracias a mi padres por ser mi motor en esta vida en las buenas y en las malas y estar conmigo a pesar de la distancia, el permitir volar hasta donde me encuentro ahora.

Madre: El cariño, amor y la preocupación de un hijo, por no estar cerca de la familia, gracias por todo y por un futuro que inicia a partir de ahora.

Padre: El aprendizaje que durante mi crecimiento en la vida me enseñó, el dejarme volar alto a pesar de no estar en los momentos de la jornada laboral con usted y sobre todo ser un orgullo para ti padre.

A mi hermana:

Ana Silvia Pérez López

A ti con mucho cariño por el apoyo brindado en la vida, la confianza, el respeto de hermanos y por tus consejos brindados.

La familia Pérez López, López Méndez, por creer en mí, por la oportunidad de ser el orgullo de las generaciones de la familia de tener una profesión.

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Objetivos	5
1.1.1. Objetivo general	5
1.1.2. Objetivos específicos	5
1.2. Hipótesis	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Agricultura de precisión.....	7
2.3. Funciones de una sembradora	14
2.4. Siembra de precisión	15
2.4.1. Factores que afectan el llenado de celdas y daño en la semilla	16
2.5. Variabilidad	17
2.5.1. Medición de la variabilidad.....	18
2.5.2. Mapa de rendimiento	20
2.6. Dosis variable	23
2.7. Microcontroladores.....	25
2.7.1. PIC16F84A	26
2.8. LabView	27
III. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS	30
3.1. Ubicación del lugar de investigación.....	30
3.2. Materiales	30
3.3. Equipos.....	31
3.4. Metodología	38

3.4.1. Desarrollo de programas en lenguaje gráfico virtual denominado LabView 8.5.	38
3.4.2. Evaluación de rangos de voltaje enviados por el programa al variador de frecuencia.	38
3.4.3. Evaluación del banco de pruebas en el sistema de dosificación y neumático.	39
IV. RESULTADOS	45
4.1. Programa contador de pulsos del motor y semillas ideales.	45
4.2. Programa contador de semillas reales e ideales.....	46
4.3. Evaluación del banco de pruebas en el sistema dosificador neumático ..	48
4.3.1. Porcentaje de llenado de celda como efecto de la velocidad tangencial del plato dosificador con semilla de frijol.....	52
4.4. Evaluación del banco de pruebas del dosificador mecánico.....	54
4.4.1. Porcentaje de llenado de celda como efecto de la velocidad tangencial del plato dosificador, con semilla de maíz bola media.	57
4.4.2. Porcentaje de llenado de celda como efecto de la velocidad tangencial del plato dosificador con semilla de maíz plano medio.	59
4.5. Metodología de evaluación para dosificador neumático y mecánico.	62
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
VI. LITERATURA CITADA	67
ANEXO	71

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 2.1. Interacción entre varios elementos que integran la AP,	8
Figura 2.2. Las tres etapas de la agricultura de precisión Fuente: AGCO.	9
Figura 2.3. Esquema del círculo virtuoso de la Agricultura de Precisión.....	12
Figura 2.4. Esquema del sistema Verión adaptado a la sembradora Agro-metal Mega Neumática testada por el INTA Manfredi. Fuente en línea http://agrolluvia.com.	13
Figura 2.5. Mapa de preproducción.....	18
Figura 2.6. Mapas de rendimiento de diferentes años.	19
Figura 2.7. Variabilidad de la estimación del rendimiento.	20
Figura 2.8. A la izquierda, representación de los datos de posición rendimiento, sin tratamiento con SIG. A la derecha, la misma parcela tras tratar los datos con un SIG. http://www.c4-ingenieros.es/empresa1.htm	21
Figura 2.9. Manejo de sitio específico.	24
Figura 2.10. Diagrama de pines del PIC16F84A.	26
Figura 2.11 Panel Frontal, aquí se muestra el resultado de la programación National Instruments LabView.....	28
Figura 2.12 Diagrama de bloques, aquí se realiza la programación National Instruments LabView.	28
Figura 3.1. Taller y laboratorio de prototipos.	30
Figura 3.2. Taller de máquinas y herramientas.	31
Figura 3.3. Banco de pruebas del sistema dosificador neumático y mecánico. ...	32
Figura 3.4. Sistema dosificador neumático.....	32
Figura 3.5. Sistema dosificador mecánico.....	33
Figura 3.6. (a) Motorreductor 1:30. (b) Sensor de semilla.....	33
Figura 3.7. Tarjeta para contar pulso	34
Figura 3.8. Dos tarjetas electrónicas para recibir señal de los sensores de caída de semilla.	34
Figura 3.9. Tarjeta de adquisición de datos PCI-NI-6221.....	35
Figura 3.10. Tarjeta de conexión de señales.....	35
Figura 3.11. Variador de frecuencia.	36
Figura 3.12. Logotipo de Software LabView 8.5 de National Instrument.....	36

Figura 3.13. Disco con 4 perforaciones.....	37
Figura 3.14. Disco con 30 perforaciones.....	37
Figura 3.15. Motorreductor, (a) Sensor opto electrónico, (b) Disco con una perforación, simulador de un plato dosificador.....	39
Figura 3.16. Sistema dosificador mecánico, (a) Sensor opto electrónico, (b) disco con 4 perforaciones, simulador del plato dosificador.....	40
Figura 3.17. Sistema dosificador neumático, (a) Sensor opto electrónico, (b) disco con 30 perforaciones, simulador del plato dosificador.....	40
Figura 3.18. Diagrama de la secuencia de evaluación del banco de pruebas en los sistemas dosificador mecánico y neumático.....	41
Figura 3.19. Equipo utilizado en la mecánica de evaluación del sistema dosificador neumático.....	43
Figura 3.20. Equipo utilizado en la mecánica de evaluación del sistema dosificador mecánico.....	44
Figura 4.1. Panel frontal, programa contador de pulsos del motor y semillas ideales.....	45
Figura 4.2. Diagrama de bloques, programa contador de pulsos del motor y semillas ideales.....	46
Figura 4.3. Panel frontal, programa contador de semillas reales e ideales.....	47
Figura 4.4. Diagrama de bloques, programa contador de semillas reales e ideales.....	48
Figura 4.5. Gráfica de línea ajustada; rpm versus voltaje.....	50
Figura 4.6. Gráfica de línea ajustada; rpm versus pulsos ideales.....	52
Figura 4.7. Gráfica de línea ajustada entre el porcentaje de llenado versus celdas/minuto del plato dosificador.....	54
Figura 4.8 Gráfica de línea ajustada; rpm versus voltaje.....	56
Figura 4.9. Gráfica de dispersión de pulsos ideales versus rpm.....	57
Figura 4.10. Gráfica de línea ajustada entre el porcentaje de llenado versus celdas/minuto del plato dosificador.....	59
Figura 4.11. Gráfica de línea ajustada entre el porcentaje de llenado versus celdas/minuto del plato dosificador.....	61
Figura 4.12. Diagrama para realizar evaluación del banco de pruebas.....	63
Figura 4.13. Diagrama de imágenes virtuales.....	65
Figura A.1. Diagrama de pines del PIC16F84.....	73

Figura A.2. Los puertos no utilizados se deben conectar a la fuente.	75
Figura A.3. Conexión de un oscilador de cristal.	76
Figura A.4. Conexión de un oscilador RC.	77
Figura A.5. Conexión del botón de reset.	78
Figura A.6. Arquitectura interna del PIC16F84.	80
Figura A.7. Mapa de la memoria de programa.	81
Figura A.8. Registros del PIC16F84.	82
Figura A.9. Contador de programa de (13 bits).	83
Figura B.1. Circuito para el sensor optoelectrónico.	84
Figura B.2. Placa de cobre.	84
Figura B.3. Sensor optoelectrónico.	84
Figura B.4. Resistencia 330 Ω	85
Figura B.5. Socket de conexiones.	85
Figura C.1. Icono del DAQ Asistant1.	87
Figura C.2. Ventana de la configuración del DAQ Asistant1.	88
Figura C.3. Icono del DAQ Asistant_2.	88
Figura C.4. Ventana de la configuración del DAQ Asistant_2.	89
Figura C.5. Icono del DAQ Asistant_3.	89
Figura C.6. Ventana de la configuración del DAQ Asistant_3.	90
Figura C.7. Icono del Write To Measurement File	91
Figura C.8. Ventana de la configuración del Write To Measurement File	92

Cuadro 2.1.- Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (Adaptado de USDA, 1998). 14

Cuadro 3.1. Rango de voltaje del variador de frecuencia empleado durante las evaluaciones. 39

Cuadro 3.2. Arreglos de la evaluación del plato dosificador neumático. 42

Cuadro 3.3. Arreglos de la evaluación del plato dosificador mecánico. 42

Cuadro 4.1. Medias de resultado en la evaluación del sistema dosificador neumático. 49

Cuadro 4.2. Ecuación de regresión y análisis de varianza; rpm versus voltaje 49

Cuadro 4.3. Ecuación de regresión, análisis de varianza y de varianza secuencial; rpm versus pulsos ideales. 51

Cuadro 4.4. Medias de resultado en la evaluación del plato dosificador neumático. 53

Cuadro 4.5. Ecuación de regresión, análisis de varianza y análisis de varianza secuencial; porcentaje de llenado versus celda/minuto. 53

Cuadro 4.6. Medias de resultado en la evaluación del sistema dosificador mecánico. 55

Cuadro 4.7. Análisis de varianza y ecuación de regresión entre rpm versus voltaje. 55

Cuadro 4.8. Media de resultado en la evaluación del plato dosificador mecánico. 58

Cuadro 4.9. Análisis de varianza y ecuación de regresión entre porcentaje del llenado de celdas versus celda/minuto. 58

Cuadro 4.10. Media de resultado en la evaluación del plato dosificador mecánico. 60

Cuadro 4.11. Análisis de varianza y ecuación de regresión entre porcentaje de llenado versus celda/minuto. 60

Cuadro A.1. Lista de características del PIC16F8x. 72

Cuadro A.2. Descripción de Pines. 74

Cuadro D.1. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia. 93

Cuadro D.2. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia. 93

Cuadro D.3. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia. 94

Cuadro D.4. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.	94
Cuadro D.5. Voltaje 4.5 V - 54 Hz en el variador de frecuencia.	94
Cuadro D.6. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.	94
Cuadro D.7. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia.	95
Cuadro D.8. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia.	95
Cuadro D.9. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia.	95
Cuadro D.10. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.	96
Cuadro D.11. Voltaje 4.5 V - 54 Hz en el variador de frecuencia.	96
Cuadro D.12. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.	96
Cuadro E.1. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia.....	97
Cuadro E.2. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia.	97
Cuadro E.3. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia.	98
Cuadro E.4. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.	98
Cuadro E.5. Voltaje 4.5 v - 54 Hz en el variador de frecuencia.	98
Cuadro E.6. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.	98
Cuadro E.7. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia.....	99
Cuadro E.8. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia.	99
Cuadro E.9. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia.	99
Cuadro E.10. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.	99
Cuadro E.11. Voltaje 4.5 V - 54 Hz en el variador de frecuencia.	100
Cuadro E.12. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.	100
Cuadro E.13. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia.....	100
Cuadro E.14. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia.	100
Cuadro E.15. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia.	101
Cuadro E.16. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.	101
Cuadro E.17. Voltaje 4.5 V - 54 Hz en el variador de frecuencia.	101
Cuadro E.18. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.	101

RESUMEN

Esta Tesis forma parte del proyecto: DESARROLLO DE EQUIPOS, SENSORES E INSTRUMENTOS PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y LABRANZA DE CONSERVACIÓN, el cual tiene entre sus objetivos el desarrollo de sistemas de evaluación de dosificadores variables de semilla tanto del tipo neumático como mecánico. Este trabajo se circunscribe en la verificación de la calidad y variabilidad de dosificación para semilla de frijol y maíz del dosificador neumático Max Emerge 7200 y del dosificador mecánico Mp25, de la marca John Deere. Para realizar dicha evaluación, se desarrollaron dos programas en el ambiente LabView “**contador de pulsos del motorreductor y semillas ideales**” y “**contador de semillas reales e ideales**”, así mismo , se desarrollaron dos sensores , el primero para obtener las rpm del motorreductor y el segundo para obtener los pulsos de semillas ideales del dosificador .Los componentes utilizados fueron: un variador de frecuencia, un motorreductor , sistemas de transmisión, sensor de caída de semilla, sensor opto electrónico y sensor de velocidad de siembra. Los resultados obtenidos para la evaluación del sistema dosificador mecánico y neumático, en donde se evaluó las rpm del motorreductor versus voltaje, presentaron una confiabilidad mayor al 98%, a un voltaje de 5 V y frecuencia de 60 Hz para él dosificador mecánico y una confiabilidad del 100 %, a un voltaje de 5 V a 60Hz para el dosificador mecánico, lo cual indica que los sensores manifiestan una alta confiabilidad en el monitoreo de la velocidad en la contabilidad de las semillas ideales en proporción a la velocidad del motor. El análisis de regresión lineal en Minitab 15 utilizado para determinar la curva de comportamiento de la sembradora neumática con semilla de frijol tiene una confiabilidad mayor del 97%, sin embargo ésta, mostró una reducción significativa del 15% en el llenado de celdas, cuando la velocidad del plato dosificador se incrementó por arriba de las 1000 celdas por minuto. Para el comportamiento de la sembradora mecánica con semilla de maíz, tanto de bola como plano en tamaño medio, tuvo una confiabilidad mayor del 92%, sin embargo ésta, mostró una reducción significativa del porcentaje de llenado de celdas de un 32%, cuando la velocidad del plato dosificador se incrementa de 300 a 700 celdas por minuto.

Es importante señalar que el factor tamaño de semilla es un parámetro a considerar para próximas evaluaciones, ya que debido a la falta de regulación en clasificadores de semillas o la carencia de los mismos, hace que exista una variabilidad en el porcentaje de llenado de celdas.

Para todas las evaluaciones realizadas se presentó un efecto de reducción del porcentaje de llenado de celdas conforme se incrementa la velocidad de siembra.

PALABRAS CLAVES: Agricultura de precisión, dosificador neumático, frijol, dosificación variable, LabView, velocidad de siembra.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión o manejo de sitio específico es la utilización de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos geo-referenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos, así como, una disminución sustantiva en la contaminación, (Ciencia y Tecnología, ISEU, 2010).

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 niveles de contaminación ambiental entre otros.(Blackmore S. 1997).

En la actualidad en nuestro país, uno de los problemas que focalizan y son de mayor importancia en la demanda de alimentos y su producción, es la **variabilidad en la actividad de siembra**, la cual repercute en bajos rendimientos y por consecuencia baja rentabilidad y disminución de la superficie cultivada, entre otros, también a la falta de equipos de siembra apropiados, su correcto uso y operación.

Una forma de contrarrestar estos efectos y corregir algunas de sus causas es mediante el manejo óptimo en la agricultura, evaluación de eficiencia en equipos y la correcta selección de los mismos. Esta aplicación tecnológica requiere de componentes electromecánicos que sean capaces de evaluar y registrar su funcionamiento. El propósito de esta investigación es de contar con un banco de pruebas de dosificación variable de semillas con control automático de velocidad, que integre la digitalización y registro de la dosificación real versus teórica en tiempo real, para fines de docencia e investigación.

Se requiere para lo anterior contar con sistemas que integren, entre otros, AgDGPS (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial), Sensores, SIG (Sistema de Información Geográfica) (Lowenberg-DeBoer, J. 1997), así como equipos de dosificación variable de insumos. 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 30000 unidades de producción, Argentina con 1200, Brasil con 250, Reino Unido con 400, Paraguay con 4 y México con *ceros* unidades. Actualmente en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) no se cuenta con maquinaria ni equipos e instrumentos automatizados para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión (citado por López, 2012).

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 equipos de labranza.

El presente trabajo de tesis se circunscribe en el objetivo número 4 y que a continuación se describe con mayor detalle.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Contar con un banco de pruebas de dosificación variable de semillas con control automático de velocidad, que integre la digitalización y registro de la dosificación real versus teórica en tiempo real, para fines de docencia e investigación.

1.1.2. Objetivos específicos

- Reproducir dos sensores opto electrónicos para el registro de pulsos del motorreductor y pulsos ideales.
- Acoplar los componentes mecánicos y electrónicos al bastidor del banco de pruebas.
- Desarrollo de un programa para el registro de pulsos del motorreductor y semillas ideales y otro para el registro de semillas reales versus ideales en el ambiente LabView 8.5
- Evaluar el comportamiento de la sembradora neumática con semillas de frijol.
- Evaluar el comportamiento de la sembradora mecánica con semillas de maíz.

1.2 Hipótesis

Es factible que el uso de bancos de pruebas para evaluación de dosificadores de semillas, permita determinar eficiencias que presenten un porcentaje de llenado de celdas de $100 \pm 10 \%$, sin que este parámetro se vea afectado por la velocidad de siembra, para ser utilizado en la agricultura de precisión.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Actualmente en el país se tienen 2 millones de hectáreas susceptibles a trabajarse en el sistema de agricultura de precisión, (INEGI 2009) sin embargo, no se tienen antecedentes de que en el país se encuentran operando predios comerciales bajo este sistema, se requiere además, desarrollar infraestructura y equipo para fines docentes y de investigación, mismos en los que actualmente participa la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Es necesario que los alumnos de la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola se familiaricen con la calidad de operación de dosificadores variables de insumos, así como, con sistemas de registro, monitoreo y control automático de los mismos.

Colombino A. A. (1996) diseñó y construyó un banco de ensayos para equipos dosificadores de sembradoras y fertilizadoras el cual lo componen: una fuente de potencia que consiste en un motor eléctrico de corriente alterna, con un régimen de 1450 V s^{-1} y 0.75 kW de potencia; para reducir la velocidad del motor empleó un variador mecánico.

García, et al., (2000) quien desarrollaron un banco de ensayos para sembradoras neumáticas, que consiste en un motorreductor de relación 6:1 con motor de 0.5 kw, la succión de vacío fue proporcionada por un sistema aspirador de 127 V, finalmente para la simulación de sacudidas empleó una leva, que permitió simular la magnitud y la amplitud de las sacudidas desde 0 hasta 25 mm. García, et al., (2000) realizó un estudio sobre la calidad de dosificación de sembradoras neumáticas en laboratorio, donde 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 30, 40 y 60 milibares con niveles de sacudidas de 2 y 4 impactos s^{-1} , con una amplitud de 20 mm. Como resultado de estos ensayos el reporta que las sacudidas alteran notablemente la

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

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

La norma Mexicana NMX-0-168-SCFI-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.

Reynolds, 2005, construyó un banco de pruebas para la evaluación de los parámetros de un sistema de dosificación inteligente de semillas, menciona que la velocidad de siembra, el tamaño y forma de la semilla influyen de manera directa en los niveles de succión. El tamaño de la celda debe ser proporcional a la semilla, de tal manera que le permita a esta alojarse, mantenerse y descargarse. La forma de la celda debe ser igual a la semilla (semilla esférica = celda esférica), (semilla plana = celda plana) en sus ángulos de contacto y la eficiencia del dosificador se disminuye al incrementarse la velocidad y la frecuencia de impacto.

2.2. Agricultura de precisión

Las características del suelo y del cultivo varían en el espacio (distancia y tiempo). La agricultura de precisión es un conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola. Esta optimización se logra con la distribución de la cantidad correcta de esos

insumos (Mantovani, et al., 2006), dependiendo del potencial y la necesidad de cada punto de las áreas de manejo, Figura 2.1.

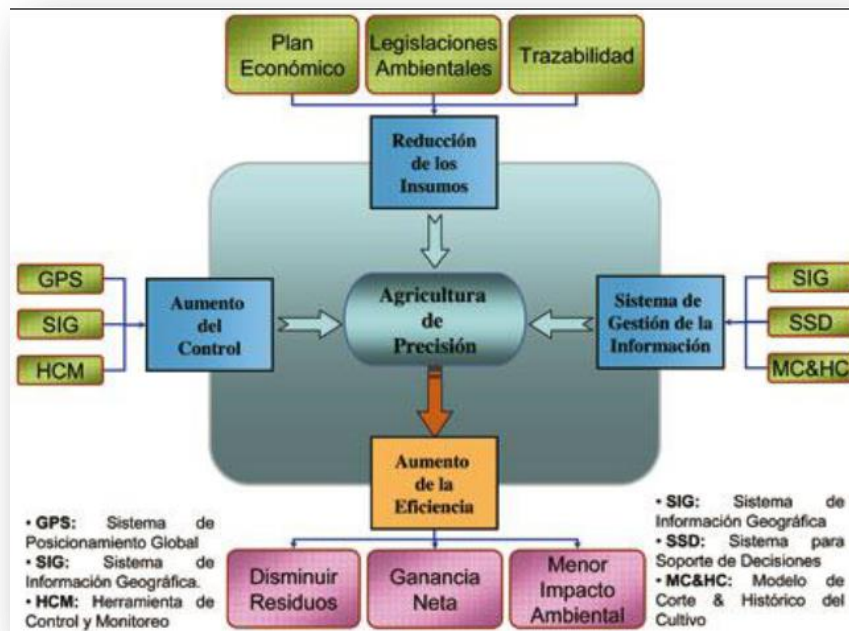


Figura 2.1 Interacción entre varios elementos que integran la AP, Fuente: Universidad del País Vasco, 2000.

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 de coordenadas geográficas 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 obtener datos del cultivo. La información obtenida puede usarse 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 tecnologías en tres etapas diferentes AGCO 2005 (Allis Corporación Gleaner), Figura 2.2: 1) Recolección de datos 2) Procesamiento e interpretación de la información 3) Aplicación de insumos. Con base en 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 tradicionales 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 requerida, y además el control de malezas, plagas y enfermedades se hace solamente en los puntos que demanden tal control.

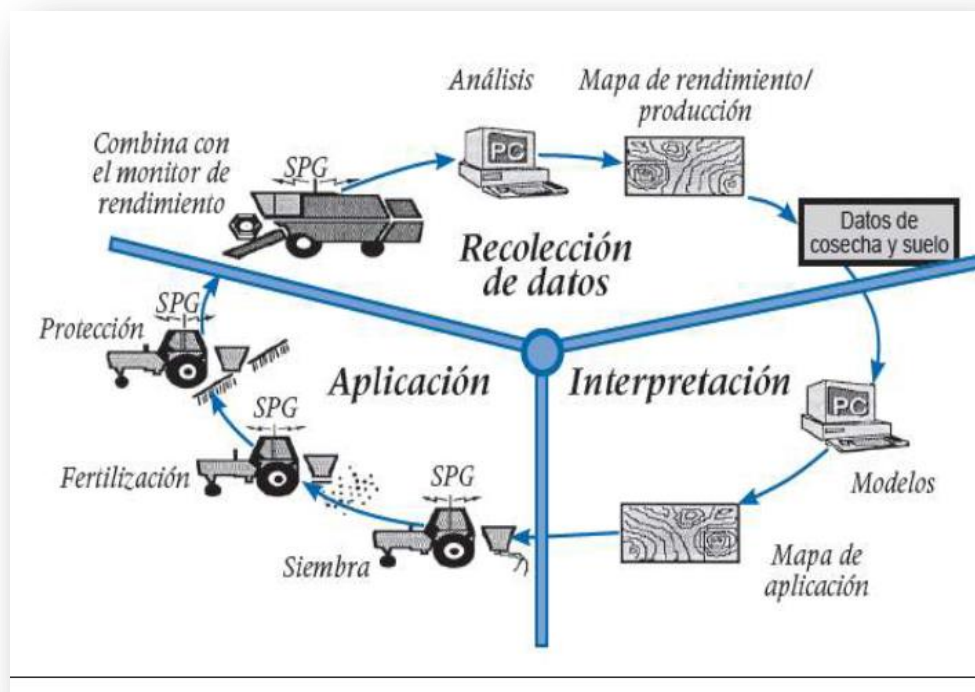


Figura 2.2. Las tres etapas de la agricultura de precisión Fuente: AGCO. La agricultura de precisión podría definirse como "...un conjunto de prácticas agrícolas utilizadas para identificar y registrar la variabilidad de ciertos parámetros

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 Gargicevich (1996).

La agricultura de precisión (AP) es una estrategia de manejo que utiliza la tecnología de la información para captar datos de múltiples fuentes para generar decisiones asociadas a la producción de cultivos (US National Research Council, 1997).

Otra definición de la AP es un sistema de producción que se basa en la integración de la información y la producción. Está diseñado para sitios específicos y la unidad completa de producción, a objeto de incrementar en el largo plazo, la eficiencia, productividad y margen de ganancia, minimizando los indeseados impactos sobre el ambiente (US Farm Bill, 1996).

La Agricultura de Precisión es una aproximación a un sistema para manejar cultivos y suelos en forma selectiva de acuerdo con sus necesidades. Utiliza la experiencia de muchas disciplinas e integra las últimas herramientas tecnológicas de información que permiten a los administradores de productores tener una mejor comprensión y control de sus lotes. La administración es el factor esencial para alcanzar el resultado indicado en la finca, por lo cual los administradores deberán identificar sus propias estrategias y prácticas que permitan un manejo efectivo de la variabilidad encontrada en la finca.

