

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**Instrumentación de un Dosificador Neumático para Agricultura de Precisión Empleando  
Instrumentos Virtuales**

**Por:**

**GEARIM ROBLERO VÁZQUEZ**

**Tesis**

**Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Septiembre de 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Instrumentación de un Dosificador Neumático Para Agricultura de Precisión  
Empleando Instrumentos Virtuales

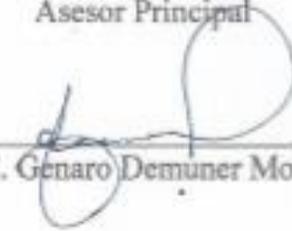
POR:  
**GEARIM ROBLERO VÁZQUEZ**

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

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor Principal

  
M.C. Genaro Demuner Molina

Sinodal

  
Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal

  
M.C. Mario Alberto Méndez Dorado

Coordinador de la División de Ingeniería

  
Dr. Luis Samaniego Moreno

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de  
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Septiembre, 2017.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a ti mi **DIOS**, por haberme dado la vida, escuchar tus consejos, porque de ti señor viene la sabiduría; conocimiento y ciencia brotan de tus labios. Entendimiento me has dado para culminar una etapa más de mi vida.

A la **UAAAN** por haberme acogido y darme la oportunidad de terminar una carrera profesional, así como brindarme las herramientas necesarias de seguir desarrollando las habilidades para hacer frente a las circunstancias de la vida. **Gracias Alma Mater.**

**Al Dr. Santos G. Campos Magaña**, por su apoyo y compartir sus conocimientos que han trascendido en generaciones. Por inculcar la innovación y llevar al Departamento de Maquinaria Agrícola a seguir formando alumnos de éxito.

**Al M.C. Genaro Demuner Molina**, por darme la oportunidad, confianza y por el sacrificio del tiempo dedicado en el desarrollo de este proyecto. Por su dirección y asesoría en este trabajo de tesis.

A los diversos maestros del Departamento de Maquinaria Agrícola en especial al **M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, Dr. Martín Cadena Zapata, M.C. Mario Méndez Dorado, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, Dr. Jesús Valenzuela García, Ing. Rosendo Gonzales Garza** y todos aquellos maestros que aportaron sus conocimientos y experiencia durante el desarrollo de mi carrera.

A mis compañeros y amigos de la carrera de Ing. Mecánico Agrícola, en especial a **Fernando Sebastián Bartolón Marto, Solangel Iescieur López, Miguel Ángel Posada Colmenero, Jose Ramon Vera López, Adrián Vega Sánchez, Noe Osiris Delgado Domínguez** gracias a todos por su amistad, y los que no pueden faltar **Jeremías Santizo Gálvez, Hugo Alberto García Pérez, Isai Granados López y Tomas Moreno Gómez**, por brindarme su amistad sincera y desinteresada.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es fruto del esfuerzo y sacrificio de muchas personas por tal motivo es para ustedes:

Para mi abuelo y abuela:

**Sr. Reymundo Vázquez Pérez**

**Sra. Ademia de León Pérez**

A mis padres:

**Sr. Maclovio Roblero Roblero**

**Sra. Alejandra Reyna Vázquez de León**

Oye, hijo mío, la instrucción de tu padre, y no desprecies la dirección de tu madre (Pv. 1:8)

A mi **Padre**, aunque no estés en nuestra vida diaria, eres un aliento, inspiración a seguir con esa fuerza e ímpetu que un día nos enseñaste. Siempre estás en el corazón de cada una de las personas que rodearon tu ser. Gracias de corazón para ti **PAPÁ**.

A mi **Madre**, por esa dirección tan majestuosa. Mujer virtuosa, ¿quién la hallara? Porque su estima sobrepasa largamente a la de las piedras preciosas (Pv. 31:10). Por cuanto tus manos trabajan con voluntad se levantan tus hijos y te llaman bienaventurada. Gracias por ese crecimiento espiritual que forjas en mi cada día, este trabajo te lo dedico de todo corazón a ti **MAMÁ**.

A mis hermanas y hermanos:

**Hilda Roblero Vázquez**

**Jose Manuel Roblero Vázquez**

**Adalinda Roblero Vázquez**

**Orfi Roblero Vázquez**

**Jehu Roblero Vázquez**

**Elimna Roblero Vázquez**

A todos (as) por brindarme todo el apoyo, y ser parte de este proyecto, me siento orgulloso de tenerlos como hermanos. **Primos** que estuvieron siempre presentes en cada etapa. Gracias, por sus consejos, con mucho cariño para ustedes.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS-----	IX
ÍNDICE DE CUADROS -----	XII
RESUMEN -----	XIII
I    INTRODUCCIÓN-----	14
1.1 <i>Importancia del uso de instrumentos virtuales en la agricultura de precisión</i> -	17
1.2 <i>Justificación del problema</i> -----	17
II    OBJETIVOS -----	19
2.1 <i>Objetivo General</i> -----	19
2.2 <i>Objetivos Específicos</i> -----	19
III   HIPÓTESIS -----	19
IV   REVISIÓN DE LITERATURA -----	20
4.1 <i>Agricultura de Precisión</i> -----	20
4.2 <i>Definición de sistemas inteligentes</i> -----	23
4.3 <i>Agricultura de precisión a nivel nacional y mundial</i> -----	24
4.4 <i>Funciones de una sembradora</i> -----	26
4.5 <i>Componentes de una sembradora de precisión</i> -----	26
4.6 <i>Siembra de precisión</i> -----	27
4.7 <i>Mecanismos de medición de semillas</i> -----	28
4.7.1 <i>Mecanismo de medición con plato horizontal</i> -----	28
4.7.2 <i>Mecanismo de medición con plato inclinado</i> -----	29
4.7.3 <i>Mecanismo de medición con plato vertical</i> -----	30
4.7.4 <i>Mecanismo de medición con celdas en una banda</i> -----	31

4.7.5	Mecanismo de medición neumática con celdas circunferenciales	31
4.7.6	Mecanismo de medición neumático con ranuras	33
4.7.7	Mecanismo de medición por dosificación al vacío	34
4.8	<i>Factores que afectan el llenado de celdas y daño en las semillas</i>	34
4.9	<i>Beneficios de la siembra de precisión</i>	35
4.10	<i>Pruebas y evaluación</i>	35
4.11	<i>Variabilidad</i>	36
4.12	<i>Mapas de rendimiento</i>	37
4.13	<i>Dosis variable</i>	38
V	MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS	40
5.1	<i>Ubicación del lugar de investigación</i>	40
5.2	<i>Materiales</i>	40
5.3	<i>Equipo</i>	42
5.3.1	Banco de pruebas	42
5.3.2	Sensor de semilla real	42
5.3.3	Sensores de semillas ideales	43
5.3.4	Tarjetas electrónicas	43
5.3.5	Tarjeta de adquisición de datos (Figura 5.10) National Instrument (NI PCIe-6321 Adquisición de Datos de serie X)	44
5.3.6	Bloque conector – Terminales de tornillo SCB-68 (M serial and x serial Devices)	44
5.3.7	Variador de frecuencia	45
5.3.8	Programador PICKit2	45
5.3.9	Bombas de vacío	46
5.3.10	Vacuómetro	47
5.3.11	Computadora personal	47
5.3.12	Software LabVIEW2015	48

5.4	<i>Metodología</i> -----	49
5.4.1	Familiarización con el simulador y los programas a utilizar-----	50
5.4.2	Construcción de las tarjetas electrónicas-----	50
5.4.3	Integración de un vacuómetro-----