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. Un ejemplo, puede ser cuando un sector del lote genera rendimientos superiores frente a otro sector del mismo lote, inclusive frente a un vecino. La segunda variabilidad es la temporal que se refiere a cuando los parámetros cambian a través del tiempo.

Puede verse cuando un cultivo tiene una buena fase de desarrollo pero posteriormente arroja bajos rendimientos. El tercer tipo es la variabilidad predictiva

que explica la diferencia entre lo que el productor predice que va a suceder y lo que realmente ocurre.

El ejemplo clásico de esta variabilidad predictiva es cuando el productor predice que una cierta productividad puede ser lograda si determinada cantidad de fertilizante es aplicada, pero el cultivo no alcanza esto por causa del cambio climático u otro factor. Cada tipo de variabilidad puede ser medida, evaluada y posiblemente influenciada, de acuerdo a cuán significativa es.

Bongiovanni (2003) define la agricultura de precisión como: Es la utilización de modernas herramientas capaces de facilitar la obtención y análisis de datos geo-referenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos. Mayor producción con sostenibilidad del ambiente productivo". Rizzo (2004) define agricultura de precisión como: Conceptualmente la Agricultura de Precisión es una nueva forma integrada de gerenciamiento de la información de los cultivos, basada en la existencia de la variabilidad espacial y temporal de la unidad mínima de manejo en la agricultura tradicional".

Lo que hoy en día se conoce como agricultura de precisión es una actividad que tiene como principales objetivos conocer con una determinada precisión la variabilidad del suelo sin disminuir la superficie de trabajo, vinculando unívocamente las variables que intervienen en la parcela, logrando la sustentabilidad productiva del suelo, regulando el impacto ambiental promoviendo la conservación del recurso suelo y por último obteniendo un aumento en la rentabilidad económica del producto. La idea es relativamente simple: maximizar la producción y minimizar los costos.

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 aportara 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

equipar un tractor, ya sea con una fertilizadora, sembradora, o pulverizadora para realizar en forma eficiente la aplicación de insumos variables, a partir de una prescripción, de acuerdo a la necesidad real de cada sitio del lote (Norton, et al., 2001).

Los insumos que pueden integrarse y aplicarse en forma variable bajo un planteo de agricultura de precisión son los fertilizantes, los herbicidas y pesticidas, la semilla y la cosecha, como se puede observar en el esquema del círculo virtuoso de Agricultura de Precisión, Figura 2.3.

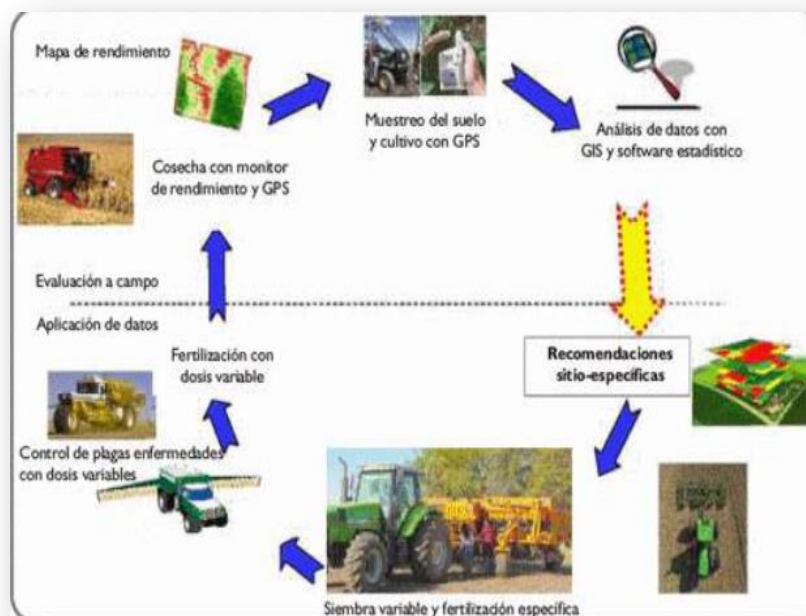


Figura 2.3. Esquema del círculo virtuoso de la Agricultura de Precisión.

Fuente en línea <http://agrolluvia.com>

Este equipamiento no requiere diseño ni construcciones especiales en la sembradora. En este caso el equipamiento está montado sobre una sembradora Agrometal TX Mega 12/52.5 equipada con doble fertilización en la línea y al costado 2x2. Distribuidor neumático de semilla por succión, con accionamiento de turbina en forma hidráulica por bomba acoplada a la TDP. Distribuidor de semilla/tren cinemático, motor hidráulico variable. El sistema de fertilización es doble dosificación con distribuidor tipo Chevron; tren cinemático comandado por motor hidráulico. El resto de la sembradora es igual al resto de las Agrometal

Mega convencionales y el incremento de costo no es significativo, se puede observar en la figura 2.4.

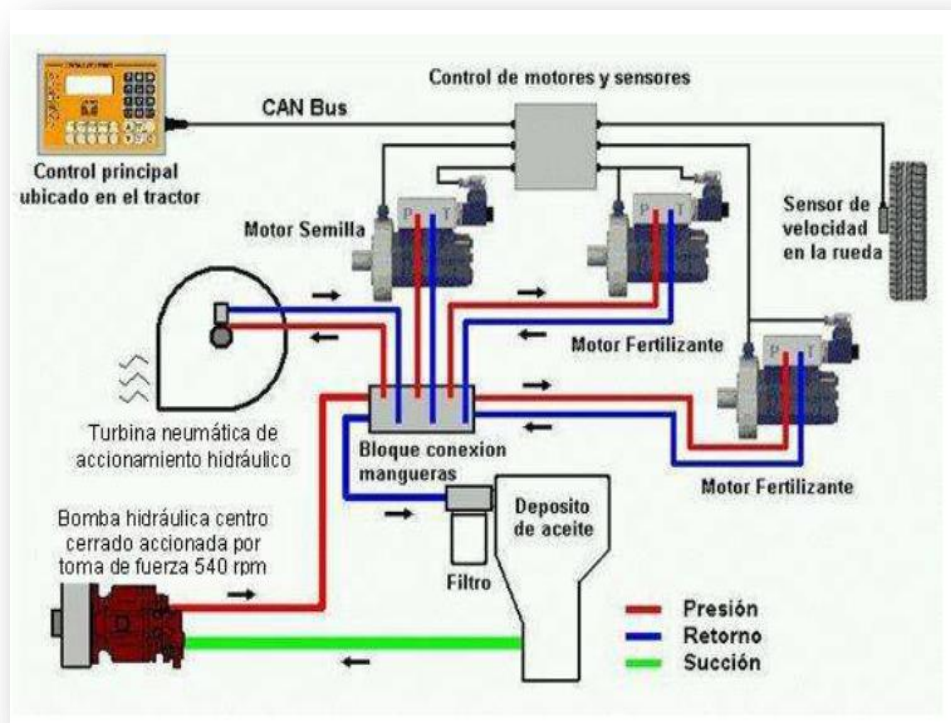


Figura 2.4. Esquema del sistema Verión adaptado a la sembradora Agro-metal Mega Neumática testada por el INTA Manfredi. Fuente en línea <http://agrolluvia.com>.

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.

En AP existen dos aproximaciones para la aplicación variable 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 sensoramiento directo del suelo y/o el 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.

Cuadro 2.1. Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (Adaptado de USDA, 1998).

ETAPA	TECNOLOGIA INVOLUCRADA	ACTIVIDADES
Recolección e ingreso de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de posicionamiento global (GPS). • Sistema de información geográfica (SIG). • Sensores remotos. • Sensores directos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de la topografía del suelo. • Muestreo de suelos. • Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. • Monitoreo de rendimientos. • Medición directa de propiedades del suelo y cultivos • Sensoramiento remoto de suelos y cultivos. • Digitalización de mapas
Análisis procesamiento e interpretación de la información.	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de SIG. • 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 semilla. • Otras.

2.3. Funciones de una sembradora

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

- Abra el surco para la semilla a una determinada profundidad.
- Mida la semilla.

- Deposite la semilla en el surco dentro de un patrón aceptable.
- Cubra la semilla y compacte el suelo alrededor de la semilla a un grado propio para el tipo de semilla involucrado.

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 afectan a la germinación y a las labores de emergencia sean tan favorables como sea posible.

Las partes de una sembradora de precisión, (Ortiz ,1989) son las siguientes:

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

2.4. Siembra de precisión

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

- Las semillas deben ser de tamaño uniforme y forma preferiblemente esférica.
- 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.
- Las semillas deben tener tiempo suficiente para entrar en las celdas para lo cual es importante la velocidad periférica del plato.

- 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.
- Debe de existir un sistema positivo de inyección de las semillas de modo que las obligue a caer por el tubo de salida.
- El tubo de caída debe ser de un 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/hrs. con un espacio de 5 cm, si una semilla se retrasa 1/30 segundo, al caer, será alcanzada por la semilla siguiente.
- Las semillas deben situarse a la profundidad adecuada y no deben desviarse por rebote o rodar en el surco.

2.4.1. Factores que afectan el llenado de celdas y daño en la semilla

El porcentaje de llenado de las celdas para una sembradora dada esta influenciado por factores tales como: el tamaño máximo de las semillas en relación al tamaño de la celda, el rango de tamaño de la semilla, la forma de estas, la forma de las celdas, el tiempo de exposición de una celda a la semilla dentro del depósito y la velocidad lineal de la celda (Kepner, 1978).

El porcentaje de llenado de la celda se define como el número total de semillas descargadas dividido por el número total de celdas pasando por el punto de descarga de acuerdo a esta definición el 100% de llenado de las celdas no necesariamente significa que cada celda contenga a una semilla, pero meramente implica que alguna celda pueda estar vacía y que otras sean llenadas por múltiples semillas. La distribución más uniforme de la semilla es usualmente obtenida con combinaciones de semilla, tamaño de la celda y velocidad de la celda, que proporcionan alrededor de 100% del llenado promedio de las celdas.

$$\% \text{ llenado de celdas} = \frac{\text{semilla reales}}{\text{semilla teóricas}} \times 100$$

<http://www.c4-ingenieros.es/empresa1.htm>

2.5. Variabilidad

Los mapas de rendimiento permiten cuantificar la variabilidad de rendimiento existente durante la cosecha de un cultivo dentro del lote, quedando grabada espacialmente.

La variabilidad de los lotes es uno de los factores que pueden justificar la realización de dosis variable en la siembra, fertilización, pulverización, etc y gracias al GPS y algunas herramientas de la Agricultura de Precisión, entre ellas monitor de rendimiento, podemos conocer el área que ocupa cada sitio y cuantificar sus diferencias de rendimiento.

Comprender la variabilidad es una de las claves de la Agricultura de Precisión. Se han identificado tres formas principales de variabilidad a tener en cuenta: Espacial, temporal y en la estimación.

- La variabilidad espacial: Es la que se da a lo largo y ancho del terreno. Esta variabilidad se puede reflejar mediante mapas de suelo. Si esta variabilidad es significativa, es el agricultor el que debe tomar las decisiones, aunque lo normal es contrastar este mapa con los de rendimiento.
- La variabilidad temporal: Se pone de manifiesto al comparar mapas de rendimientos de un año a otro, y su significado debe también ser deducido, aunque se pueden obtener mapas de tendencias que muestren las características fundamentales.
- La variabilidad en la estimación: Es la diferencia de lo estimado, con respecto a lo obtenido. Para un correcto aporte de inputs, se deben hacer ciertas observaciones, para obtener el rendimiento estimado. Si ese rendimiento no se obtiene, las observaciones que se hicieron en un primer momento, deberán ser mejoradas.

Antes de entrar a tomar decisiones respecto a estas variabilidades, se deben comprender, y por lo tanto previamente medirlas.

2.5.1. Medición de la variabilidad

La variabilidad espacial: Esta se puede medir mediante la obtención de datos sobre factores con localización precisa. Los mapas de rendimiento se producen realizando un seguimiento del rendimiento a la cosechadora, o máquina recolectora, tal que se conoce la cantidad cosechada en un determinado tiempo.

Un DGPS (GPS Diferencial) se utiliza para obtener la localización de la posición de los rendimientos que se están obteniendo. Un sistema similar se utiliza para el muestreo del suelo, excepto si las muestras se recogen a mano, y se envían posteriormente a laboratorio para su análisis, en este último caso se utiliza un GPS para el posicionamiento del lugar de toma de muestras, Figura 2.5.

Estos datos se filtran y se representan como mapas que muestran la variabilidad espacial.

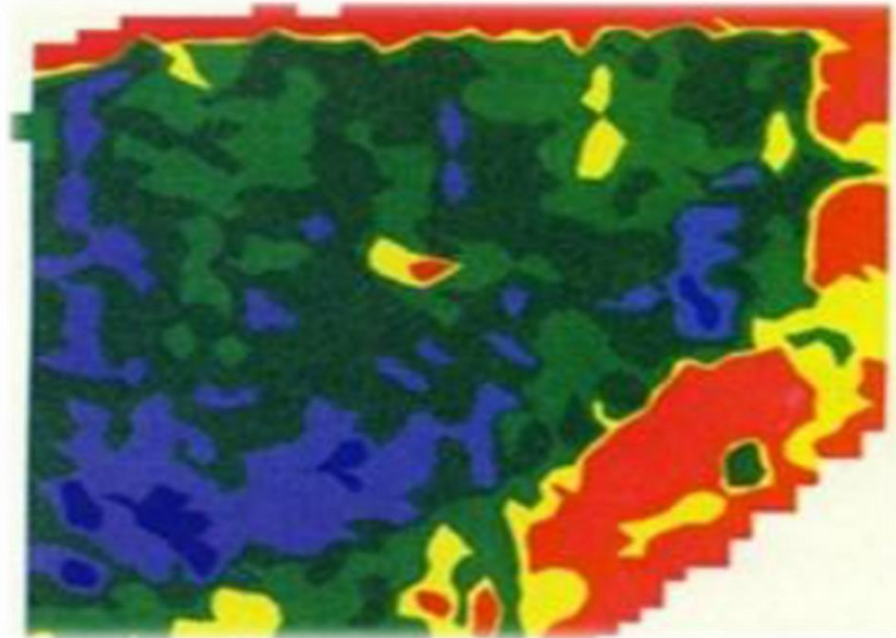


Figura 2.5. Mapa de producción.

La variabilidad temporal: Se obtiene mediante la observación y comparación de mapas que han sido obtenidos a lo largo del tiempo, Figura. 2.6.

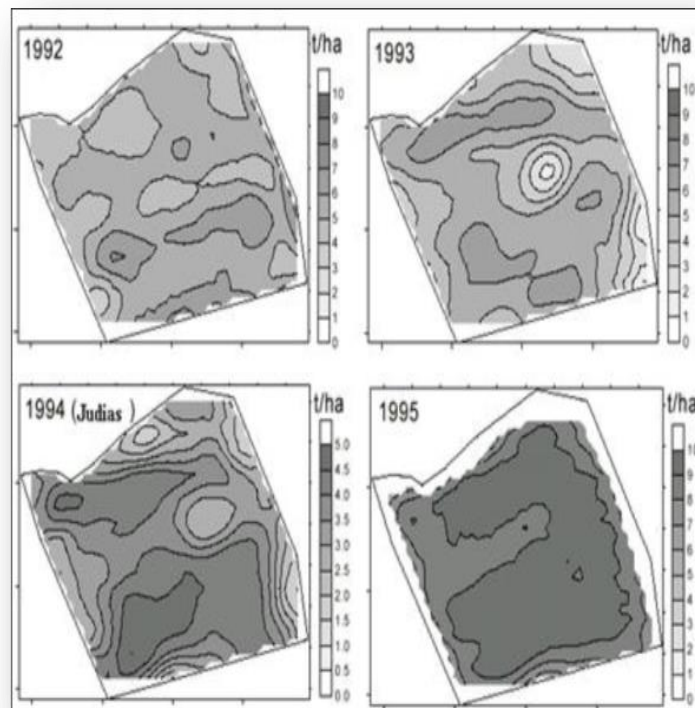


Figura 2.6. Mapas de rendimiento de diferentes años.

La variabilidad en la estimación: Esta variabilidad se obtiene midiendo la diferencia entre los valores para el cultivo, y los valores conseguidos. Los valores que más se utilizan son los de área de producción, el rendimiento y calidad. La calidad es difícil de predecir, hasta los estados tardíos de la producción, mediante la medida de la clorofila, y la realización de un mapa de clorofila, Figura 2.7.

La mayoría de los trabajos publicados relacionados a sistemas de determinación de producción de productos agrícolas para la elaboración de mapas de rendimiento están en el área de granos, donde empresas como JOHN DEERE

(1998), CASE (1999) y AGCO (1999) desarrollaron sensores de flujo de masa específicos para determinar la producción y la humedad de granos y software para manejar estos datos y generar los mapas de rendimiento.

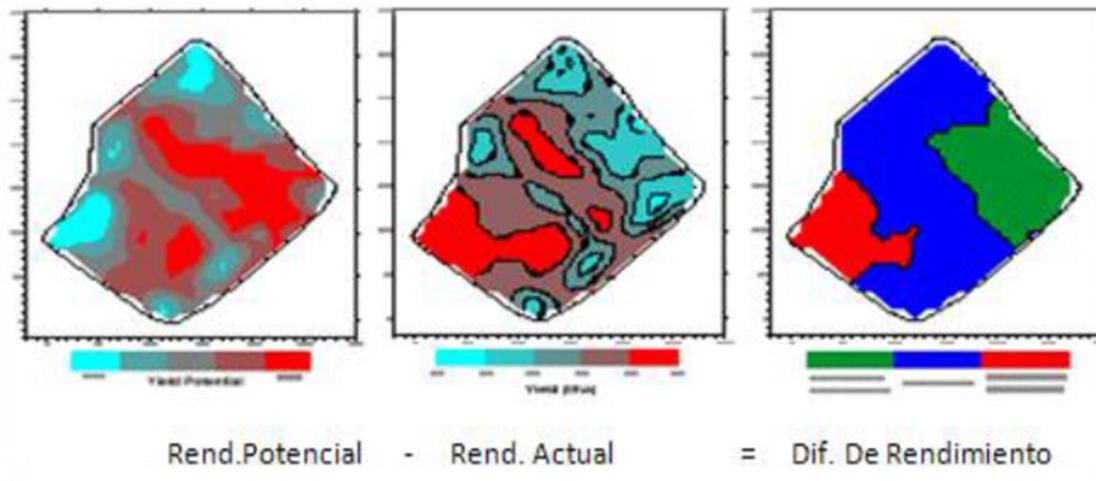


Figura 2.7. Variabilidad de la estimación del rendimiento.

2.5.2. Mapa de rendimiento

La práctica más importante, quizá, son los mapas de rendimiento. Para ello son necesarias una serie de tecnologías, tomemos como ejemplo una cosechadora de cereal, como se puede apreciar, Figura 2.8.

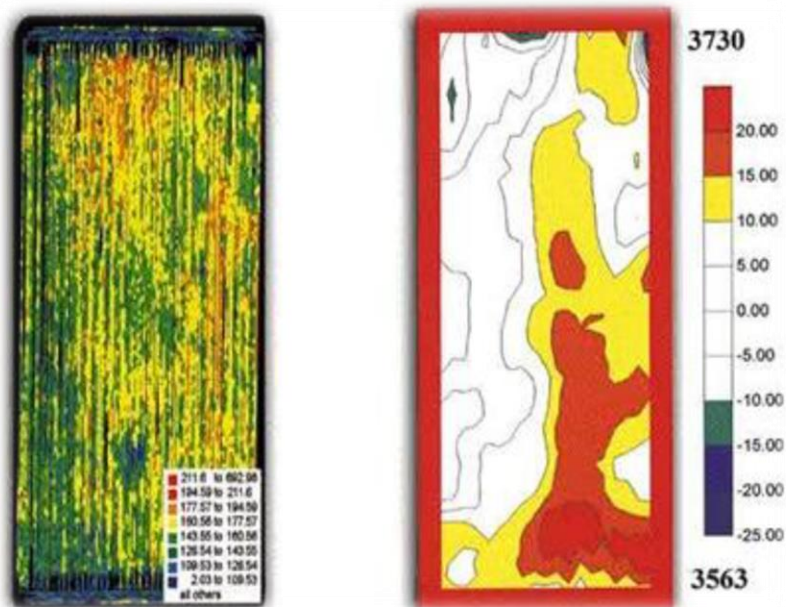


Figura 2.8. A la izquierda, representación de los datos de posición rendimiento, sin tratamiento con SIG. A la derecha, la misma parcela tras tratar los datos con un SIG. <http://www.c4-ingenieros.es/empresa1.htm>.

Será necesario un receptor GPS montado sobre la cosechadora, el cual obtendrá segundo a segundo la información de la posición en el campo, a medida que la cosechadora avanza por el campo. Además, esta cosechadora debe tener 2 sensores, uno para medir el flujo de grano, y otro para medir la humedad del grano cosechado. A medida que la máquina avanza, un ordenador recoge la información que le llega del GPS, con un intervalo de 1.2 segundos registrando la latitud y la longitud, y de los dos sensores.

Normalmente la información se almacena en memoria PCMCIA, la cual puede extraerse de este ordenador, y pasar su información posteriormente al ordenador de la oficina.

Si se realizase una representación de esta información, se obtendría la parte izquierda, Figura 2.8, la cual como se ve es difícil de interpretar. Por lo tanto es necesario un software que permita una mejor lectura o interpretación de los datos,

estos programas informáticos son los SIG (Sistemas de Información Geográfica). Así la figura antes mencionada, aparecerá suavizada, como en la parte derecha, Figura 2.8.

Elías (1997) que relató el desarrollo, construcción y uso a campo, de un sistema de instrumental y adquisición de datos para el mapeo de producción en granos. El sistema consistía en la medición automática de peso de los granos cosechados utilizando una sub-tolva granelera apoyada sobre cuatro celdas de carga dentro de la tolva de la cosechadora, sin ninguna modificación estructural de la misma, obteniendo un error máximo de 3.99 N. para una capacidad de la sub-tolva de 4.905 N. La principal ventaja del sistema de pesaje automático, desarrollado por Elías, está en permitir la obtención directa del peso de los granos cosechados, sin necesidad de sensores para la medición del flujo de granos y calibración para cada cultivo.

Balastreire (1998), presenta el potencial de utilización de los conceptos de AP en el cultivo de la caña de azúcar. En su artículo el autor resalta entre los principales beneficios que la aplicación de este concepto puede ofrecer, como:

a) posibilidad de reducción de polución ambiental, b) beneficios económicos, donde la reducción del costo final del producto puede ser obtenida reduciendo los insumos en los puntos de bajo potencial de producción y re direccionándolo a los puntos de mayor potencial, c) ganancia de productividad, con aumento de producción y un aumento de la cantidad de azúcar de caña disponible. Además según Balastreire el potencial de aplicar los conceptos de AP en el cultivo de la caña de azúcar se divide en cuatro puntos:

- Mapa de suelo: Este mostrará el potencial de fertilidad del suelo, y permitirá establecer las estrategias de aplicación de fertilizantes.
- Mapa de cultivo: Permitirá obtener mapas geo referenciados de los parcelas del cultivo en sus diferentes estados.

- Mapa de cosecha: Se puede obtener un mapa de producción de cada celda dentro de un tablón. Con la georeferenciación se tiene la localización exacta de cada celda, entonces, se puede verificar en el lugar cual fue el motivo de la baja de producción.
- Aplicación localizada de insumos: La decisión sobre el mejor método de gerenciamiento del área puede ser hecho por medio de programas de computación específicamente realizados para la agricultura que proporcionan mapas de aplicación localizada de insumos. Con el auxilio de equipamientos especiales para el control de aplicación se puede aplicar la cantidad requerida en cada celda para así utilizar el máximo potencial de producción.

Schneider *et al.*, (1996) desarrollaron un sistema de monitoreo de producción de papa que consistía en un acondicionador de señales y una unidad de control (SCCU), sensor para medir la velocidad de la correa transportadora de las celdas de carga, DGPS, computadora a bordo y un modem con frecuencia de radio (RF). El sensor de masa (celda de carga) fue montado en una barra con una escala de fondo de 225 kg. El sensor de velocidad de la correa transportadora fue fijado al lado del eje en el cual fue montado un magneto. Los tiempos registrados en un archivo fueron ajustados para corregir la diferencia de tiempo entre el momento de cosecha y el momento de pesaje, "lag time". Fue usado un algoritmo para determinar la media de las medidas de peso dentro de una distancia fija de 15 m. En este método es preferible usar un número fijo de puntos, considerando la posibilidad de inicio y fin de las operaciones de la máquina.

2.6. Dosis variable

Una 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 persiga el asesor o productor. Algunos buscan obtener respuestas agronómicas (en vez de una respuesta meramente económica). En la Figura 2.9, se muestra una de las herramientas que se utilizan para el manejo de sitio específico.



Figura 2.9. Manejo de sitio específico.

Cuando se busca solamente rentabilidad, esta no siempre es lo 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.

En el caso que haya variabilidad de rendimientos en el campo, es posible conocer la superficie que ocupa el sitio con mayor o menor potencialidad de rendimiento y se puede caracterizar por medio de análisis físicos o químicos de suelo. Luego comienza el proceso de saber que dosis de fertilización recomendar, por ejemplo, y existen varias maneras de realizar recomendaciones. Una de ellas, es el método

de balance (que es simple pero más preciso si varían mucho las condiciones de los ambientes), o haciendo correr modelos de simulación para cada sitio (que le da más precisión al dato). Luego, se aplica la cantidad de fertilizante que los modelos indiquen con la maquinaria de dosis variable y en cada sitio específico. El objetivo es apuntar a un manejo más eficiente de los insumos, dejando de lado la dosis uniforme. Por ejemplo, donde hay recomendaciones zonales de aplicar 100 kg de nitrógeno/ha para el cultivo de maíz, ahora se puede determinar en qué parte del lote se fertiliza con 30 o 150 kg de N/ha y, de esta manera, se maneja la variabilidad del campo, “muchas personas hacen dosis variable aplicando menos fertilizante en algún lugar y más en otro sin tener datos precisos sobre el potencial de rendimiento del cultivo u lo que puede aportar el suelo al cultivo. Es decir que realizan dosis variable de manera imprecisa”.

Los pasos a seguir para llegar a buenos resultados en dosis variable de semilla y fertilizantes. Contar con información georreferenciada 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 presentes 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.

2.7. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene una Unidad Central de Proceso (CPU) y una serie de recursos internos en un solo encapsulado. El CPU permite que el microcontrolador pueda ejecutar instrucciones almacenadas en una memoria. Los recursos internos son memoria RAM, memoria ROM, memoria EEPROM, puerto serie, puertos de entrada/salida, temporizadores, comparadores, etc. Se puede decir que es una evolución del microprocesador, al añadirle a este

último las funciones que antes era necesario situar externamente con otros circuitos. El ejemplo típico está en los puertos de entrada/salida y en la memoria RAM, en los sistemas con microprocesadores es necesario desarrollar una lógica de control y unos circuitos para implementar las funciones anteriores, con un microcontrolador no hace falta porque lo lleva todo incorporado, además en el caso de tener que ampliar el sistema ya ofrece recursos que facilitan esto. En resumen, un microcontrolador es un circuito integrado independiente, que no necesita memoria ni puertos externos pues los lleva en su interior, que facilita la tarea de diseño y reduce el espacio, traduciéndose todo a una aplicación final más económica y fiable.

2.7.1. PIC16F84A

Es el PIC con memoria Flash más popular. Cuenta con una memoria de programación serial de 1024 instrucciones y 64 localidades de memoria RAM. La memoria de programación es eléctricamente borrable ya que no se requiere borrarlo con luz ultravioleta como las versiones EPROM. Internamente cuenta con un contador de tiempo. Este PIC se presenta en un Chip de dieciocho pines de los cuales 13 están disponibles como Entradas / salidas. Figura 2.10.

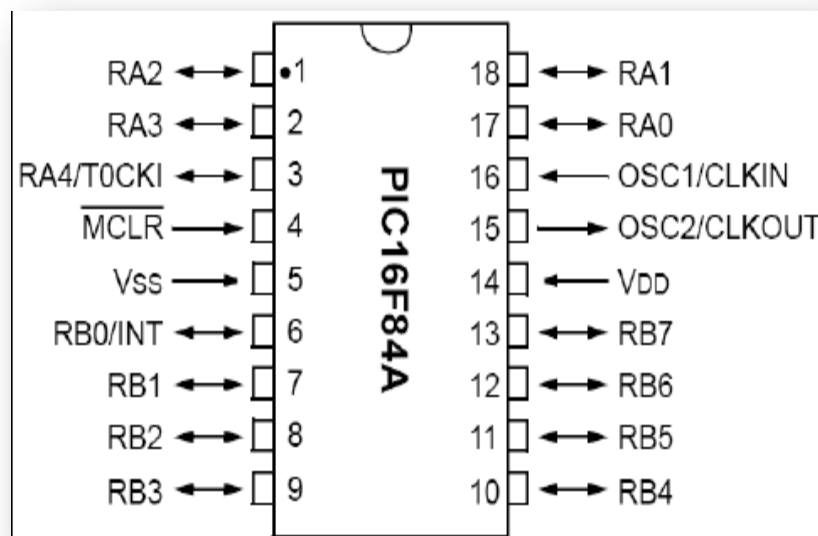


Figura 2.10. Diagrama de pines del PIC16F84A.

El PIC16F84 (*Anexo A*) es un microcontrolador de Microchip Technology, su consumo de potencia es muy bajo y además es completamente estático, esto quiere decir que el reloj puede detenerse y los datos de la memoria no se pierden.

2.8. LabView

LabView es un revolucionario entorno de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medida y presentaciones de datos. LabView le da la flexibilidad de un potente ambiente de programación, pero mucho más sencillo que los entornos tradicionales. Lenguaje desarrollado para medida, control y automatización a diferencia de los lenguajes de propósito general, LabView tiene funciones específicas para acelerar el desarrollo de aplicaciones de medida, control y automatización.

De acuerdo con la página de internet: <http://digital.ni.com>

Los programas desarrollados en LabView llevan por nombre instrumento virtual que es un módulo software que simula el panel frontal de instrumentación que antes hemos comentado y, apoyándose en elementos hardware accesibles por el computador (tarjetas de adquisición, tarjetas DSP, instrumentos accesibles vía GPIB, RS-232, USB, ethernet).

Cuando se trabaja en el ambiente LabView con dos ventanas: una en la que se implementará el panel frontal, Figura 2.11, y otra que soporta el nivel de programación, Figura 2.12. Para la creación del panel frontal se dispone de una librería de controles e indicadores de todo tipo y la posibilidad de crear más, diseñados por el propio usuario.

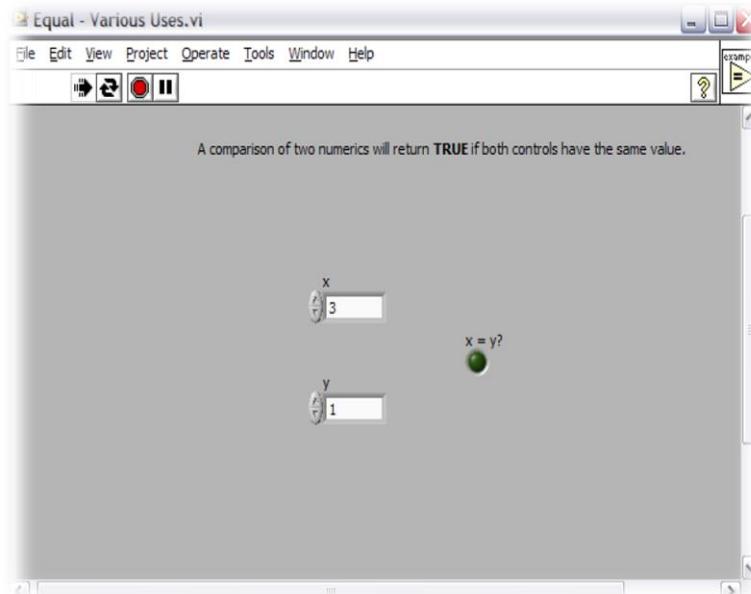


Figura 2.11 Panel Frontal, aquí se muestra el resultado de la programación National Instruments LabView.

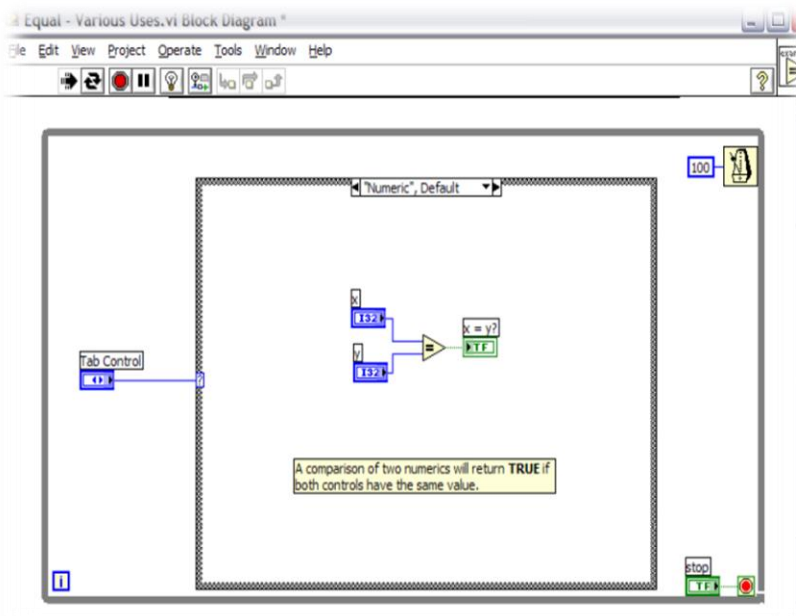


Figura 2.12 Diagrama de bloques, aquí se realiza la programación National Instruments LabView.

Anzures (2001) diseñó un medidor de energía virtual, empleando LabView, el cual indica, de manera digital, en una computadora personal (PC), el consumo de ésta a nivel residencial. El instrumento virtual, censa las señales de voltaje y corriente del sistema, para ser llevadas a la PC a través de una tarjeta de adquisición de datos. Además, indica el voltaje y corriente en ms; potencias activa, reactiva y aparente; demanda máxima; factor de potencia y genera un espectro de frecuencia de las señales. Actualmente, permite capturar eventos en sistemas monofásicos en intervalos de tiempo definidos por el usuario; por defecto el instrumento maneja 5 y 15 min de acuerdo a los estándares de Comisión Federal para sus medidores de estado sólido.

Burgos (2003) desarrolló un control de un horno microondas casero convencional que fue adaptado para ser usado como medio de calentamiento en un proceso de destilación de agua. En la automatización del proceso se usó LabView y una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments con la que se tomó registro de la temperatura dentro del horno y se enviaba la señal de encendido y apagado del horno. Para el control de la temperatura dentro del horno microondas se usó un termopar, el cuál era la responsable de realizar la realimentación del sistema para informar al programa y mantener el nivel de temperatura dentro de la cavidad en los niveles deseados para la destilación.

III. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS.

3.1. Ubicación del lugar de investigación

En la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo Coahuila, departamento de Maquinaria Agrícola, se llevó a cabo el desarrollo de un sistema inteligente de dosificación neumática y mecánica de semilla en tiempo real e ideal durante el periodo 2011-2013, el campo experimental se ubica a los $101^{\circ}59'17''$ Longitud Oeste $25^{\circ}23'59''$ Latitud Norte a una altura de 1600 msnm, como se muestra en la Figura 3.1.



Figura 3.1. Taller y laboratorio de prototipos.

3.2. Materiales

Para el desarrollo del prototipo de banco de pruebas de dosificadores de semillas se utilizó el taller de máquinas y herramientas, como se aprecia en la siguiente Figura 3.2, el cual consta de: torno, taladro, equipo para soldar, prensa, etc.

Para las evaluaciones correspondientes se utilizó: semilla certificada maíz (Van-210), semilla certificada de frijol, cronómetro y cámara fotográfica.



Figura 3.2. Taller de máquinas y herramientas.

3.3. Equipos

Banco de pruebas

El prototipo utilizado en la evaluación se encuentra ensamblado a un chasis, dos sistemas de dosificación de semillas en tiempo real y un motorreductor, un dosificador neumático Max Emerge 7200, que contiene los siguientes ensambles: un disco que simula el plato dosificador con respecto a semillas ideales, un sensor opto electrónico, sensor de semillas y velocidad, otro sistema mecánico Mp25 marca John Deere que contiene el siguiente ensamble: un sensor de semilla y de velocidad, un control automático para la transmisión utilizando la señal de voltaje emitida de la pc al variador, como se aprecia en la siguiente Figura 3.3.



Figura 3.3. Banco de pruebas del sistema dosificador neumático y mecánico.

Ensamble de un sistema de siembra John Deere, Modelo Max Emerge 7200, con un sistema dosificador neumático de semilla, como se muestra en la Figura 3.4.



Figura 3.4 Sistema dosificador neumático.

En la Figura 3.5, se muestra el ensamble de un sistema de siembra John Deere, Modelo Mp25, con un sistema dosificador mecánico de semilla.



Figura 3.5. Sistema dosificador mecánico.

Sensores de pulsos de semillas y velocidad del motorreductor 1:30.

- a) Motorreductor con relación de trabajo 1:30; genera el movimiento de los sistemas dosificador mecánico y neumático.
- b) Sensor de semilla real (tipo comercial marca John Deere) para los sistemas dosificador mecánico y neumático, Figura 3.6.



(a)



(b)

Figura 3.6. (a) Motorreductor 1:30. (b) Sensor de semilla

Tarjetas electrónicas

Con la finalidad de contar los pulsos de caída de semilla ideales del simulador del plato dosificador mecánico y las revoluciones por minuto del motorreductor, se realizó la reproducción de dos tarjetas electrónicas (Anexo B), descripción de los componentes. Figura 3.7. Se muestra una tarjeta para contar pulsos, esta tarjeta electrónica fue diseñada en la UAAAN por (Ariel, 2012).

En la figura 3.8, se muestra dos tarjetas electrónicas para recibir señal de los sensores de caída de semilla.



Figura 3.7. Tarjeta para contar pulsos

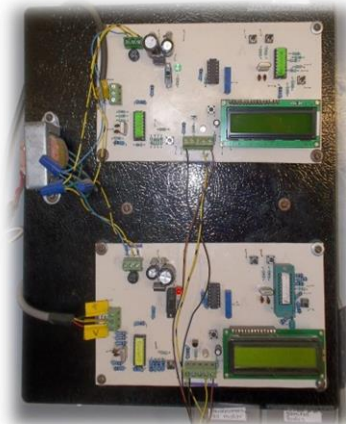


Figura 3.8. Dos tarjetas electrónicas para recibir señal de los sensores de caída de semilla.

Tarjeta de adquisición de datos National Instrument

PCI-NI-6221. Tarjeta de entrada/salida, para uso con dispositivo DAQ de las series X, M y E (solo NI-DAMx), ensamblada en la tarjeta madre del CPU de la computadora, para recibir la información del programa gráfico LabView, Figura 3.9.



Figura 3.9. Tarjeta de adquisición de datos PCI-NI-6221.

Tarjeta de conexión de señales de conectividad. (Tipo comercial de la marca National Instrument).

Esta tarjeta es utilizada para la comunicación externa de las tarjetas electrónicas que reciben señal del sensor de caída de semilla real e ideales y el CPU, Figura 3.10.



Figura 3.10. Tarjeta de conexión de señales.

Variador de frecuencia

Mitsubishi FREQROL-A200, Figura 3.11.

Este variador permite enviar velocidad en Hertz al motorreductor para iniciar la transmisión de los sistemas dosificadores del banco de pruebas.



Figura 3.11. Variador de frecuencia.

Software LabView 8.5 de National Instrument

Software LabView 8.5 de National Instrument. En este software, se desarrolló un programa virtual que permite tener comunicación con la tarjeta de adquisición de datos National Instrument, mismo que recibe y envía señal a los sensores y tarjetas, activando de forma dinámica y variable los sistemas de dosificación. Figura 3.12.



Figura 3.12. Logotipo de Software LabView 8.5 de National Instrument.

Discos simuladores del plato dosificador

Disco (fundición de aluminio) con 4 perforaciones, mismo que se ensambla en el eje dosificador y se acopla con un sensor opto electrónico, el cual permite contabilizar los pulsos, es decir, la caída ideal de semillas. Figura 3.13.

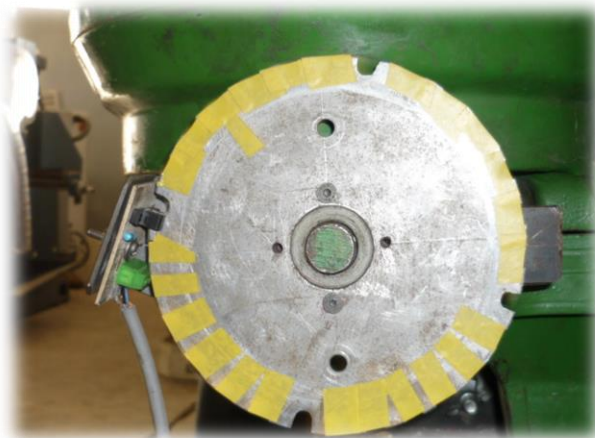


Figura 3.13. Disco con 4 perforaciones.

Disco de aleación (tipo comercial) con 30 perforaciones, ensamblada en el dosificador neumático para la simulación de caída de semillas ideales, Figura 3.14. La cadena utilizada en el sistema de transmisión y el paso de engranes es número 40 de tipo industrial.



Figura 3.14. Disco con 30 perforaciones.

3.4. Metodología

3.4.1. Desarrollo de programas en lenguaje gráfico virtual denominado LabView 8.5.

En el software LabView 8.5 se desarrollaron dos programas que permiten recibir señal de una tarjeta de adquisición de datos (PCI-NI-6221) ubicada en la tarjeta madre del CPU, esta tarjeta se utiliza como medio de comunicación externa que tiene el ambiente de programación Lobbies, el instrumento virtual (VI), este lenguaje de programación tiene como finalidad mostrar la frecuencia que se envía a la tarjeta de forma numérica para el conteo, el cual es enviado por el sensor de caída de semilla y velocidad y el sensor optoelectrónico, como una señal digital. Los programas desarrollados fueron: contador de pulsos del motorreductor y semillas ideales, contador de semillas reales e ideales, en el (Anexo C) se describe los pasos en la elaboración de los programas con su respectiva configuración.

3.4.2 Evaluación de rangos de voltaje enviados por el programa al variador de frecuencia.

En el Cuadro 3.1, se muestra el rango de voltaje alimentado al variador de frecuencia que se empleó durante la verificación de la velocidad del eje del motorreductor versus ejes de dosificadores, los datos se obtuvieron mediante una regla de proporcionalidad considerando la mínima y máxima frecuencia (Hz) del variador de frecuencia.

Cuadro 3.1. Rango de voltaje del variador de frecuencia empleado durante las evaluaciones.

N/P	Variador de frecuencia	
	Voltaje por el software (V).	Frecuencia por el variador (Hz).
1	1.25	15
2	1.66	20
3	2.5	30
4	4	48
5	4.5	54
6	5	60

3.4.3. Evaluación del banco de pruebas en el sistema de dosificación y neumático.

Para la verificación entre la relación de (voltaje-frecuencia) y (revoluciones del motorreductor-eje dosificador) se construyeron dos sensores opto electrónicos con su respectivo disco perforado simulando el plato dosificador, uno conectado al eje del motorreductor, Figura 3.15, y otro sensor conectado al eje del dosificador de semilla mecánica, Figura 3.16.

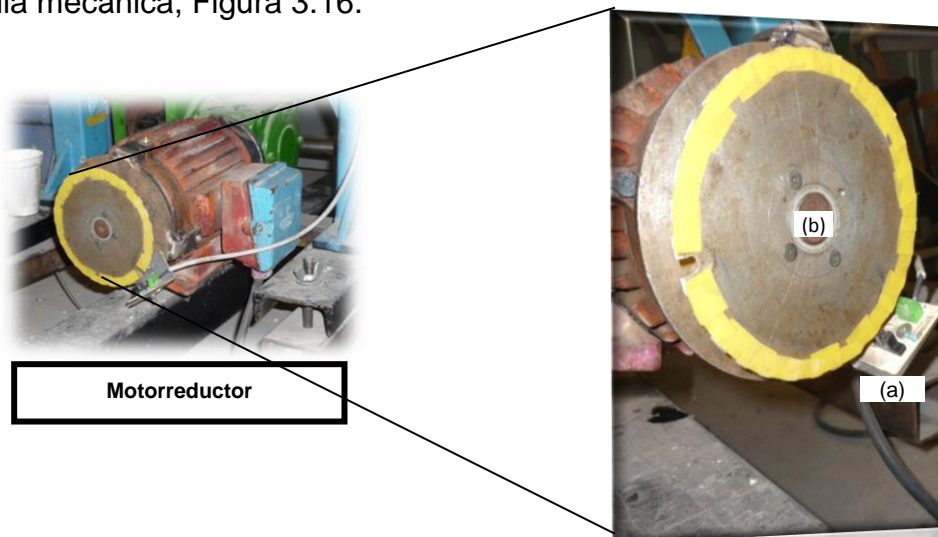


Figura 3.15. Motorreductor, (a) Sensor opto electrónico, (b) Disco con una perforación, simulador de un plato dosificador.

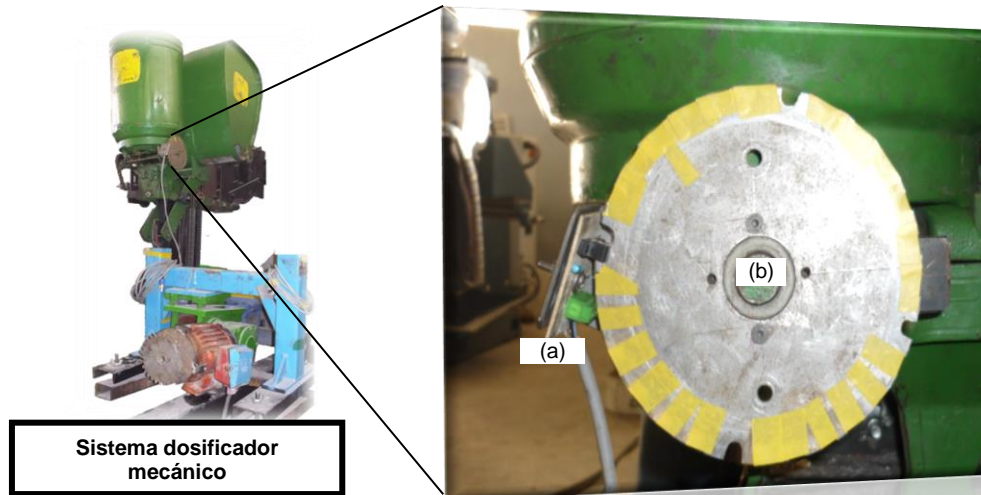


Figura 3.16. Sistema dosificador mecánico, (a) Sensor opto electrónico, (b) disco con 4 perforaciones, simulador del plato dosificador.

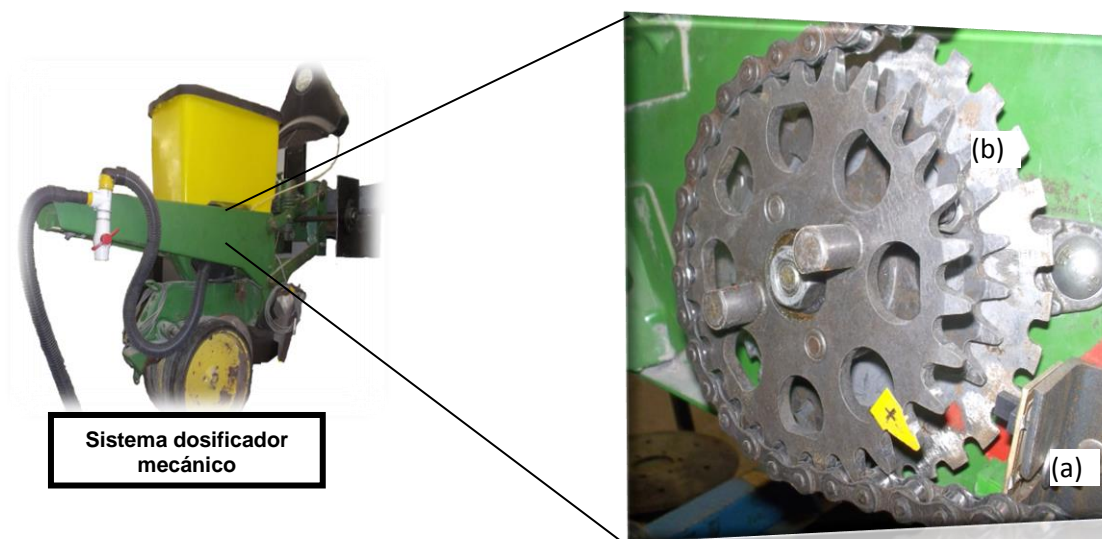


Figura 3.17. Sistema dosificador neumático, (a) Sensor opto electrónico, (b) disco con 30 perforaciones, simulador del plato dosificador.

Para determinar las revoluciones del motor, pulsos ideales y semillas reales, se consideró el disco perforado, simulando el dosificador. La programación de las características de prueba de los rangos de voltaje y frecuencia, se envían a través del programa “contador de pulsos del motorreductor y semillas ideales” y “contador

de semillas reales e ideales” .Se realizaron 5 repeticiones para cada rango de voltaje-Hertz como se muestra en la Figura 3.18.

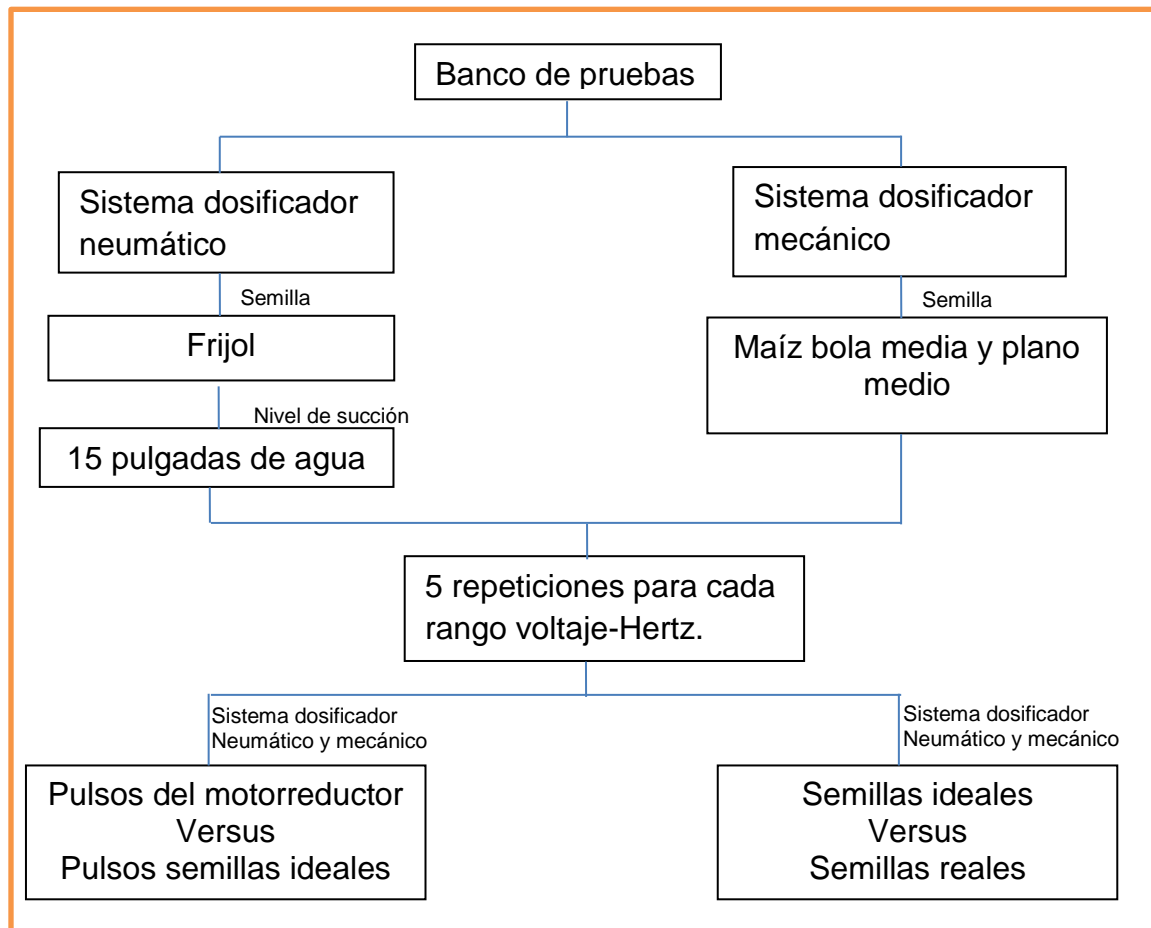


Figura 3.18. Diagrama de la secuencia de evaluación del banco de pruebas en los sistemas dosificador mecánico y neumático.

Los pulsos tanto del motorreductor y eje dosificador fueron desplegados en tiempo real en instrumentos virtuales “contador de pulsos del motorreductor y pulsos ideales”. Para cada corrida de 1000 pulsos del motorreductor se registró los pulsos del eje dosificador, además se tomó el tiempo para cada uno de los 6 rangos de voltaje-frecuencia.

Los datos de estas evaluaciones se analizaron mediante el uso de regresiones lineales empleado el programa Minitab V15. Obteniendo sus ecuaciones de respuesta y el porcentaje de correlación.

En el Cuadro 3.2, se muestran los arreglos empleados para la evaluación del comportamiento del plato dosificador neumático con semilla de frijol, en términos de porcentaje de eficiencia de llenado de celdas.

Cuadro 3.2. Arreglos de la evaluación del plato dosificador neumático.

ARREGLOS	VARIADOR DE FRECUENCIA		VELOCIDAD CELDA POR MINUTO	SEMILLAS IDEALES
	VOLTAJE	HERTZ		
1	1.25	15	400	2000
2	1.66	20	550	2000
3	2.4	30	850	2000
4	4	48	1350	2000
5	4.5	54	1450	2000
6	5	60	1200	2000

En el Cuadro 3.3, se muestra el arreglo empleado para la evaluación del comportamiento del plato dosificador mecánico con semilla de maíz bola media y plano medio, en términos de porcentaje de eficiencia de llenado de celdas.

Cuadro 3.3. Arreglos de la evaluación del plato dosificador mecánico.

ARREGLOS	VARIADOR DE FRECUENCIA		VELOCIDAD CELDA POR MINUTO	SEMILLAS IDEALES
	VOLTAJE	HERTZ		
1	1.25	15	180	1800
2	1.66	20	250	1800
3	2.4	30	350	1800
4	4	48	600	1800
5	4.5	54	670	1800
6	5	60	750	1800

Para cada arreglo se hicieron 5 repeticiones empleando semilla de frijol y maíz tanto de bola media como plano medio. Para cada repetición se registraron las semillas ideales por corrida registrando las semillas reales por efecto del cambio de velocidad.

El análisis de los datos para obtener el porcentaje de llenado de celdas por efecto de la velocidad como un indicador de la calidad de dosificación se hizo empleando el método de regresión lineal obteniendo su ecuación de respuesta y su

coeficiente de correlación. Para obtener el porcentaje de llenado de celdas se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de llenado de celdas} = (\text{semilla real} / \text{semillas ideales}) \times 100$$

La metodología de evaluación y la integración de los equipos para la evaluación del sistema dosificador neumático, se muestra en la Figura 3.19.

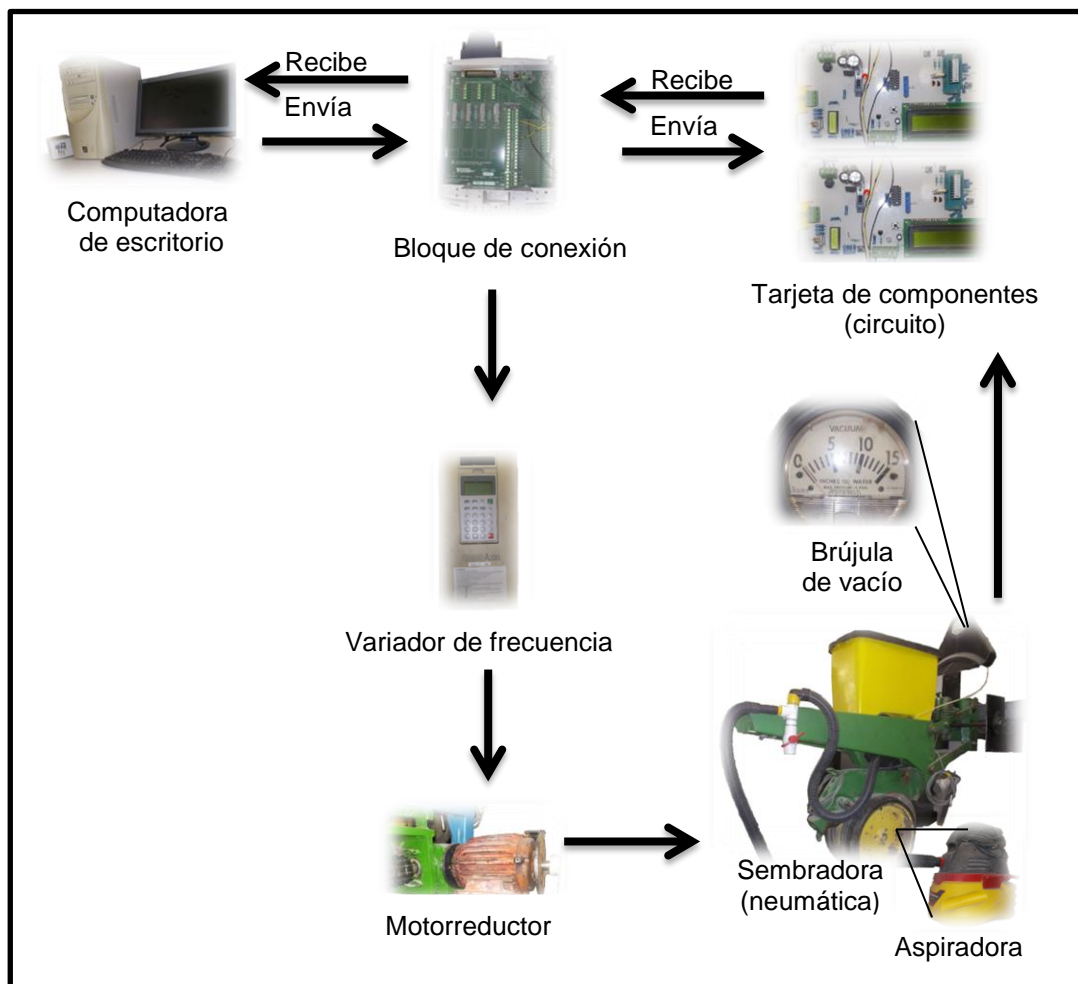


Figura 3.19. Equipo utilizado en la mecánica de evaluación del sistema dosificador neumático.

La metodología de evaluación y la integración de los equipos para la evaluación del sistema dosificador mecánico, se muestra en la en la Figura 3.20.

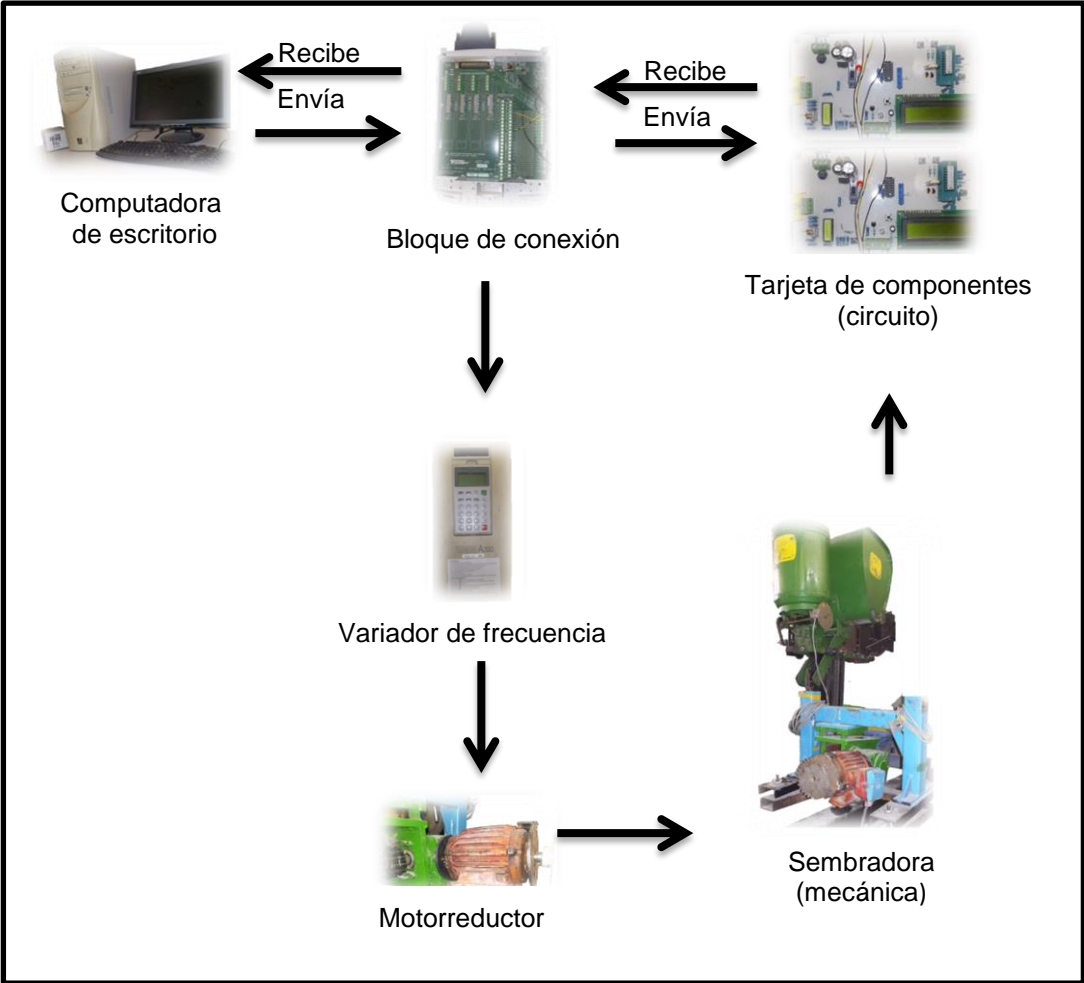


Figura 3.20. Equipo utilizado en la mecánica de evaluación del sistema dosificador mecánico.

IV. RESULTADOS

4.1. Programa contador de pulsos del motor y semillas ideales.

En la Figura 4.1, se muestra el programa **PULSOS MOTOR-SEMILLAS IDEALES.vi**, el panel frontal contiene contador de semillas ideales, pulsos del motor y controlador de voltaje enviado al variador de frecuencia, donde su principal función es la de contar y mostrar los pulsos, enviados por el motorreductor, semillas ideales en el sistema dosificador mecánico y neumático.



Figura 4.1. Panel frontal, programa contador de pulsos del motor y semillas ideales.

En la Figura 4.2, continúa la secuencia de la programación donde se presenta los siguientes componentes del desarrollo del programa; DAQ Assistant, DAQ Assistant_2, DAQ Assistant_3, indicadores numéricos “pulsos del motor, contador de semillas ideales”, control numérico y Write measurement File (Archivo Medidor de Escritura).

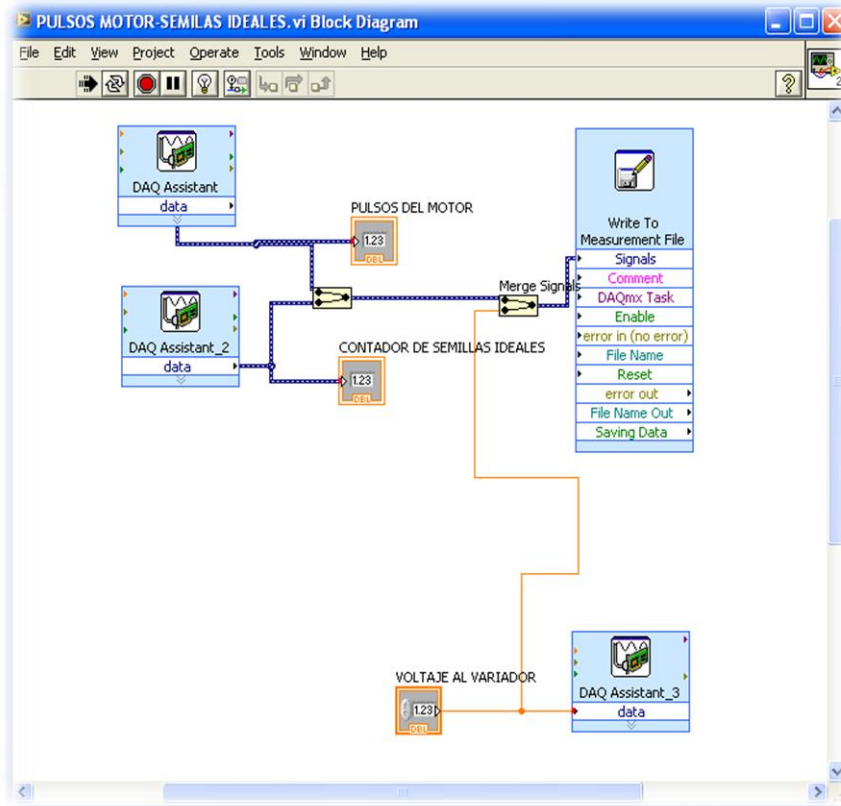


Figura 4.2. Diagrama de bloques, programa contador de pulsos del motor y semillas ideales.

4.2. Programa contador de semillas reales e ideales.

En la Figura 4.3, se indica el programa **SEM-REA-IDEA.vi**, en el panel frontal se observa, un contador de semillas reales e ideales y regulador de voltaje enviado al variador de frecuencia, el funcionamiento de este es contar y mostrar los pulsos de semillas reales e ideales, del sistema dosificador mecánico y neumático.



Figura 4.3. Panel frontal, programa contador de semillas reales e ideales.

En la Figura 4.4, se presenta la secuencia de la programación, con los siguientes componentes que forma el programa; DAQ Assistant, DAQ Assistant_2, DAQ Assistant_3, indicadores numéricos “contador de semillas reales, contador de semillas ideales”, control numérico y Write measurement File.

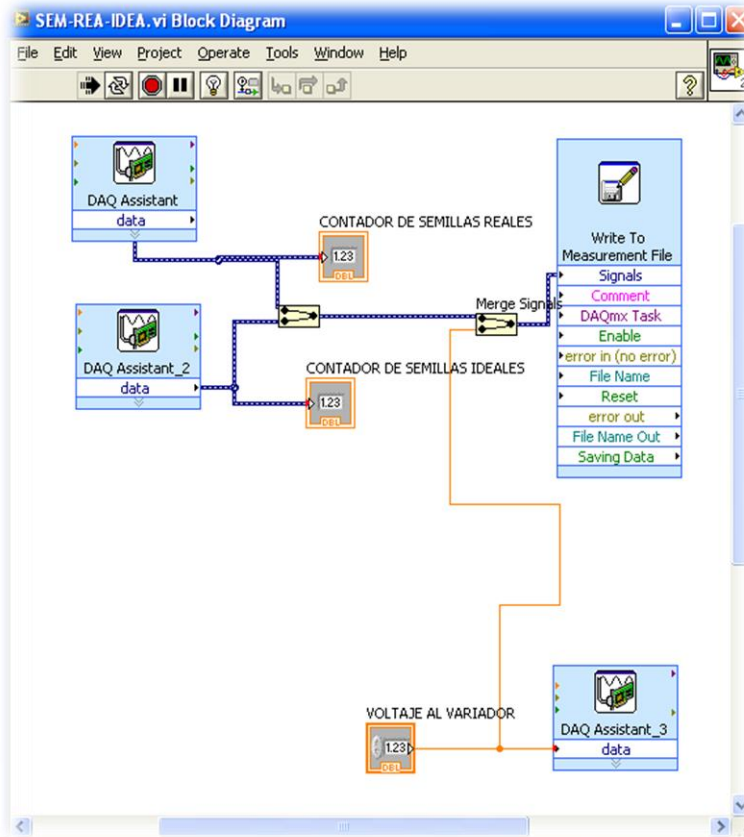


Figura 4.4. Diagrama de bloques, programa contador de semillas reales e ideales.

4.3. Evaluación del banco de pruebas en el sistema dosificador neumática.

En el Cuadro 4.1, se muestran las medias de los resultados obtenidos durante la evaluación, comparando las revoluciones por minuto del motorreductor versus el eje de las semillas ideales, en función del rango de voltaje establecido en el variador de frecuencia. En el cuadro se muestra que los pulsos del plato dosificador tienden a reducirse 916 a 886 pulsos con el incremento de la velocidad del motorreductor, debiéndose mantener la misma cantidad de pulsos no importando el cambio en la velocidad tangencial del eje.

Cuadro 4.1. Medias de resultado en la evaluación del sistema dosificador neumático.

VARIADOR DE FRECUENCIA		CANTIDAD DE		TIEMPO MINUTOS	EJE DEL MOTO REDUCTOR
V.	HZ.	PULSOS DEL EJE DOSIFICADOR	PULSOS DEL MOTOR		RPM
1.25	15	916	1003	2:14	447.198
1.66	20	917	1004	1:40	598.482
2.4	30	917	1003	1:06	905.914
4	48	917	1003	0:41	1454.182
4.5	54	886	1003	0:36	1636.956
5	60	725	1003	0:33	1793.058

En el Cuadro 4.2, Se muestra la ecuación de regresión lineal y análisis de varianza; del comportamiento de la línea ajustada entre rpm y voltaje del motorreductor.

Cuadro 4.2. Ecuación de regresión y análisis de varianza; rpm versus voltaje

La ecuación de regresión es					
rpm = - 1.076 + 361.8 voltaje					
S = 8.61347 R-cuad. = 100.0% R-cuad.(ajustado) = 100.0%					
Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	7998833	7998833	107812.70	0.000
Error	28	2077	74		
Total	29	8000910			

El valor de la probabilidad (0.000) del p-value indica que los intervalos se superponen, lo que manifiesta que son estadísticamente significativos y por lo tanto al menos uno de los tratamientos es diferente. Los resultados indican que t1, t2, t3 y t4 son estadísticamente iguales, pero diferentes del t5 y t6 en un 3.38% y 21% respectivamente en el porcentaje de semillas ideales cuando se incrementa a 1636 y 1793 las rpm de la fuente de transmisión de potencia.

En la Figura 4.5, se muestran la gráfica de la regresión lineal entre las revoluciones por minuto (rpm) versus voltaje del motorreductor, el análisis de

varianza nos indica una correlación del 100%. Los cuadros de las repeticiones de los datos se encuentran contenido en el (Anexo D).

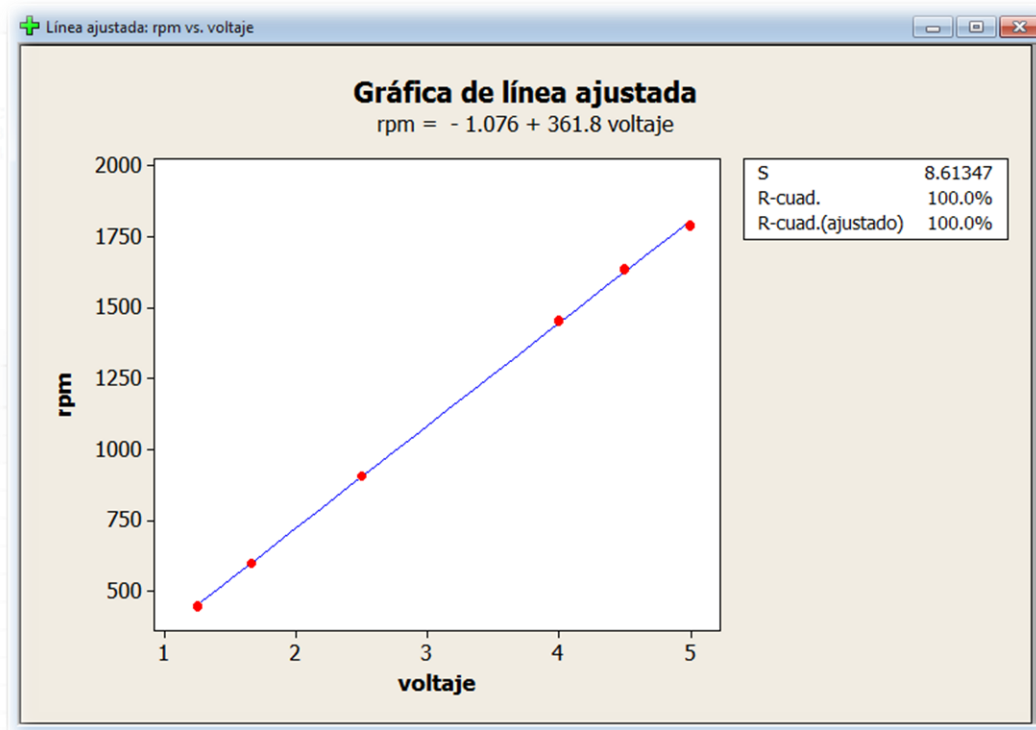


Figura 4.5. Gráfica de línea ajustada; rpm versus voltaje.

En el Cuadro 4.3, se muestra la ecuación de regresión entre la velocidad del motor y la velocidad del eje dosificador, mostrando un bajo coeficiente de correlación del 60.2 %.

Cuadro 4.3. Ecuación de regresión, análisis de varianza y de varianza secuencial; rpm versus pulsos ideales.

La ecuación de regresión es

$$\text{RPM} = - 70968 + 183.7 \text{ PULSOS IDEALES} - 0.1149 \text{ PULSOS IDEALES}^2$$

S = 343.249 R-cuad. = 60.2% R-cuad.(ajustado) = 57.3%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	4819761	2409880	20.45	0.000
Error	27	3181129	117820		
Total	29	8000890			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	<u>P</u>
Lineal	1	3335056	20.01	<u>0.000</u>
Cuadrática	1	1484704	12.60	0.001

El valor de la probabilidad (0.000) del p-value indica que los intervalos se superponen, lo que manifieste que son estadísticamente significativos y por lo tanto al menos uno de los tratamientos es diferente los resultados indica que t1, t2, t3 y t4 son estadísticamente iguales, pero diferentes del t5 y t6 en un 3.38% y 21% respectivamente en el porcentaje de semillas ideales cuando se incrementa a 1636 y 1793 las rpm de la fuente de transmisión de potencia.

En la Figura 4.6, se muestra el comportamiento entre los pulsos ideales del eje dosificador de la sembradora neumática, con el cambio de velocidad del motorreductor el cual simula la velocidad de siembra. En estos resultados se esperaba que la cantidad de pulsos ideales no se viera afectado por las revoluciones del motorreductor.

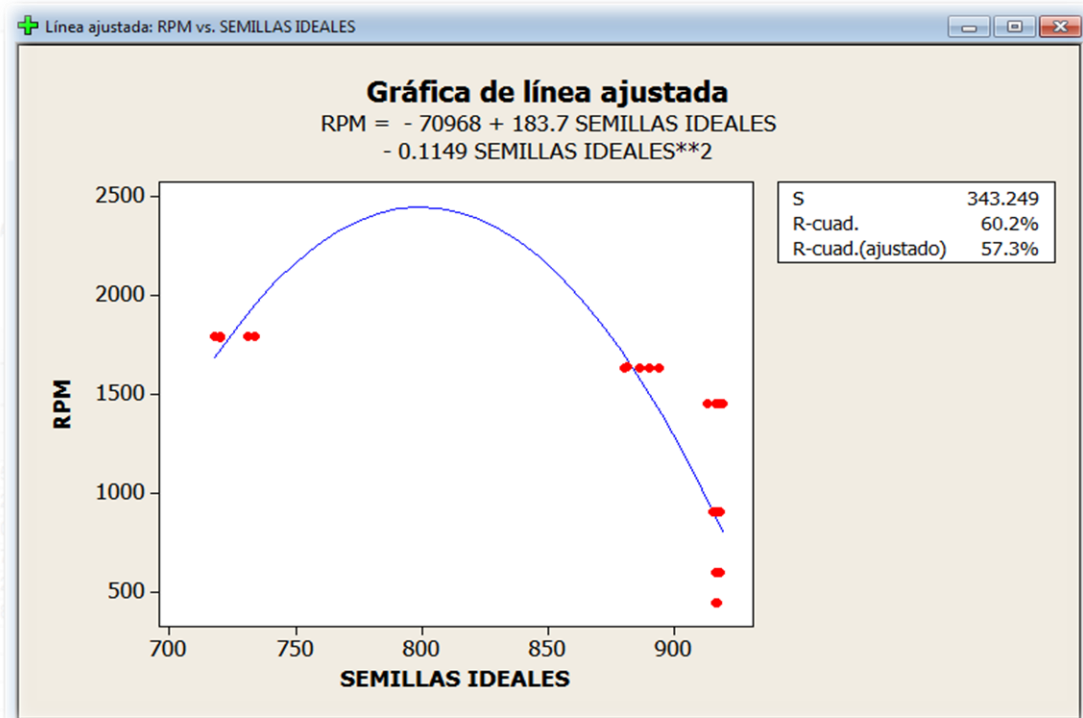


Figura 4.6. Gráfica de línea ajustada; rpm versus pulsos ideales.

4.3.1. Porcentaje de llenado de celda como efecto de la velocidad tangencial del plato dosificador con semilla de frijol.

En el Cuadro 4.4, se muestran un resumen de los resultados obtenidos durante la evaluación del dosificador neumático, empleando semilla de frijol, en términos de porcentaje de llenado de celdas versus velocidad de dosificación. El cuadro muestra que a velocidades de 400 a 800 celdas por minuto el porcentaje de dosificación se mantiene en $98\% \pm 4$, a partir de 1400 celdas por minuto la eficiencia del llenado de celdas cae hasta un 71%. En el (*Anexo D*), se muestran los cuadros con los datos de las repeticiones que generaron este cuadro resumen.

Cuadro 4.4. Medias de resultado en la evaluación del plato dosificador neumático.

VARIADOR DE FRECUENCIA		CANTIDAD DE		TIEMPO MINUTOS	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
V.	HZ.	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES			
1.25	15	2044	2003	4:53	409.15	102.05
1.66	20	2002	2003	3:40	545.842	99.938
2.4	30	1892	2004	2:25	827.486	94.406
4	48	1585	2008	1:30	1326.078	78.934
4.5	54	1442	2008	1:23	1447.21	71.82
5	60	1633	2006	1:38	1216.862	81.354

El Cuadro 4.5, muestra el análisis de varianza de la regresión del comportamiento del plato dosificador de la sembradora neumática. Su ecuación cuadrática muestra que el 97.7% de los datos se ajustan a la ecuación de predicción.

Cuadro 4.5. Ecuación de regresión, análisis de varianza y análisis de varianza secuencial; porcentaje de llenado versus celda/minuto.

La ecuación de regresión es						
% DE LLENADO = 103.6 + 0.002893 CELDA/MINUTO - 0.000017 CELDA/MINUTO**2						
S = 1.83525 R-cuad. = 97.7% R-cuad. (ajustado) = 97.5%						
Análisis de varianza						
Fuente	GL	SC	MC	F	P	
Regresión	2	3838.44	1919.22	569.81	0.000	
Error	27	90.94	3.37			
Total	29	3929.38				
Análisis de varianza secuencial						
Fuente	GL	SC	F	P		
Lineal	1	3763.63	635.78	0.000		
Cuadrática	1	74.81	22.21	0.000		

El valor de la probabilidad (0.000) del p-value indica que los intervalos se superponen, lo que manifiesta que son estadísticamente significativos y por lo tanto al menos uno de los tratamientos es diferente, los resultados indican que en cantidad de semillas reales t1, t2, t3, t4,t5 y t6 son estadísticamente diferentes, obteniendo un llenado de celdas por minuto creciente, en cuanto el porcentaje de

llenado decrece del 100% a 81% respectivamente en semillas reales cuando se incrementa a 1.25V y 5V en el variador de frecuencia.

En la Figura 4.7, se muestra la curva de comportamiento del plato dosificador neumático, en esta se aprecia el efecto que tiene la velocidad del plato dosificador sobre el porcentaje de llenado de celdas. Se aprecia en la gráfica que a partir de la velocidad de 1000 celdas por minuto la eficiencia de la sembradora decae por debajo del 85 %.

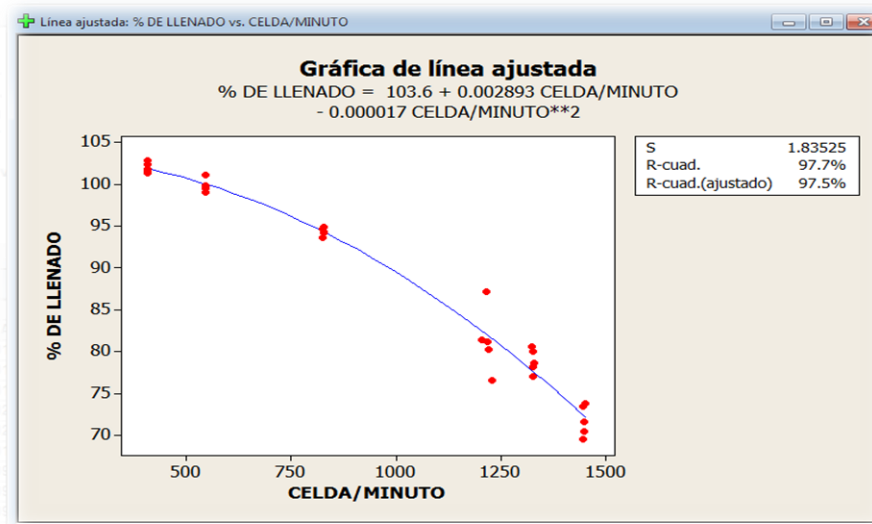


Figura 4.7. Gráfica de línea ajustada entre el porcentaje de llenado versus celdas/minuto del plato dosificador.

4.4. Evaluación del banco de pruebas en el sistema dosificador mecánico.

En el Cuadro 4.6, se muestran las medias de los resultados obtenidos durante la evaluación de las revoluciones por minuto del motorreductor versus eje de las semillas ideales, en función del rango de voltaje establecido en el variador de frecuencia. En el cuadro se muestran que los pulsos del eje plato dosificador de la sembradora mecánica se mantiene con una media 57 pulsos, con el incremento de la velocidad del motorreductor, se observó que se mantiene la misma cantidad de pulsos con el cambio en la velocidad tangencial del eje. La relación de transmisión empleada del motorreductor al eje del plato dosificador 1: 17.5.

Cuadro 4.6. Medias de resultado en la evaluación del sistema dosificador mecánico.

VARIADOR DE FRECUENCIA		PULSOS IDEALES	PULSOS DEL EJE		TIEMPO MINUTOS	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL EJE	
V.	HZ.		SEBRADORA MECANICA	MOTO REDUCTOR		MOTO REDUCTOR	PLATO DOSIFICADOR
1.25	15	410	57	1003	2:13	449.31	7.66
1.66	20	410	57	1004	1:40	598.518	10.198
2.4	30	409	56.8	1004	1:13	816.888	13.87
4	48	409	56.8	1005	0:41	1463.098	24.81
4.5	54	407	56.6	1003	0:36	1655.892	28.024
5	60	407	56.6	1007	0:32	1852.767	31.25

En el Cuadro 4.7, Se muestra la ecuación de regresión lineal y análisis de varianza; del comportamiento de la línea ajustada entre rpm y Voltaje, del motorreductor.

Cuadro 4.7. Análisis de varianza y ecuación de regresión entre rpm versus voltaje.

La ecuación de regresión es					
RPM = - 51.83 + 378.0 VOLTAJE					
S = 45.3249 R-cuad. = 99.3% R-cuad. (ajustado) = 99.3%					
Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	8728997	8728997	4249.05	0.000
Error	28	57522	2054		
Total	29	8786519			

Los resultados indican que en cantidad de pulsos ideales t1, t2, t3, t4,t5 y t6 son estadísticamente iguales, obteniendo las revoluciones por minuto del eje motorreductor y del plato dosificador en aumento, cuando se incrementa a 1.25V y 5V en el variador de frecuencia.

En la Figura 4.8, se muestran la gráfica de la regresión lineal entre las revoluciones por minuto (rpm) versus voltaje del motorreductor. El análisis de varianza nos indica una correlación del 99.3%. Los cuadros de las repeticiones de los datos se encuentran contenidos en el anexo (Anexo E).

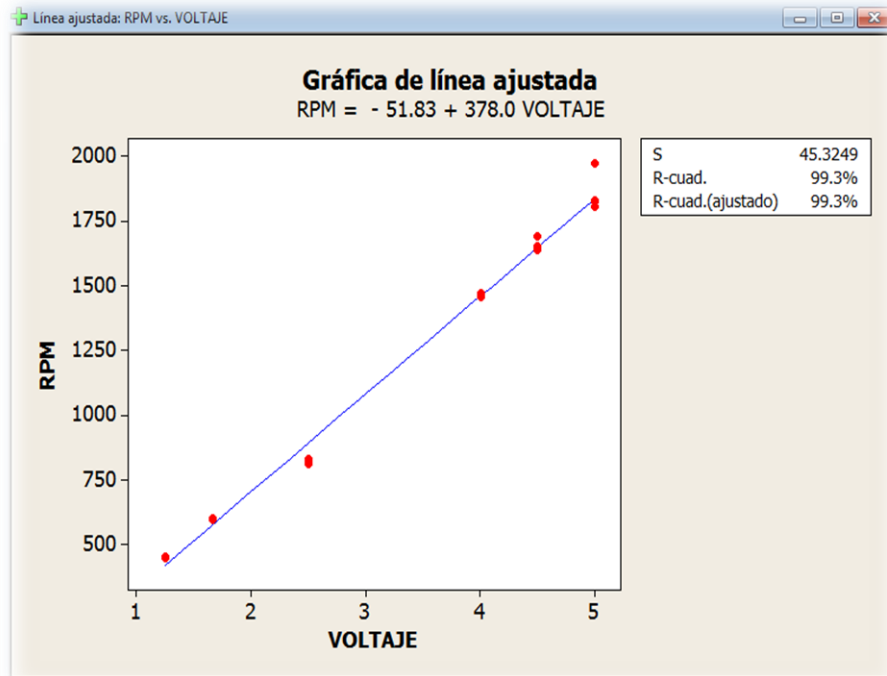


Figura 4.8 Gráfica de línea ajustada; rpm versus voltaje.

En la Figura 4.9, se muestra el comportamiento entre los pulsos ideales del eje dosificador de la sembradora mecánica, con el cambio de velocidad del motorreductor el cual simula la velocidad de siembra. En estos resultados se esperaría que la cantidad de pulsos ideales no se viera afectado por las revoluciones del motorreductor, como lo muestra la dispersión de los datos entorno a la línea de tendencia.

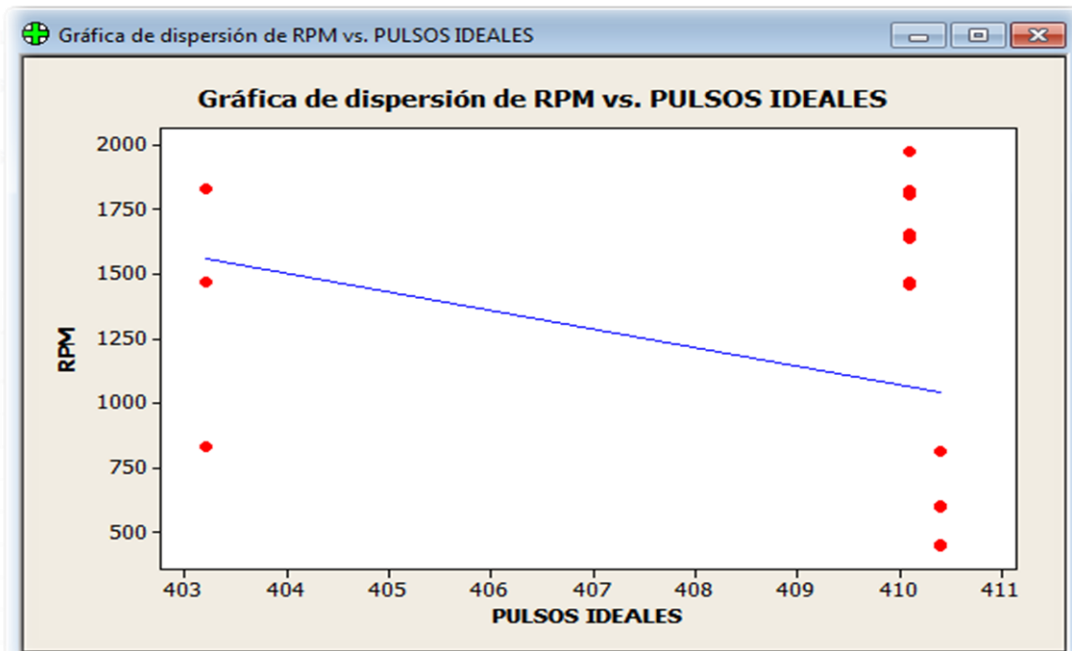


Figura 4.9. Gráfica de dispersión de pulsos ideales versus rpm.

4.4.1. Porcentaje de llenado de celda como efecto de la velocidad tangencial del plato dosificador, con semilla de maíz bola media.

En el Cuadro 4.8, se muestra un resumen de los resultados obtenidos durante la evaluación del dosificador mecánico empleando semilla de maíz tamaño bola media, en términos de porcentaje de llenado de celdas versus velocidad de dosificación. El cuadro muestra que a velocidades de 180 a 300 celdas por minuto el porcentaje de dosificación se mantiene en $100\% \pm 45$, a partir de 600 celdas por minuto la eficiencia del llenado de celdas cae hasta un $100\% \pm 20$. En el anexo (*Anexo E*) se muestran los cuadros con los datos de las repeticiones que generaron este cuadro resumen.

Cuadro 4.8. Media de resultado en la evaluación del plato dosificador mecánico.

VARIADOR DE FRECUENCIA		CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDAS POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
V.	HZ.	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1.25	15	2696	1800	1000	9:49	183.0	150.0
1.66	20	2681	1800	1000	7:21	244.0	149.0
2.4	30	2522	1801	1000	5:24	332.0	140.0
4	48	2155	1802	1001	3:01	594.0	119.0
4.5	54	2165	1804	1002	2:41	669.0	120.0
5	60	2109	1803	1002	2:27	733.0	116.0

El Cuadro 4.9, muestra el análisis de varianza de la regresión del comportamiento del plato dosificador de la sembradora mecánica. Su ecuación cuadrática muestra que el 93.0% de los datos se ajustan a la ecuación.

Cuadro 4.9. Análisis de varianza y ecuación de regresión entre porcentaje del llenado de celdas versus celda/minuto.

La ecuación de regresión es					
% DE LLENADO = 171.2 - 0.1134 CELDA POR MINUTO + 0.000053 CELDA POR MINUTO**2					
S = 4.06500 R-cuad. = 93.0% R-cuad.(ajustado) = 92.5%					
Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	5921.21	2960.61	179.17	0.000
Error	27	446.15	16.52		
Total	29	6367.37			
Análisis de varianza secuencial					
Fuente	GL	SC	F	P	
Lineal	1	5873.82	333.24	0.000	
Cuadrática	1	47.39	2.87	0.102	

El valor de la probabilidad (0.000) del p-value indica que los intervalos se superponen, lo que manifieste que son estadísticamente significativos y por lo tanto al menos uno de los tratamientos es diferente. Los resultados indican que en cantidad de semillas reales t1, t2, t3, t4,t5 y t6 son estadísticamente diferentes, obteniendo un llenado de celdas por minuto creciente, en cuanto el porcentaje de

llenado decrece del $100\% \pm 50$ a $100\% \pm 16$ respectivamente en semillas reales cuando se incrementa a 1.25V y 5V en el variador de frecuencia.

En la Figura 4.10, se muestra la curva de comportamiento del plato dosificador mecánico, en esta se aprecia el efecto que tiene la velocidad del plato dosificador sobre el porcentaje de llenado de celdas. Se alcanza apreciar en la gráfica que a partir del aumento de la velocidad las celdas de 300 a 700 por minuto la eficiencia de la sembradora decrecen de un $100\% \pm 40$ a un $100\% \pm 15$.

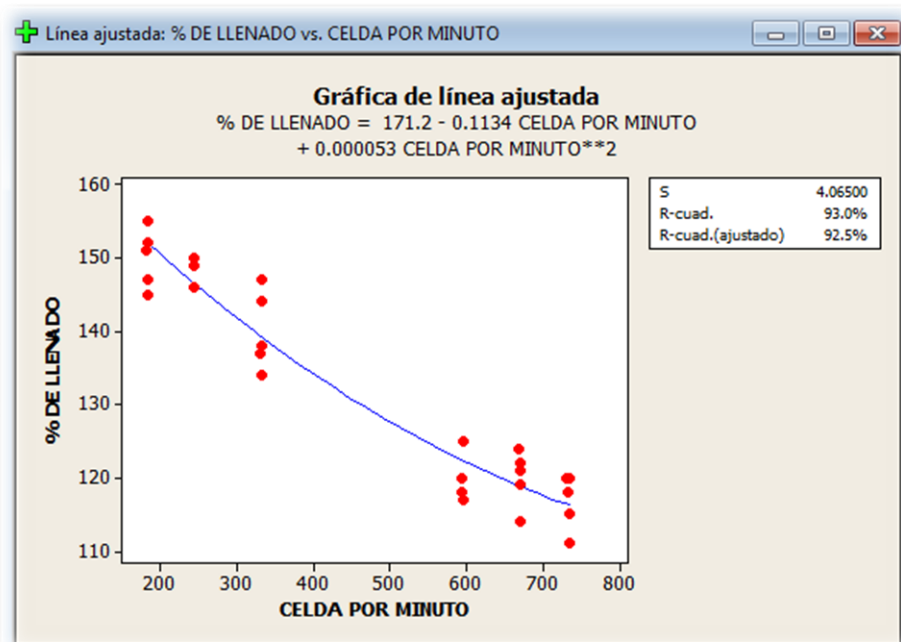


Figura 4.10. Gráfica de línea ajustada entre el porcentaje de llenado versus celdas/minuto del plato dosificador.

4.4.2. Porcentaje de llenado de celda como efecto de la velocidad tangencial del plato dosificador con semilla de maíz plano medio.

En el Cuadro 4.10, se muestra un resumen de los resultados obtenidos durante la evaluación del dosificador neumático, empleando semilla de maíz tamaño plano medio, en términos de porcentaje de llenado de celdas versus velocidad de dosificación. El cuadro muestra que a velocidades de 180 a 300 celdas por minuto el porcentaje de dosificación se mantiene en $100\% \pm 73$ más menos 4% a partir de 600 celdas por minuto la eficiencia del llenado de celdas cae hasta un $100\% \pm 30$.

En el anexo (*Anexo E*) se muestran los cuadros con los datos de las repeticiones que generaron este cuadro resumen.

Cuadro 4.10. Media de resultado en la evaluación del plato dosificador mecánico.

VARIADOR DE FRECUENCIA		CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
V.	HZ.	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1.25	15	3232	1800	1000	9.83	183.0	179.0
1.66	20	3234	1800	1000	7:20	245.0	179.0
2.4	30	2941	1800	1000	5:22	335.0	162.0
4	48	2476	1802	1001	3:01	594.0	136.0
4.5	54	2395	1804	1002	2:41	669.0	132.0
5	60	2256	1803	1002	2:27	734.0	124.0

El Cuadro 4.11, muestra el análisis de varianza de la regresión del comportamiento del plato dosificador de la sembradora neumática. Su ecuación cuadrática muestra que el 95.2% de los datos se ajustan a la ecuación de predicción.

Cuadro 4.11. Análisis de varianza y ecuación de regresión entre porcentaje de llenado versus celda/minuto.

La ecuación de regresión es						
% DE LLENADO = 203.5 - 0.1233 CELDA POR MINUTO + 0.000022 CELDA POR MINUTO**2						
S = 5.23221 R-cuad. = 95.2% R-cuad.(ajustado) = 94.8%						
Análisis de varianza						
Fuente	GL	SC	MC	F	P	
Regresión	2	14580.3	7290.16	266.30	0.000	
Error	27	739.2	27.38			
Total	29	15319.5				
Análisis de varianza secuencial						
Fuente	GL	SC	F	P		
Lineal	1	14571.6	545.52	0.000		
Cuadrática	1	8.8	0.32	0.576		

El valor de la probabilidad (0.000) del p-value indica que los intervalos se superponen, lo que manifiesta que son estadísticamente significativos y por lo tanto al menos uno de los tratamientos es diferente. Los resultados indican que en cantidad de semillas reales t1, t2, t3, t4, t5 y t6 son estadísticamente diferentes, obteniendo un llenado de celdas por minuto creciente, en cuanto el porcentaje de llenado decrece del 100% ± 79 a 100% ± 24 respectivamente en semillas reales cuando se incrementa a 1.25V y 5V en el variador de frecuencia.

En la Figura 4.11, se muestra la curva de comportamiento del plato dosificador neumático, en esta se aprecia el efecto que tiene la velocidad del plato dosificador sobre el porcentaje de llenado de celdas. Se alcanza a apreciar en la gráfica que a partir del aumento de la velocidad las celdas de 300 a 700 revoluciones por minuto la eficiencia de la sembradora decrecen de un 100% ± 70 a un 100% ± 20.

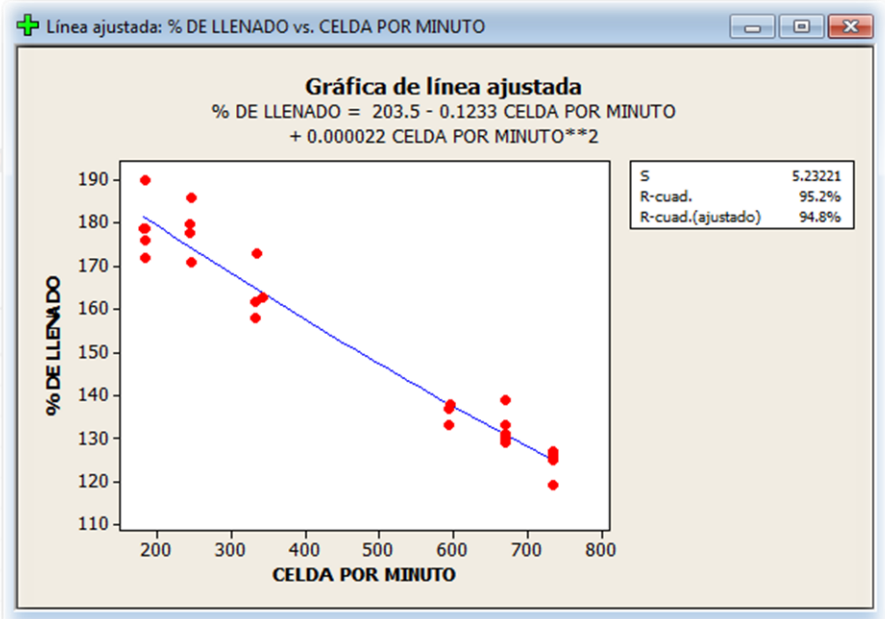
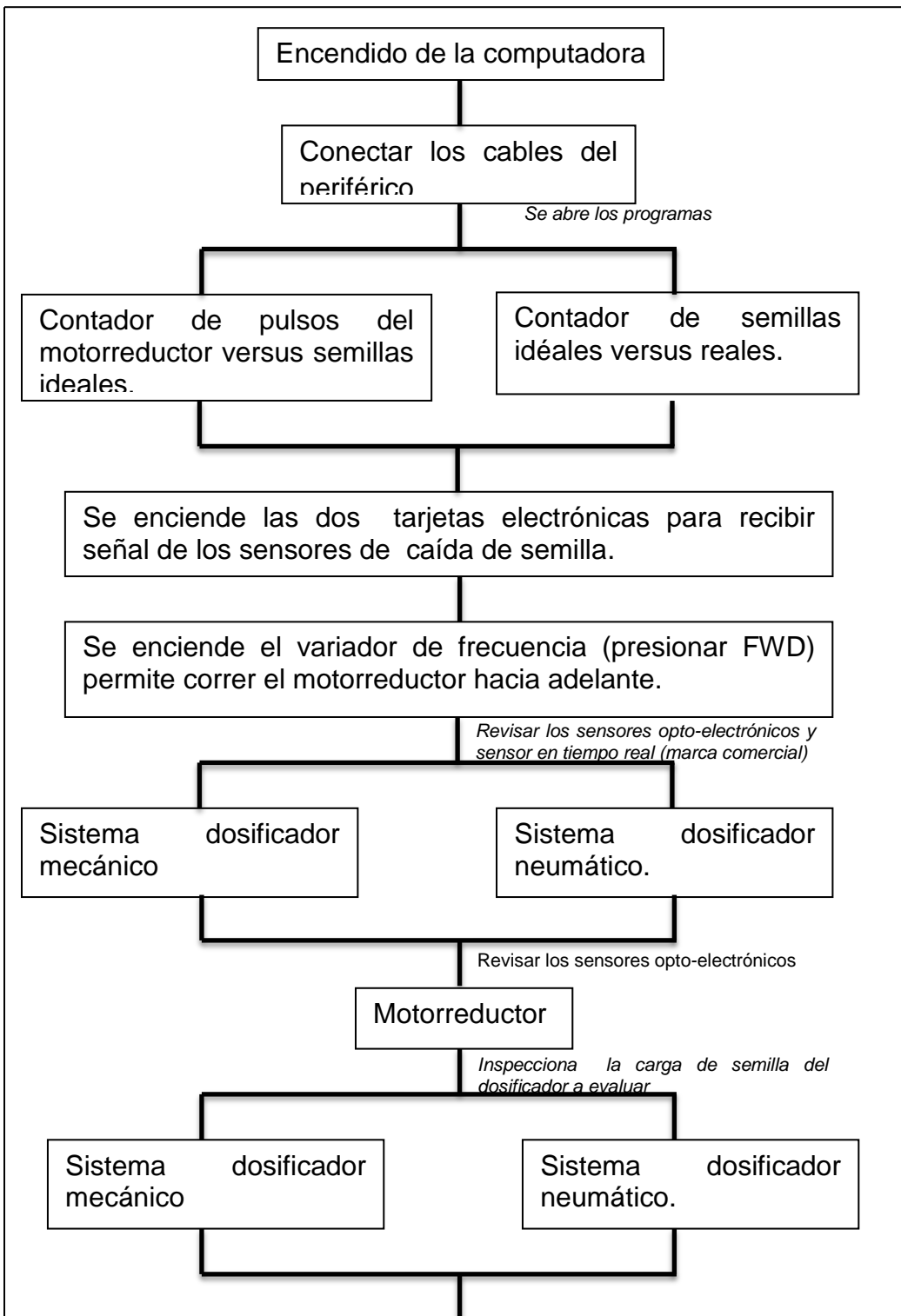


Figura 4.11. Gráfica de línea ajustada entre el porcentaje de llenado versus celdas/minuto del plato dosificador.

4.5. Metodología de evaluación para dosificador neumático y mecánico.

En la Figura 4.12, se muestra el diagrama para realizar evaluación del banco de pruebas.



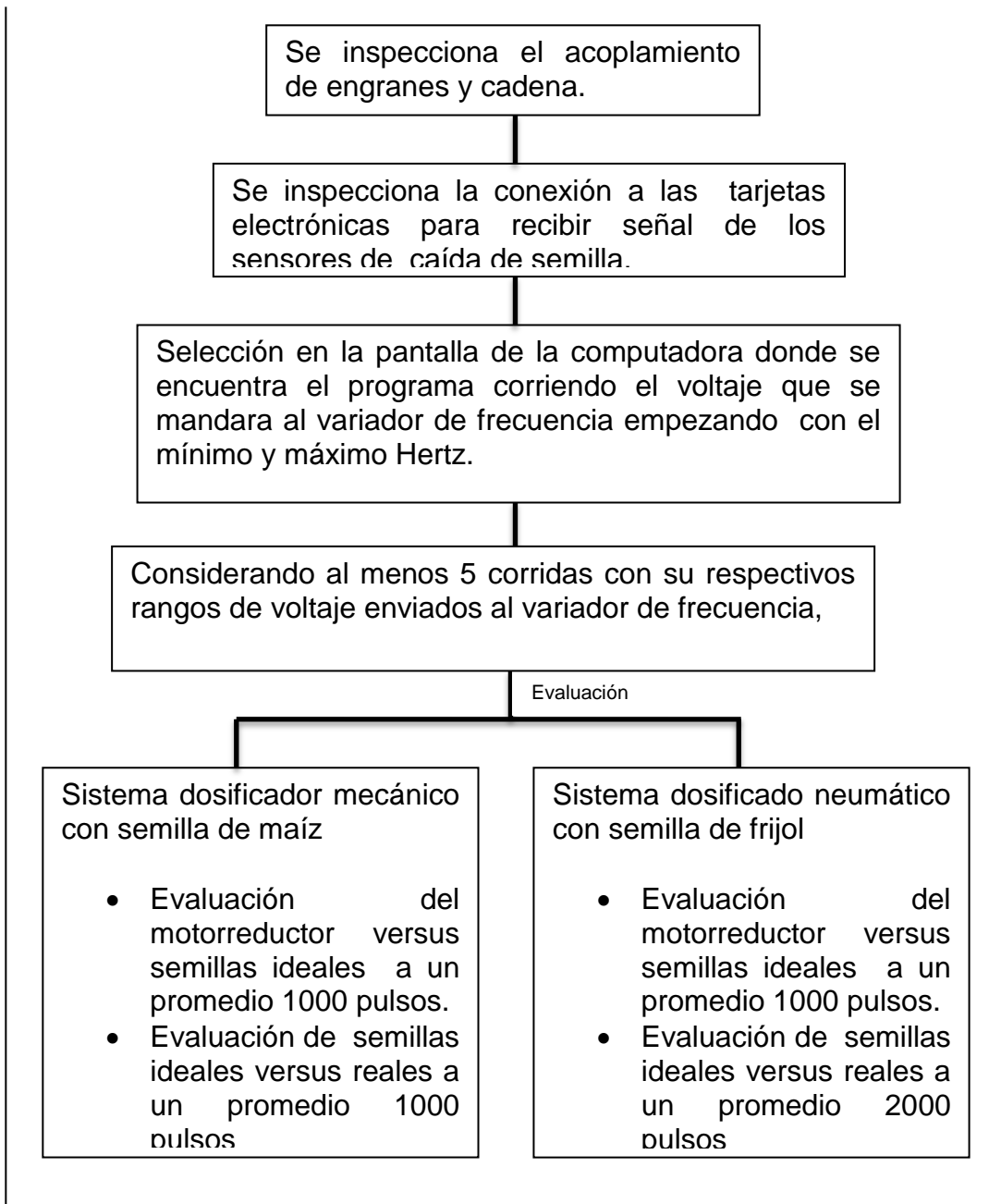
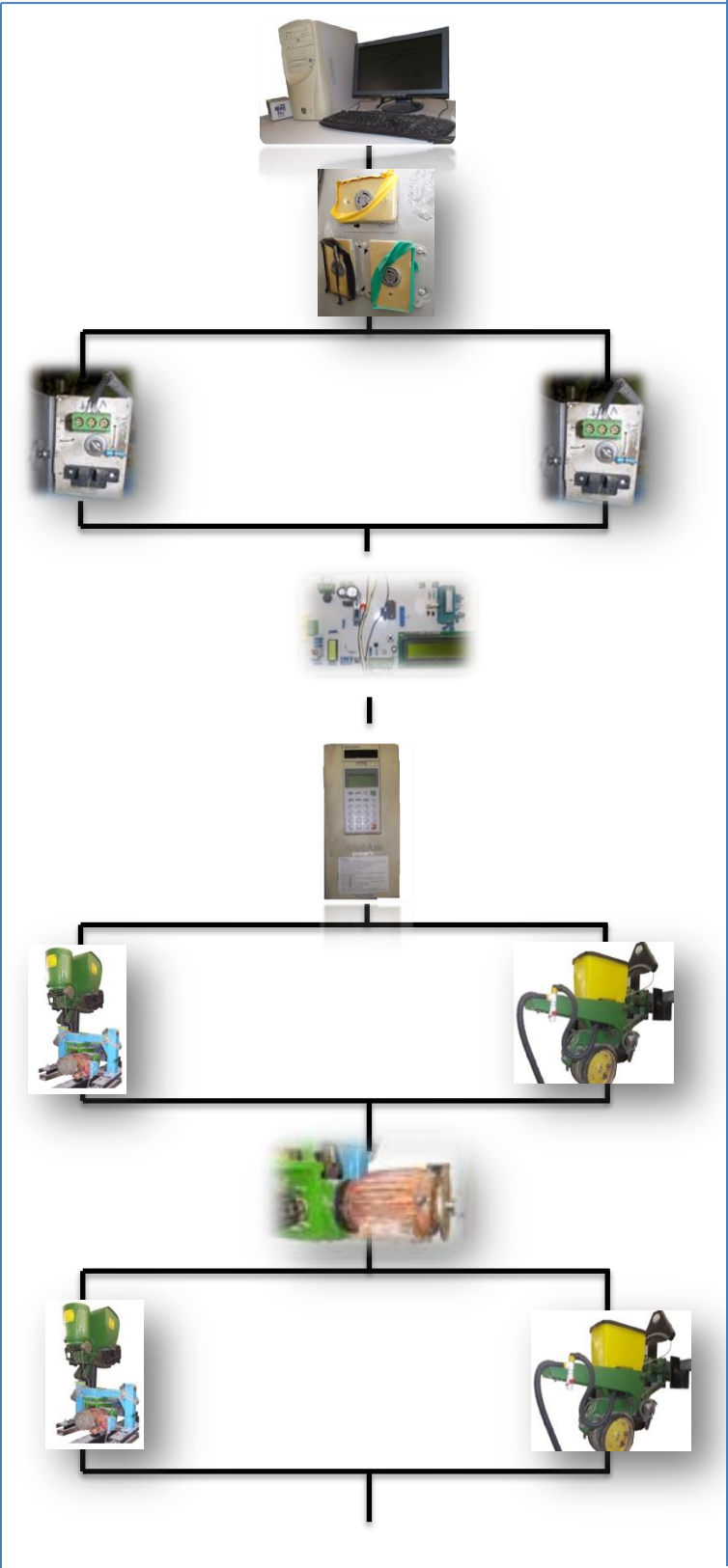


Figura 4.12. Diagrama para realizar evaluación del banco de pruebas.

Figura 4.13, se muestra el diagrama de imágenes virtuales.



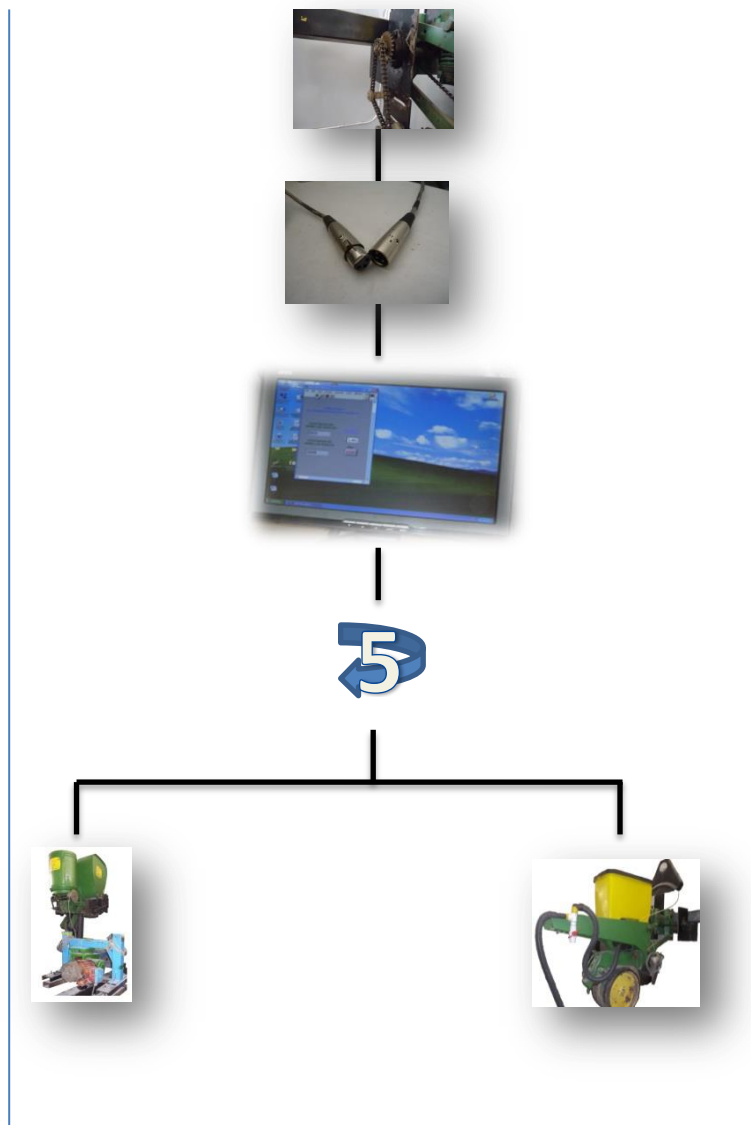


Figura 4.13. Diagrama de imágenes virtuales.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El programa desarrollado en el ambiente LabView “**contador de pulsos del motorreductor y semillas ideales**” presenta una confiabilidad del 100% para la sembradora neumática y del 99.3% para la sembradora mecánica. Lo cual indica una alta confiabilidad en la contabilidad de las semillas ideales en proporción a la velocidad del motor.

El procedimiento para determinar la curva de comportamiento de la sembradora neumática tiene una confiabilidad mayor del 97%. Sin embargo la sembradora muestra una reducción significativa del 15% en el porcentaje de llenado de celdas cuando la velocidad del plato dosificador se incrementa por arriba de las 1000 celdas por minuto.

El procedimiento para determinar la curva de comportamiento de la sembradora mecánica para semilla de bola media tiene una confiabilidad mayor del 92%. Sin embargo la sembradora muestra una reducción significativa del porcentaje de llenado de celdas de $100\% \pm 40$ a $100\% \pm 15$ cuando la velocidad del plato dosificador se incrementa de 300 a 700 celdas por minuto.

El procedimiento para determinar la curva de comportamiento de la sembradora mecánica para semilla de plano medio tiene una confiabilidad mayor del 94%. Sin embargo la sembradora muestra una reducción significativa del porcentaje de llenado de celdas de $100\% \pm 70$ a $100\% \pm 20$ cuando la velocidad del plato dosificador se incrementa de 300 a 700 celdas por minuto.

Para todas las evaluaciones realizadas se presenta un efecto de reducción del porcentaje de llenado de celdas conforme incrementa la velocidad de siembra.

Recomendaciones

Se requiere de una mejor selección del tamaño de celda del plato dosificador-tamaño uniforme de semillas para mejorar el porcentaje de llenado de celdas.

VI. LITERATURA CITADA

1. Angulo U. J y I. A. Martínez. 1999. Microcontroladores PIC, diseño practico de aplicaciones segunda edición, McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U.
2. Anzures M J y Ruiz G. V. 2001. Diseño de un instrumento virtual para la medición de energía usando LabView. Instituto Tecnológico de Chihuahua. GIRIA (Grupo de investigación en Robótica e inteligencia Artificial) de la Universidad Industrial de Santander.
3. Burgos R. C, Barrero P. J. y Correa R. C. (1999). Control de un horno microondas usando LabView.
4. CASE IH AGRICULTURE EQUIPMENT, Advanced Farming Systems, Janeiro de 1999.
5. Cadena Z. M., Valenzuela G. J. R., De la Peña C. B. E., Gaytan M. T. 2000. Informe de las actividades realizadas con la maquinaria bajo contrato de comodato "UAAAN – New Holland". Departamento de Maquinaria Agricola Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- 6.. Colombino A. A., Pollacino J.C., 1996. Diseño y construcción de un banco de ensayos para conjuntos dosificadores de sembradoras y fertilizadoras., revista facultad de agronomía., 16 (1-2) 69-72.
7. Daberkow, S.; Fernandez-Cornejo, J. and M. Padgitt. 2002. Precision Agriculture Technology Diffusion: Current Status and Future Prospects. Presented at the 6th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, MN, (USA) July 14-17, 2002. 15 pp.
8. ELIAS, A. I., Mapeamento da colheita mecanizada de grãos utilizando um sistema de posicionamento global. Piracicaba, 1997. 37p. Exame de Qualificação – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, USP.

9. Edison Duque C. 1998. Curso avanzado de Microcontroladores PIC, CEKIT (Compañía Editorial Tecnológica).
10. 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. Memorias del congreso latinoamericano de ingeniería agrícola (CLIA), X congreso nacional de ingeniería agrícola (AMIA), Guanajuato Gto., México.
11. Hancock, D. 2002. Site-Specific Farming on Small Farms. Topics in Precision Agriculture. University of Kentucky, College of Agriculture, Cooperative.
12. IICA. (2000) Agricultura de precisión: Integrado de conocimientos para la agricultura moderna y sustentable. Argentina.
13. JOHN DEERE, Precision Farming, , agosto de 1998.
14. Kepner R. A., Barger E. C., 1978 Principles of farm machinery. Third edition, The AVI Publishing Company. Inc. Connecticut, USA.
15. Lowenberg-DeBoer, J. 1997. A bumpy road to the adoption of precision agriculture. Purdue Agricultural Economics Report. Nov. 1997.
16. Lázaro A. M y Fernández J del Río. 2006. LabView 7.1: Programación Gráfica para el control de Instrumentos, Editorial Paraninfo, España.
17. 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.
18. Ozuna Villatoro José Manuel; 2003, Desarrollo de un banco modular para la evaluación bajo condiciones de laboratorio de sembradoras integrales, Tesis

presentada como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Mecánico Agrícola.

19. Palacios M. E, Remiro D. E y López P. L. 2004. Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de Proyectos. Primera Edición. Editorial Alfaomega, Mex.
20. Ramírez Tejeda A. 2000 Desarrollo de un sistema semiautomático para el control de la frecuencia de dosificación de semilla, Tesis, Licenciatura, Universidad Veracruzana, Veracruz. Ver; México.
21. Secretaria de economía norma mexicana, NMX-0-168-SCFI- 2001. tractores, implementos, y maquinaria agrícola- sembradoras- sembradoras unitarias y/o fertilizadoras, accionadas mecánicamente, con dosificador de semilla de disco específicamente y métodos de prueba
22. Thompson, S. 1989. Control systems Engineering and Design. Longman Group UK, Limited.
23. US National Research Council, 1997. INTRODUCCIÓN A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN. Revista Digital CENIAP HOY N° 12 septiembre-diciembre 2006, Maracay, Aragua, Venezuela. ISSN: 1690- 4117 Depósito Legal: pp.200302AR1449.

Direcciones de Internet

- www.redeya.com
- www.lancos.com
- www.microchip.com
- www.mindspring.com/~covington/noppp
- <http://www.agriculturadepresicion.org/monred/SistemaMonitoreoCanizaAzucarParaMapas deRendimiento.htm>
- www.deere.com/greenstar

- www.casecorp.com/agricultural/afs/index.html
- http://www.agecon.purdue.edu/extension/pubs/paer/pre_98/paer1197.pdf
- http://www.pic16f84a.org/index.php?option=com_weblinks&view=category&id=47%3Aproteus&Itemid=104
- www.ceniap.gov.ve
- http://www.bae.uky.edu/~precag/PrecisionAg/Extension_pubs.htm
- <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/23/1AM23.htm>
- http://repiica.iica.int/docs/B0261e/B0261e_15.html
- <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210296.pdf>
- <http://es.scribd.com/doc/53043990/agricultura-de-precision-procisur>
- <http://www.cosmoagro.com/site/avanzamos/principales-aspectos-de-la-agricultura-de-precision/>
- <http://www.inegi.org.mx/rne/docs/Pdfs/Mesa3/20/JorgeColchero.pdf>
- http://www.cadenahortofruticola.org/admin/geren/54introduccion_agricultura_precision.pdf
- <http://www.ni.com/labView/esa/>
- www.agriculturadeprecision.org/descargaltem.asp?.../monitores-rendimiento
- www.ingegraf.es/congresos/2001-BADAJOS/docs/730618.doc
- books.google.com.mx/books?id=1ef6-NN2XsAC
- http://repiica.iica.int/docs/B0261e/B0261e_102.html
- [http://www.w.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/5D873FF80154C1D603256AE900601605/\\$file/AgricPrecisionOrtega.pdf](http://www.w.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/5D873FF80154C1D603256AE900601605/$file/AgricPrecisionOrtega.pdf)
- <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agprec/AgPrecySiembraVariable.asp>
- <http://es.scribd.com/doc/53043990/agricultura-de-precision-procisur>

ANEXO

ANEXO A

A.1. Generalidades del PIC16F84A.

El PIC16F84 al igual que la versión mejorada de mayor velocidad PIC16F84A pertenece a la familia de microcontroladores de 8 bits PIC16CXX, los cuales son de bajo costo, alto rendimiento y CMOS. Este grupo contiene los siguientes dispositivos:

- PIC16F83
- PIC16F84
- PIC16F84A
- PIC16CR83
- PIC16CR84

Todos los microcontroladores de PICmicro™ emplean una avanzada arquitectura RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). Los dispositivos PIC16F8X han reforzado características principales, pila profunda de ocho niveles y múltiples fuentes de interrupción internas y externas.

La separación del bus de instrucciones y del bus de datos en la arquitectura Harvard da lugar a un ancho de la palabra de instrucción de 14 bits, con un bus de datos separado de 8 bits de ancho. Los dos conductos de fase de instrucción permite que todas las instrucciones se ejecuten en un solo ciclo, excepto por los saltos del programa, los cuales requieren dos ciclos.

Un total de 35 instrucciones (Juego de instrucciones reducido) están disponibles. Adicionalmente un set del registro largo es usado para lograr un nivel de alto rendimiento. Los microcontroladores PIC16F8x típicamente logran una compresión de código de 2:1 y un incremento de 4:1 en la mejora de velocidad (a 20 MHz) sobre otros microcontroladores de 8 bits de su misma clase. En el cuadro C.1 se

muestran las características principales de la serie de microcontroladores PIC16F8x. Los microcontroladores PIC16F8x poseen 68 bytes de RAM, 64 bytes de memoria de datos EEPROM y 13 pines de entrada / Salida. También está disponible un contador / temporizador.

La familia PIC16CXX tiene características especiales para reducir los componentes externos, reduciendo así el costo, reforzando la confiabilidad del sistema y reduciendo el consumo de energía. Hay cuatro opciones del oscilador, de los cuales el oscilador RC mediante un solo pin, proporciona una solución de bajo costo, el oscilador LP reduce el consumo de energía, el oscilador XT es un cristal estándar y el oscilador HS se refiere a cristales de alta velocidad. El modo SLEEP (Bajo consumo de corriente) ofrece un ahorro de energía. El usuario puede despertar al chip del modo SLEEP a través de varias interrupciones internas y externas para reestablecer su funcionamiento.

Un confiable temporizador de perro guardián (WDT) está integrado en el chip, así como su propio oscilador RC proporciona protección cuando el programa ha sido ciclado. Los dispositivos con memoria de programa Flash permiten que el mismo dispositivo pueda ser usado como prototipo y como elemento de producción. La gran capacidad de reprogramar el código del circuito permite su actualización sin que el dispositivo sea removido de su aplicación final.

Cuadro A.1. Lista de características del PIC16F8x.

	PIC16F83	PIC16CR83	PIC16F84	PIC16CR84	PIC16F84A
Máxima frecuencia de operación MHz	10	10	10	10	20
Memoria de programa Flash	512	-	1K	-	1K
Memoria de programa EEPROM	-	-	-	-	-
Memoria de programa ROM	-	512	-	1K	-
Memoria de datos (bytes)	36	36	68	68	68
EEPROM de datos (bytes)	64	64	64	64	64
Módulos Temporizadores	TMRO	TMRO	TMRO	TMRO	TMRO
Fuentes de interrupción	4	4	4	4	4
Pines de I/O	13	13	13	13	13
Rangos de Voltaje (Volts)	4.0-6.0	2.0-6.0	4.0-6.0	2.0-6.0	4.0-6.0
Empaques	Dip 18-pin, SOIC	Dip 18-pin, SOIC	Dip 18-pin, SOIC	Dip 18-pin, SOIC	Dip 18-pin, SOIC

Esto es muy útil en situaciones, donde el dispositivo es difícilmente accesible. También es útil en aplicaciones remotas donde el código necesita ser actualizado. El PIC16F8x encaja perfectamente en rangos de aplicaciones donde se requiere controlar pequeños motores, en la utilización de sensores remotos de baja potencia, cerrojos electrónicos y pequeñas tarjetas con dispositivos de seguridad. La tecnología Flash/EEPROM optimiza los programas de aplicación (transmisión de códigos, velocidad de motores, receptor de frecuencias, códigos de seguridad, etc.) volviéndolos extremadamente rápidos y convenientes. Los pequeños empaques hacen perfectos a esta serie de microcontroladores para todas las aplicaciones con limitaciones de espacio.

Bajo costo, bajo consumo de energía, alto rendimiento, fácil de usar y flexibilidad en las entradas/salidas, hacen muy versátil al PIC16F8x en áreas donde no se habían considerado los microcontroladores (funciones de temporizador, comunicación serie, capturadores, comparadores, moduladores por ancho de pulso, y aplicaciones como procesador). La medida de programación serial en el sistema (por medio de dos pines), ofrece flexibilidad en la optimización del producto después de haber sido ensamblado y probado. Esta característica puede ser usada para agregar un número de serie a un producto, una calibración o reestablecimiento de datos o programar el dispositivo con la firma de software correspondiente antes de enviarlo.

El diagrama de pines del microcontrolador PIC16F84 se puede apreciar en la Figura A.1.

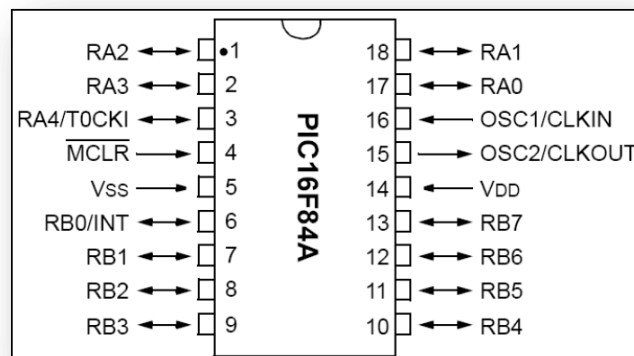


Figura A.1. Diagrama de pines del PIC16F84.

La descripción de cada uno de los pines se muestra en la el cuadro A.2.

Cuadro A.2. Descripción de Pines.

Nombre	Nº	Tipo	Descripción
OSC1/CLKIN	16	I	Entrada del oscilador a cristal/Entrada de la fuente de reloj externa
OSC2/CLKOUT	15	O	Salida del oscilador a cristal. En el modo RC, es una salida con una frecuencia de $\frac{1}{4}$ OSC1
MCLR	4	I/P	Reset/Entrada del voltaje de programación.
RA0	17	I/O	Puerto A bidireccional, bit 0
RA1	18	I/O	Puerto A bidireccional, bit 1
RA2	1	I/O	Puerto A bidireccional, bit 2
RA3	2	I/O	Puerto A bidireccional, bit 3
RA4/T0CKI	3	I/O	También se utiliza para la entra de reloj para el TMR0
RB0/INT	6	I/O	Puerto B bidireccional, bit 0 Puede seleccionarse para entrada de interrupción externa
RB1	7	I/O	Puerto B bidireccional, bit 1
RB2	8	I/O	Puerto B bidireccional, bit 2
RB3	9	I/O	Puerto B bidireccional, bit 3
RB4	10	I/O	Puerto B bidireccional, bit 4 Interrupción por cambio de estado
RB5	11	I/O	Puerto B bidireccional, bit 5 Interrupción por cambio de estado
RB6	12	I/O	Puerto B bidireccional, bit 6 Interrupción por cambio de estado
RB7	13	I/O	Puerto B bidireccional, bit 7 Interrupción por cambio de estado
Vss	5	P	Tierra de referencia
Vdd	14	P	Alimentación

El pin RA4/T0CKI del puerto A puede ser configurado como un pin de entrada/salida o como entrada del temporizador/contador. Cuando este pin se

programa como entrada digital, funciona como un disparador de Schmitt (Schmitt trigger), puede reconocer señales un poco distorsionadas y llevarlas a niveles lógicos (cero y cinco voltios). Cuando se usa como salida digital se comporta como colector abierto, por lo tanto, se debe poner una resistencia de pull-up (resistencia externa conectada a un nivel de cinco voltios). Como salida, la lógica es inversa: un "0" escrito al pin del puerto entrega en el pin un "1" lógico.

Todos los pines deben estar conectados a alguna parte, nunca dejarlos al aire por qué se puede dañar el integrado. Los pines que no se estén usando se deben conectar a la fuente de alimentación de +5V, como se muestra en la Figura A.2.

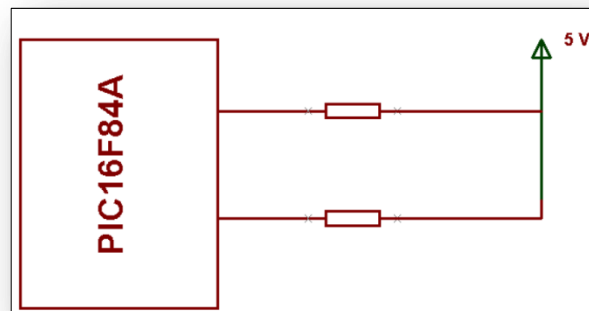


Figura A.2. Los puertos no utilizados se deben conectar a la fuente.

El consumo de corriente del microcontrolador para su funcionamiento depende del voltaje de operación, la frecuencia y de las cargas que tengan sus pines. Para un reloj de 4 MHz el consumo es de aproximadamente 2 mA; aunque este se puede reducir a 40 microamperios cuando se está en el modo sleep (en este modo el micro se detiene y disminuye en consumo de potencia). Se sale de ese estado cuando se produce alguna condición especial.

A.1.1. El oscilador externo.

Todo microcontrolador requiere un circuito externo que le indique la velocidad a la que debe trabajar, se les conoce como oscilador o reloj, es muy simple pero de vital importancia para el buen funcionamiento del sistema. El PIC16F84 puede utilizar 4 tipos de osciladores diferentes. Estos tipos son:

- **RC.** Oscilador con resistencia y condensador
- **XT.** Cristal
- **HS.** Cristal de alta velocidad
- **LP.** Cristal para baja frecuencia y bajo consumo de potencia

En el momento de programar o “quemar” el microcontrolador se debe especificar qué tipo de oscilador se usa, esto se hace a través de los “fusibles de configuración”.

El tipo de oscilador que se sugiere es el de 4 MHz, porque garantiza mayor precisión y un buen arranque del microcontrolador. Internamente esta frecuencia es dividida por cuatro, lo que hace que la frecuencia efectiva de trabajo sea de 14 MHz, por lo que cada instrucción se ejecuta en un microsegundo. El cristal se conecta como se muestra en la Figura A.3.

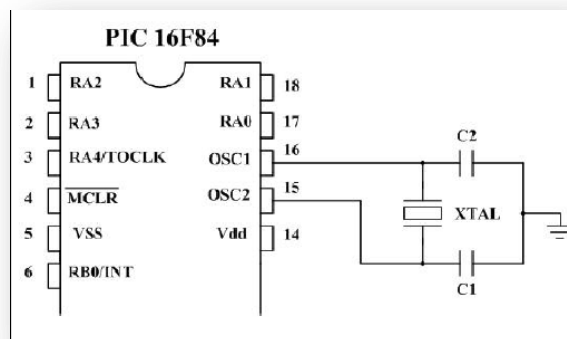


Figura A.3. Conexión de un oscilador de cristal.

Dependiendo de la aplicación, se puede utilizar cristales de otras frecuencias; por ejemplo el de 3.579545 MHz porque es muy económico, el de 32.768 kHz cuando se necesita crear bases de tiempo de un segundo muy precisas. El límite de velocidad en estos microcontroladores es de 10 MHz.

Si no se requiere mucha precisión en el oscilador y se requiere economizar dinero, se puede utilizar una resistencia y un condensador, como se muestra en la Figura A.4.

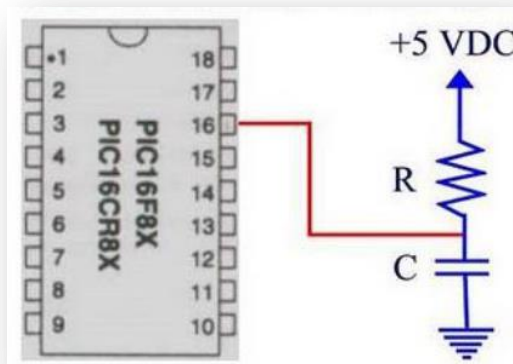


Figura A.4. Conexión de un oscilador RC.

A.1.2. Reset

En los microcontroladores se requiere un pin de reset para reiniciar el funcionamiento del sistema cuando sea necesario, ya sea por una falla que se presente o porque así se halla diseñado el sistema. El pin de reset en los PIC es llamado MCLR (master clear). El PIC16F84 admite diferentes tipos de reset:

- Al encendido (Power On Reset).
- Pulso en el pin MCLR durante operación normal.
- Pulso en el pin MCLR durante el modo de bajo consumo (modo sleep).
- El rebase del conteo del circuito de vigilancia (watchdog) durante operación normal.
- El rebase del conteo del circuito de vigilancia (watchdog) durante el modo de bajo consumo (sleep).

El reset para el encendido se consigue con dos temporizadores. El primero de es el OST (Oscillator Star-Up Timer: Temporizador de encendido del oscilador), orientado a mantener el microcontrolador en reset hasta que el oscilador del cristal es estable. El segundo es el PWRT (Power-Up Timer: Temporizador de encendido), que provee un retardo fijo de 72 ms (nominal) en el encendido únicamente, diseñado para mantener el dispositivo en reset mientras la fuente se estabiliza.

El reset por MCLR se consigue llevando momentáneamente este pin a un estado lógico bajo, mientras que el watchdog WDT produce el reset cuando su temporizador rebasa la cuenta, o sea que pasa de 0FFh a 00h. Cuando se quiere tener control sobre el reset del sistema se puede conectar un botón como se muestra en la Figura A.5.

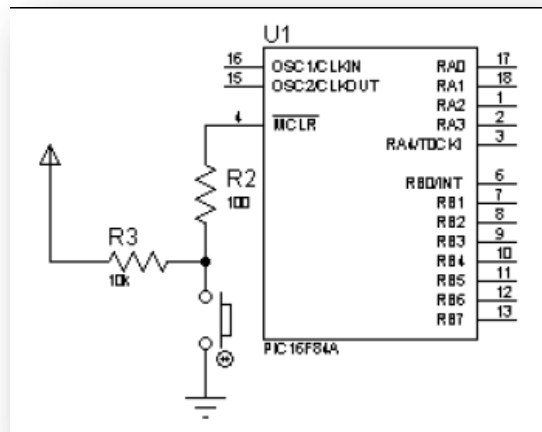


Figura A.5. Conexión del botón de reset.

A.2. Características de la estructura RISC del CPU.

Las características de la estructura RISC del CPU son las siguientes:

- Solo 35 sencillas instrucciones para aprender.
- Todas las instrucciones son de un ciclo, excepto los saltos de programa que son de dos ciclos.

- Velocidad: 20MHz (0.2us por instrucción)
- Memoria de programa de 1024 palabras
- Memoria RAM de 68 bytes
- Memoria EEPROM de 64 Bytes
- Palabras de instrucción de 14 bits de ancho
- Bytes de datos de 8 bits de ancho
- 15 registros de función especial en el hardware
- Pila de hardware de 8 niveles de profundidad
- Modos de direccionamiento directo e indirecto
- Cuatro fuentes de interrupción:
 - Pin externo de RB0/INT
 - Temporizador TMR0 de sobreflujo
 - Interrupción en cambio PORTB <RB7:RB4>
 - Escritura completa de la memoria EEPROM

A.3. Características de los periféricos

- 13 pines de entrada / salida con control individual de dirección
- Fuente / sumidero de alta corriente para controlador directo de LED.
- Sumidero de 25mA máximo por pin.

A.4. Arquitectura interna

Este término se refiere a los bloques funcionales internos que conforman el microcontrolador y la forma en que están conectados, por ejemplo la memoria FLASH (de programa), la memoria RAM (de datos), los puertos, la lógica de control que permite que todo el conjunto funcione, etc.

La Figura A.6, muestra la arquitectura general del PIC16F84, en ella se pueden apreciar los diferentes bloques que lo componen y la forma en que se conectan.

Todos los elementos se conectan entre sí por medio de un conjunto de líneas que transportan información entre dos o más módulos. Vale la pena destacar que el PIC16F84 tiene un bloque especial de memoria de datos de 64 bytes del tipo EEPROM, además de los dos bloques de memoria principales que son el de programa y el de datos o registros.

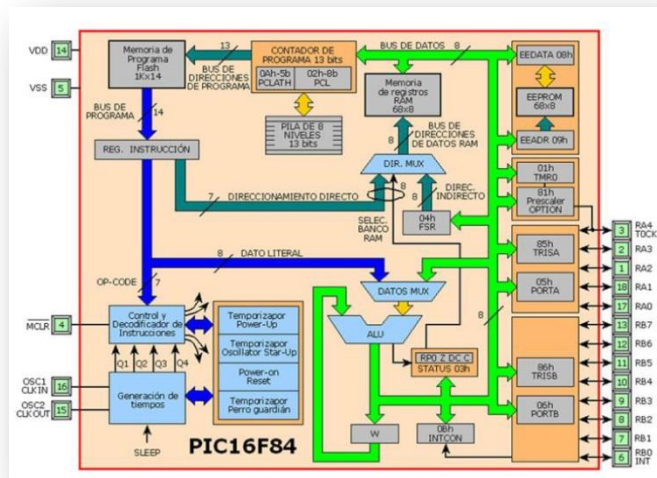


Figura A.6 Arquitectura interna del PIC16F84.

A.4.1. Memoria de programa.

Es una memoria de 1 Kbyte de longitud con palabras de 14 bits. En ella se graba, el programa que el microcontrolador debe ejecutar. El PIC16F84 tiene un contador de programa de 13 bits, y una capacidad de direccionamiento de 8K x 14, pero solamente tiene implementado el primer 1K x 14 (0000h hasta 03FFh). Si se direccionan posiciones de memoria mayores a 3FF se causará un solapamiento con el espacio del primer 1K. En la Figura A.7, se muestra el mapa de la memoria de programa.

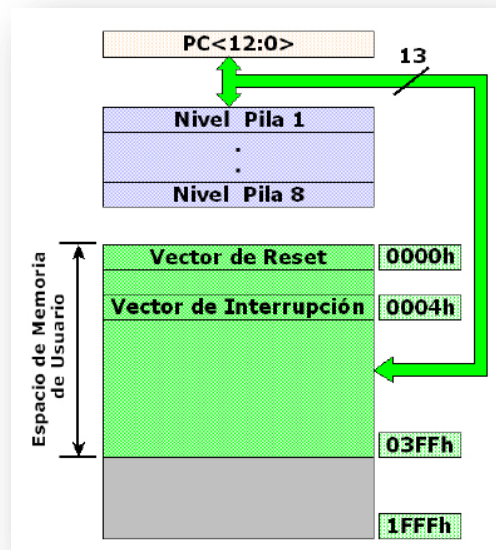


Figura A.7. Mapa de la memoria de programa.

Vector de reset. Cuando ocurre un reset al microcontrolador, el contador de programa se pone en ceros (000H), por esta razón, en la primera dirección del programa se debe escribir todo lo relacionado con la iniciación del mismo.

Vector de interrupción. Cuando el microcontrolador recibe una señal de interrupción, el contador de programa apunta a la dirección 04H de la memoria de programa, por eso, allí se debe escribir toda la programación necesaria para atender dicha interrupción.

A.4.2. Registros (Memoria RAM)

El PIC16F84 puede direccionar 128 posiciones de memoria RAM, pero solo tiene implementados físicamente los primeros 80 (0-4F en hexadecimal). De estos los primeros 12 son registros que cumplen un propósito especial en el control del microcontrolador y los 68 siguientes son registros de uso general que se pueden usar para guardar los datos temporales de la tarea que se está ejecutando, Figura A.8.

Los registros están organizados como dos arreglos (páginas) de 128 posiciones de 8 bits cada una (128 x 8); todas las posiciones se pueden acceder directa o indirectamente (esta última a través del registro selector FSR). Para seleccionar

que página de registro se trabaja en un momento determinado se utiliza el bit RP0 del registro STATUS.

A.4.3. Descripción de los registros.

00h o INDO: Registro para direccionamiento indirecto de datos. Este no es un registro disponible físicamente; utiliza el contenido del FSR y el bit RP0 del registro STATUS para seleccionar indirectamente la memoria de datos o RAM del usuario; la instrucción determinará que se debe realizar con el registro señalado.

01h o TMR0. Temporizador/contador de 8 bits. Este se puede incrementar con una señal externa aplicada al pin RA4/TOCKI o de acuerdo a una señal interna proveniente del reloj de instrucciones del microcontrolador. La ruta de incremento del registro de puede determinar por medio de un preescalador, localizado en el registro OPTION. Como una mejora, se le ha agregado la generación de interrupción cuando se rebasa la cuenta (el paso de 0FFh a 00h).

Dir. de registro	BANCO 0	BANCO 1	Dir. de registro
00h	Dir. Ind. ¹	Dir. Ind. ¹	80h
01h	TMR0	OPTION	81h
02h	PCL	PCL	82h
03h	STATUS	STATUS	83h
04h	FSR	FSR	84h
05h	PORTA	TRISA	85h
06h	PORTB	TRISB	86h
07h	-	-	87h
08h	EEDATA	EECON1	88h
09h	EEADR	EECON2 ¹	89h
0Ah	PCLATH	PCLATH	8Ah
0Bh	INTCON	INTCON	8Bh
0Ch	68 REGISTROS DE PROPÓSITO GENERAL	MAPEADOS (ACCESO) EN EL BANCO 0	8Ch
4Fh			CFh
50h			D0h
7Fh			FFh

Localización de memoria no implementada, se lee como '0'
 Nota 1: No es un registro físico

Figura A.8. Registros del PIC16F84.

02h o PCL: Contador de programa. Se utiliza para direccionar las palabras de 14 bits del programa del usuario que se encuentra almacenado en la memoria ROM; este contador de programa es de 13 bits de ancho, Figura A.9. Sobre el byte bajo,

se puede escribir o leer directamente, mientras que sobre el byte alto, no. El byte alto se maneja mediante el registro PCLATH (0Ah). A diferencia de los PIC de primera generación, el 16F84 ante una condición de reset inicia el contador de programa con todos sus bits en “cero”.

Durante la ejecución normal del programa, y dado que todas las instrucciones ocupan sólo una posición de memoria, el contador se incrementa en uno con cada instrucción, a menos que se trate de alguna instrucción de salto.

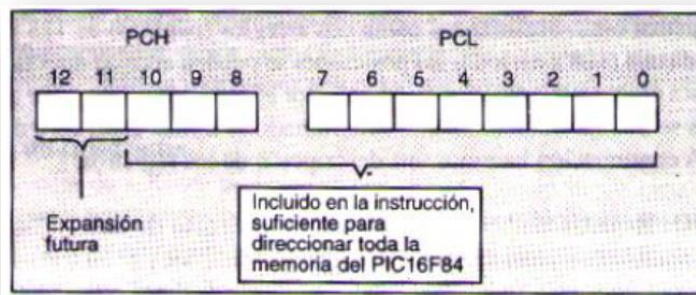


Figura A.9. Contador de programa de (13 bits).

ANEXO B

B.1. Tarjeta electrónica para contar pulsos.

Componentes de la tarjeta electrónica para contar pulsos se presenta a continuación.

- Circuito para el sensor optoelectrónico, Figura B.1.

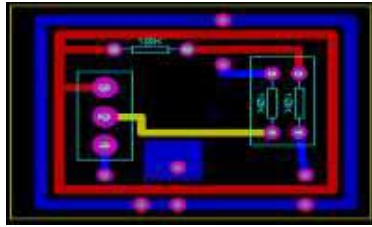


Figura B.1. Circuito para el sensor optoelectrónico.

- Placa de cobre (5cm x 3.5 cm), Figura B.2.



Figura B.2. Placa de cobre.

- Sensor optoelectrónico de barrera H21A1: Para medir pulsos, que detecta la señal analógica y la envía al microcontrolador, Figura B.3.



Figura B.3. Sensor optoelectrónico.

- Resistencia 330Ω, Figura B.4

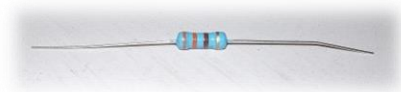


Figura B.4. Resistencia 330 Ω

- socket de conexiones



Figura B.5. Socket de conexiones.

ANEXO C

C.1. Elaboración del programa contador de semillas reales e ideales.

Abrir el ambiente LabView 8.5, seleccionado un nuevo proyecto, aparecen dos ventanas con la siguiente descripción panel de control y diagrama de bloques.

Panel frontal

- Clic derecho, seleccionar Num Inds / Num Ind, por ultimo clic izquierdo en la ventana, aparece el icono permitiendo modificar el nombre del icono y el lugar donde se desee establecer.
- Clic derecho, seleccionar Num Ctrl's / Num Ctrl, por ultimo clic izquierdo en la ventana, aparece el icono permitiendo modificar el nombre del icono y el lugar donde se desee establecer.
- Doble clic izquierdo en la ventana del panel de frontal, permitiendo describir el nombre del programa.
- Configuración de letra, color y tamaño de letras clic en el icono Text Settings.

Diagrama de bloques

- Clic derecho, seleccionar Input/ DAQ Assist, después clic izquierdo en el diagrama donde automáticamente nos aparece una ventana de configuración.
- Clic derecho, seleccionar Output/ Write Meas File, después clic izquierdo en el diagrama donde automáticamente nos aparece una ventana de configuración.

La descripción de la configuración se presenta a continuación.

C.2. Descripción del entorno de los componentes del diagrama de bloques de los programas.

El DAQ assistant1 sirve para adquirir comunicación externa, con la ayuda de la tarjeta PCI-NI- 6221 y un block de conexiones; está configurado para contar la caída de semillas reales, en la figura C.1, se muestra el icono del DAQ Assistant1.



Figura C.1. Icono del DAQ Asistant1.

Su configuración se realiza de la siguiente manera, en el diagrama de bloques se da clic derecho y se selecciona un DAQ assistant, y aparece el icono donde automáticamente aparece una pantalla donde se selecciona el tipo de señal que desee, en este caso se selecciona *Acquire Signal*, aparecen otras opciones y se selecciona *Conte Input*, al igual que el anterior aparecen una serie de opciones se selecciona la opción *Edge Counte*, luego aparecen dos opciones estos son los puertos de señal, se selecciona *ctr1* aquí aparece una ventana donde indica en que puerto se conectara la señal en el block de conexiones en este caso se muestra el puerto PFI8 que representa el número 37 en el block de conexiones, dicha señal viene de la tarjeta electrónica, y luego se le da clic en *Finish* para guardar la configuración, enseguida queda listo para conectarse a un contador numérico o un control numérico; en este caso se conecta a un indicador numérico, para visualizar la caída de semillas reales en el panel frontal, tal como se muestra en la figura C.2.

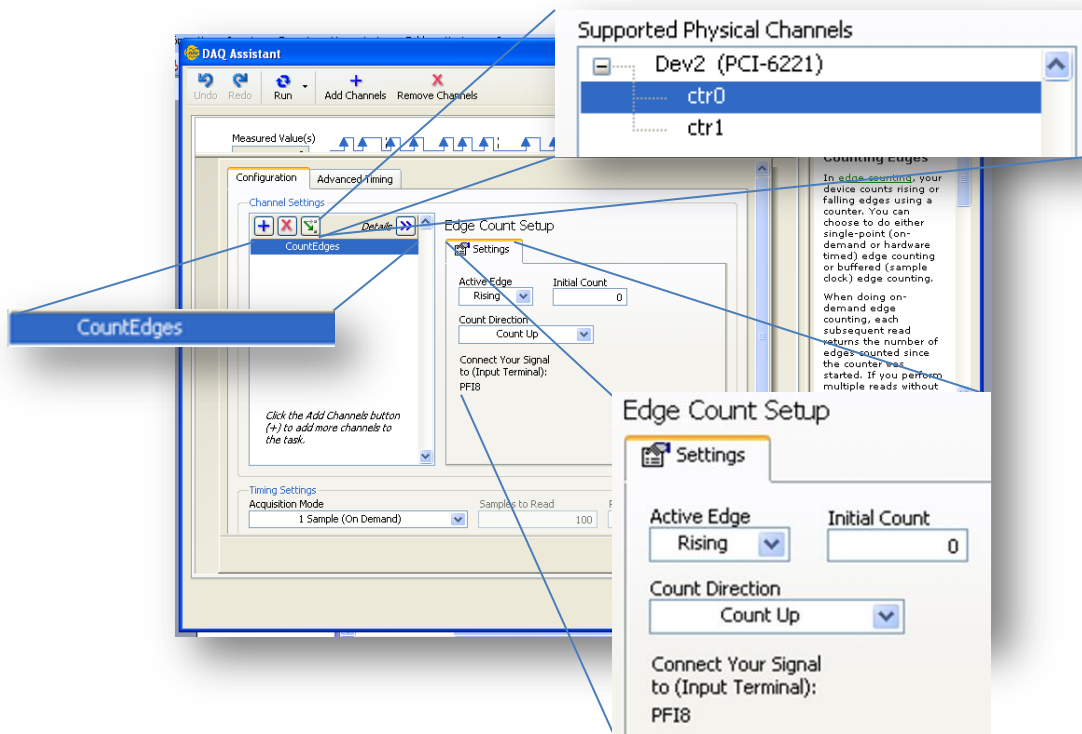


Figura C.2. Ventana de la configuración del DAQ Assistant1.

El DAQ assistant2 al igual que el DAQ assistant1 sirve para adquirir comunicación externa, con la ayuda de la tarjeta PCI-NI 6221 y un block de conexiones; está configurado para contar semillas ideales, en la figura C.3, se muestra el icono del DAQ Assistant_2.



Figura C.3. Icono del DAQ Assistant_2.

Para realizar su configuración se siguen los mismos pasos que en el DAQ assistant1, solo que al seleccionar la opción *ctr1* al igual aparece una ventana donde indica en que puerto se conectara la señal en el block de conexiones, en este caso se muestra el puerto PFI3 que representa el número 42 en el block de conexiones, dicha señal viene de la de la tarjeta electrónica, y luego se le da clic en *Finish*, para guardar la configuración, enseguida queda listo para conectarse a un contador o un control numérico; en este caso se conecta a un indicador

numérico, para visualizar el número de semillas ideales en el panel frontal, tal como se muestra en la figura C.4.

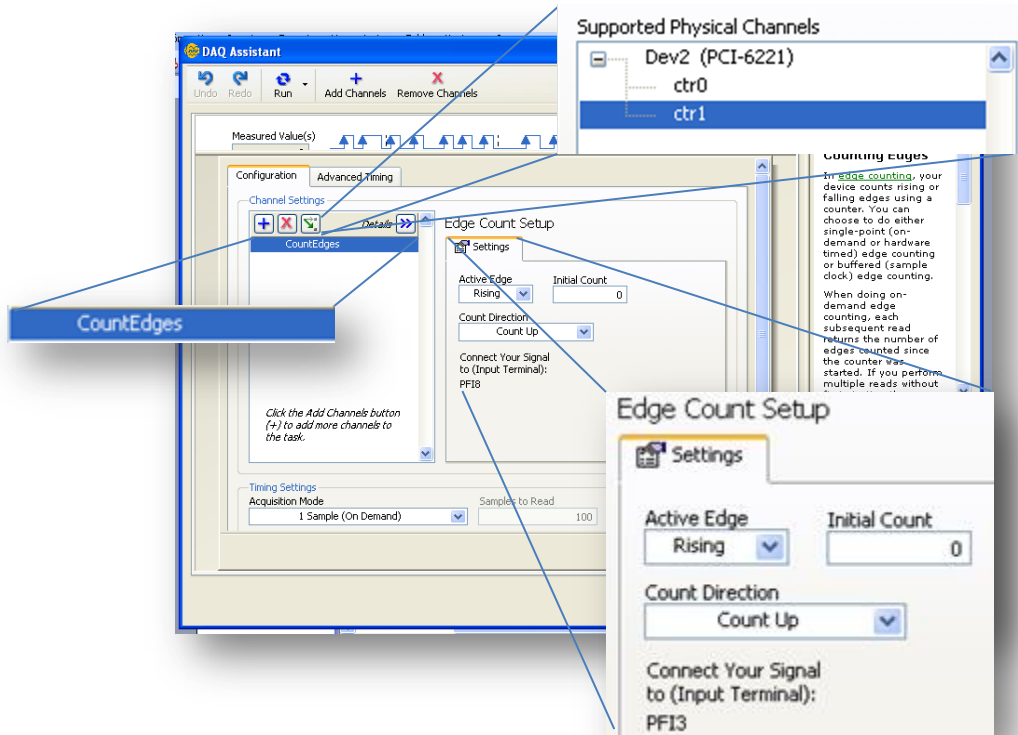


Figura C.4. Ventana de la configuración del DAQ Asistant_2.

El DAQ assistant3 sirven para generar comunicación externa con la ayuda de la tarjeta PCI-NI 6221 y un block de conexiones; está configurado para enviar voltaje al variador de frecuencia para cambiar los Hertz, , en la figura C.5, se muestra el icono del DAQ Asistant_3



Figura C.5. Icono del DAQ Asistant_3.

Su configuración se realiza de la siguiente manera, en el diagrama de bloques se da clic derecho y se selecciona un DAQ assistant, y aparece el icono donde

automáticamente aparece una pantalla donde se seleccionara el tipo de señal que se desee, en este caso se selecciona *Ggenerate signal*, aparecen otras opciones y se selecciona un *Anolog Output*, al igual que el anterior aparecen una serie de opciones y se selecciona la opción *Voltage*, luego aparece varias opciones, estos son los puertos de señal, se selecciona *ctr0*, aquí aparece una ventana donde indica en que puerto se conectara la señal en el block de conexiones en este caso muestra el puerto 21 en el block de conexiones, dicha señal se envía a través de la tarjeta PCI-NI 6222, y luego se le dará clic en *Finish* para guardar la configuración, enseguida queda listo para conectarse a un contador o un control numérico; en este caso se conecta a un indicador numérico y un control numérico para visualizar y ajustar el voltaje en el panel frontal, dicho voltaje se envía al variador de frecuencia, tal como se muestra en la figura C.6.

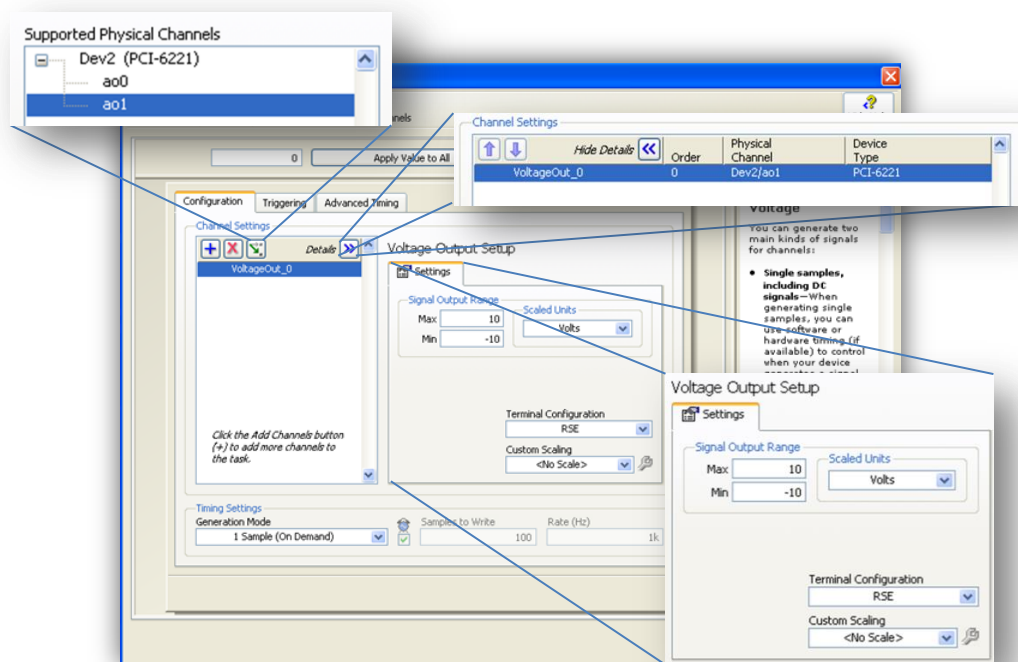


Figura C.6. Ventana de la configuración del DAQ Asistant_3.

El Write measurement File almacena los datos que un VI genera y los almacena a un archivo de datos. El *LabView Measurement Data File (.lvm)* es un archivo de texto delimitado por tabulaciones que puede abrir con una aplicación de hoja de cálculo o un procesador de palabras. Además el archivo *.lvm incluye

encabezados que contienen información acerca de los datos, como son el tiempo, semillas ideales, semillas reales, voltaje al variador y frecuencia del variador almacenándolo en tiempo real, tal como se muestra en la figura C.7.

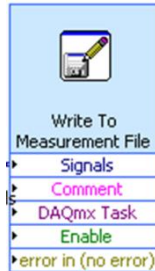


Figura C.7. Icono del Write To Measurement File .

Su configuración se realiza de la siguiente manera, se selecciona el Write Measurement File Express VI de la paleta Output y se colóca en el diagrama de bloques en la parte que mejor se acomode. En la ventana de diálogo *Configure Write Measurement File*, se selecciona la opción *Append to file* en la sección *If a file already exists*. Seleccionando *Append to file*, LabView escribe todos los datos en el archivo test.lvm sin borrar los datos ya existentes en el archivo. Se Selecciona la opción *One header Only* en la sección *Segment Headers*. Se Cablea la salida de los tres DAQ assistant a la entrada *Signals* del *Write Measurement File* tal como se muestra en la figura C.8. Para ver los datos que se almacenó, abra el archivo LabView Data\test.lvm con una aplicación de hoja de cálculo o un procesador de palabras, tal como se muestra en la figura C.8.

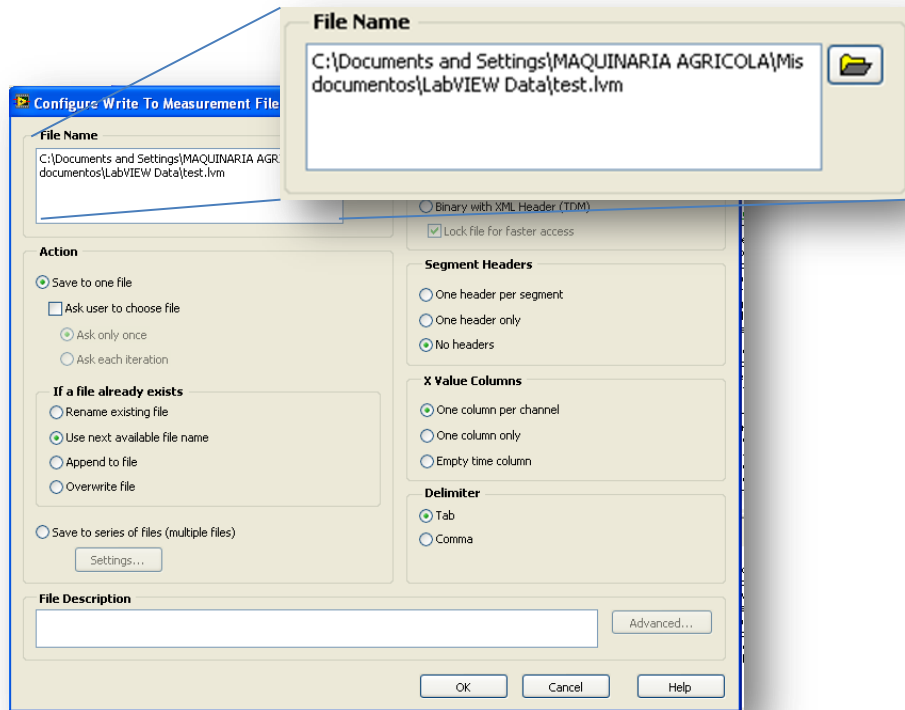


Figura C.8. Ventana de la configuración del Write To Measurement File .

Anexo D

D.1. Evaluación general del Banco de pruebas en el sistema dosificador neumático.

La evaluación del sistema dosificador neumático, se consideró 5 repeticiones en 6 pruebas diferentes, en función del rango de voltaje establecido en el variador de frecuencia.

D.2. Evaluación, pulsos del motorreductor y pulsos ideales.

En los cuadros siguientes se muestran los resultados obtenidos durante la evaluación.

Resultados obtenidos bajo condiciones de laboratorio

Cuadro D.1. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	EJE DEL MOTO REDUCTOR
	PULSOS DEL EJE DOSIFICADOR	PULSOS DEL MOTOR		RPM
1	916	1,003	2:14:44	447.63
2	917	1,003	2:14:50	447.43
3	916	1,003	2:14:75	446.60
4	916	1,002	2:14:75	446.15
5	917	1,002	2:14:14	448.18

Cuadro D.2. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	EJE DEL MOTO REDUCTOR
	PULSOS DEL EJE DOSIFICADOR	PULSOS DEL MOTOR		RPM
1	916	1003	1:40:60	598.21
2	918	1004	1:40:69	598.27
3	918	1004	1:40:66	598.45
4	917	1004	1:40:60	598.80
5	917	1004	1:40:62	598.68

Cuadro D.3. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	EJE DEL MOTO REDUCTOR
	PULSOS DEL EJE DOSIFICADOR	PULSOS DEL MOTOR		RPM
1	916	1003	1:06:31	907.55
2	918	1005	1:06:63	904.99
3	916	1002	1:06:31	906.65
4	918	1004	1:06:59	904.64
5	915	1001	1:06:31	905.74

Cuadro D.4. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	EJE DEL MOTO REDUCTOR
	PULSOS DEL EJE DOSIFICADOR	PULSOS DEL MOTOR		RPM
1	916	1003	0:41:38	1,454.32
2	919	1005	0:41:50	1,453.01
3	918	1004	0:41:41	1,454.72
4	919	1004	0:41:44	1,453.66
5	913	999	0:41:19	1,455.20

Cuadro D.5. Voltaje 4.5 V - 54 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	EJE DEL MOTO REDUCTOR
	PULSOS DEL EJE DOSIFICADOR	PULSOS DEL MOTOR		RPM
1	894	1005	0:36:85	1,636.36
2	890	1005	0:36:87	1,635.47
3	881	1002	0:36:68	1,639.04
4	886	1000	0:36:66	1,636.66
5	880	1002	0:36:72	1637.25

Cuadro D.6. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	EJE DEL MOTO REDUCTOR
	PULSOS DEL EJE DOSIFICADOR	PULSOS DEL MOTOR		RPM
1	734	1002	0:33:50	1,794.62
2	718	1003	0:33:56	1,793.20
3	731	1005	0:33:59	1,795.17
4	720	1002	0:33:53	1,793.02
5	720	1002	0:33:60	1,789.28

D.3. Evaluación, semillas reales e ideales con semilla de frijol.

En los cuadros siguientes se muestran los resultados obtenidos durante la evaluación, teniendo una constante de 13 pulgadas de agua.

Resultados obtenidos bajo condiciones de laboratorio

Cuadro D.7. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	CELDAS POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES			
1	2,038	2,003	4:53:56	409.38	101.74
2	2,031	2,003	4:53:90	408.91	101.39
3	2,040	2,003	4:53:44	409.55	101.84
4	2,051	2,003	4:53:62	409.30	102.39
5	2,060	2,002	4:53:97	408.61	102.89

Cuadro D.8. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	CELDAS POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES			
1	2,026	2,003	3:40:41	545.25	101.14
2	1,996	2,004	3:40:50	545.30	99.60
3	2,002	2,003	3:40:00	546.27	99.95
4	2,000	2,003	3:40:16	545.87	99.85
5	1,987	2,004	3:40:01	546.52	99.15

Cuadro D.9. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	CELDAS POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES			
1	1,900	2,005	2:25:59	826.29	94.76
2	1,878	2,005	2:25:59	826.29	93.66
3	1,890	2,002	2:25:00	828.41	94.40
4	1,888	2,003	2:25:03	828.65	94.25
5	1,906	2,007	2:25:47	827.79	94.96

Cuadro D.10. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES			
1	1,609	2,008	1:30:94	1,324.82	80.12
2	1,580	2,009	1:30:75	1,328.26	78.64
3	1,617	2,006	1:30:93	1,323.65	80.60
4	1,546	2,007	1:30:75	1,326.94	77.03
5	1,572	2,008	1:30:81	1,326.72	78.28

Cuadro D.11. Voltaje 4.5 V - 54 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS RELAES	SEMILLAS IDEALES			
1	1,398	2,008	1:23:31	1,446.16	69.62
2	1,475	2,008	1:23:43	1,444.08	73.45
3	1,484	2,009	1:23:18	1,449.14	73.86
4	1,415	2,008	1:23:18	1,448.42	70.46
5	1,440	2,008	1:23:19	1,448.25	71.71

Cuadro D.12. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES			
1	1,629	2,006	1:38:91	1,216.86	81.20
2	1,635	2,007	1:40:00	1,204.2	81.46
3	1,539	2,002	1:37:87	1,227.34	76.64
4	1,612	2,008	1:38:72	1,220.42	80.27
5	1,751	2,008	1:39:12	1,215.49	87.20

Anexo E

E.1. Evaluación general del Banco de pruebas en el sistema dosificador mecánico.

La evaluación del sistema dosificador mecánico, se consideró 5 repeticiones en 6 pruebas diferentes, en función del rango de voltaje establecido en el variador de frecuencia, con una relación de transmisión

E.2. Evaluación, pulsos del motorreductor y pulsos ideales.

En los cuadros siguientes se muestran los resultados obtenidos durante la evaluación, con una relación de transmisión constante 0.057.

Resultados obtenidos bajo condiciones de laboratorio

Cuadro E.1. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	SEMILLAS IDEALES	PULSOS DEL EJE		TIEMPO	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL EJE	
		SEMBRADORA MECANICA	MOTO REDUCTOR		MOTO REDUCTOR	PLATO DOSIFICADOR
1	410.4	57	1,003	2:13:82	449.70	7.66
2	410.4	57	1,003	2:13:82	449.70	7.66
3	410.4	57	1,002	2:14:28	447.72	7.64
4	410.4	57	1,003	2:13:91	449.40	7.66
5	410.4	57	1,002	2:13:59	450.03	7.68

Cuadro E.2. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	SEMILLA IDEALES	PULSOS DEL EJE		TIEMPO	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL EJE	
		SEMBRADORA MECANICA	MOTO REDUCTOR		MOTO REDUCTOR	PLATO DOSIFICADOR
1	410.4	57	1,003	1:40:60	598.21	10.20
2	410.4	57	1,003	1:40:60	598.21	10.20
3	410.4	57	1,000	1:40:37	597.78	10.22
4	410.4	57	1,007	1:40:97	598.39	10.16
5	410.4	57	1,005	1:40:50	600	10.21

Cuadro E.3. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	SEMILLAS IDEALES	PULSOS DEL EJE		TIEMPO	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL EJE	
		SEBRADORA MECANICA	MOTO REDUCTOR		MOTO REDUCTOR	PLATO DOSIFICADOR
1	410.4	57	1,004	1:14:10	812.95	13.85
2	410.4	57	1,002	1:13:72	815.51	13.92
3	410.4	57	1,004	1:14:09	813.06	13.85
4	403.2	56	1,004	1:12:59	829.86	13.88
5	410.4	57	1,004	1:14:09	813.06	13.85

Cuadro E.4. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	SEMILLAS IDELAES	PULSOS DEL EJE		TIEMPO	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL EJE	
		SEBRADORA MECANICA	MOTO REDUCTOR		MOTO REDUCTOR	PLATO DOSIFICADOR
1	410.1	57	1,006	0:41:37	1,459.02	24.80
2	403.2	56	1,004	0:40:97	1,470.34	24.60
3	410.1	57	1,006	0:41:13	1,467.54	24.95
4	410.1	57	1,005	0:41:28	1,460.75	24.85
5	410.1	57	1,003	0:41:28	1,457.84	24.85

Cuadro E.5. Voltaje 4.5 v - 54 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	SEMILLAS IDEALES	CANTIDAD DE		TIEMPO	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL EJE	
		SEBRADORA MECANICA	MOTO REDUCTOR		MOTO REDUCTOR	PLATO DOSIFICADOR
1	410.1	57	1,000	0:36:63	1,638.00	28.01
2	410.1	57	1,004	0:36:44	1,653.12	28.16
3	396	55	1,005	0:35:66	1,690.97	27.76
4	410.1	57	1,005	0:36:60	1,647.54	28.03
5	410.1	57	1,002	0:36:44	1,649.83	28.16

Cuadro E.6. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	SEMILLAS IDEALES	CANTIDAD DE		TIEMPO	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL EJE	
		SEMILLAS IDEALES	PULSOS DEL MOTOR		MOTO REDUCTOR	PLATO DOSIFICADOR
1	410.1	57	1,008	0:33:50	1,805.37	30.62
2	403.2	56	1,006	0:32:97	1,830.755	30.57
3	410.1	57	1,006	0:33:09	1,824.11	31.01
4	410.1	57	1,006	0:30:60	1,972.54	33.53
5	403.2	56	1,008	0:33:03	1,831.06	30.52

E.3. Evaluación, semillas reales e ideales con semilla de maíz bola media.

En los cuadros siguientes se muestran los resultados obtenidos durante la evaluación, con relación de trasmisión constante 17.20.

Resultados obtenidos bajo condiciones de laboratorio

Cuadro E.7. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	2,790	1,800	1,000	9:49:78	183.11	155
2	2,732	1,800	1,000	9:48:84	183.41	152
3	2,638	1,800	1,000	9:49:50	183.20	147
4	2,601	1,800	1,000	9:49:18	183.30	145
5	2,719	1,800	1,000	9:50:06	183.03	151

Cuadro E.8. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	2,695	1,800	1,000	7:21:47	244.63	150
2	2,708	1,802	1,001	7:22:38	244.37	150
3	2,675	1,800	1,000	7:21:75	244.48	149
4	2,691	1,800	1,000	7:21:40	244.67	150
5	2,635	1,800	1,000	7:21:13	244.82	146

Cuadro E.9. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	2,651	1,800	1,000	5:25:24	332.06	147
2	2,592	1,800	1,000	5:24:75	332.56	144
3	2,472	1,800	1,000	5:24:63	331.66	137
4	2,480	1,802	1,001	5:24:65	332.99	138
5	2,415	1,802	1,001	5:24:53	333.12	134

Cuadro E.10. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	2,256	1,802	1,001	3:01:66	595.11	125
2	2,120	1,802	1,001	3:01:69	595.01	118
3	2,115	1,802	1,001	3:01:65	595.14	117
4	2,125	1,804	1,002	3:01:87	595.01	118
5	2,159	1,802	1,001	3:01:85	594.48	120

Cuadro E.11. Voltaje 4.5 V - 54 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS RELAES	SEMILLAS IDEALES				
1	2,187	1,804	1,002	2:41:62	669.57	121
2	2,240	1,802	1,001	2:41:62	668.90	124
3	2,193	1,804	1,002	2:41:44	670.31	122
4	2,143	1,804	1,002	2:41:50	670.06	119
5	2,062	1,804	1,002	2:41:38	670.56	114

Cuadro E.12. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	2,161	1,800	1,000	2:27:66	731.40	120
2	2,132	1,804	1,002	2:27:50	733.66	118
3	2,171	1,804	1,002	2:27:47	733.81	120
4	2,004	1,804	1,002	2:27:43	734.01	111
5	2,076	1,804	1,002	2:27:34	734.46	115

E.4. Evaluación, semillas reales e ideales con semilla de maíz plano medio.

En los cuadros siguientes se muestran los resultados obtenidos durante la evaluación, con una relación de trasmisión constante 17.20.

Resultados obtenidos bajo condiciones de laboratorio

Cuadro E.13. Voltaje 1.25 V – 15 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	3,098	1,800	1,000	9:49:00	183.36	172
2	3,178	1,800	1,000	9:50:13	183.01	176
3	3,237	1,800	1,000	9:50:04	183.03	179
4	3,421	1,800	1,000	9:49:87	183.09	190
5	3,224	1,800	1,000	9:50:75	182.81	179

Cuadro E.14. Voltaje 1.66 V - 20 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	3,082	1,800	1,000	7:18:40	246.35	171
2	3,221	1,800	1,000	7:21:78	244.46	178
3	3,252	1,800	1,000	7:21:41	244.67	180
4	3,254	1,800	1,000	7:21:31	244.72	180
5	3,362	1,800	1,000	7:18:38	246.36	186

Cuadro E.15. Voltaje 2.5 V - 30 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	3,129	1,800	1,000	5:22:72	334.65	173
2	2,914	1,798	999	5:23:50	333.47	162
3	2,861	1,800	1,000	5:24:63	332.68	158
4	2,852	1,800	1,000	5:24:65	332.66	158
5	2,950	1,802	1,001	5:15:03	343.20	163

Cuadro E.16. Voltaje 4 V - 40 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	2,471	1,802	1,001	3:01:75	594.88	137
2	2,408	1,802	1,001	3:01:75	594.88	133
3	2,502	1,804	1,002	3:01:91	595.01	138
4	2,498	1,800	1,000	3:01:50	595.04	138
5	2,501	1,802	1,001	3:01:69	595.07	138

Cuadro E.17. Voltaje 4.5 V - 54 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS RELAES	SEMILLAS IDEALES				
1	2,334	1,804	1,002	2:41:46	670.38	129
2	2,367	1,804	1,002	2:41:53	670.09	131
3	2,345	1,802	1,001	2:41:53	669.34	130
4	2,519	1,804	1,002	2:41:56	669.96	139
5	2,408	1,805	1,003	2:41:68	669.84	133

Cuadro E.18. Voltaje 5 V - 60 Hz en el variador de frecuencia.

CORRIDAS	CANTIDAD DE		PULSOS DEL EJE SEMBRADORA MECANICA	TIEMPO	CELDA POR MINUTO	PORCENTAJE (%) DE LLENADO
	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES				
1	2,152	1,802	1,001	2:27:37	733.66	119
2	2,266	1,804	1,002	2:27:37	734.47	125
3	2,281	1,804	1,002	2:27:32	734.72	126
4	2,293	1,802	1,001	2:27:18	734.61	127
5	2,287	1,804	1,002	2:27:53	733.68	126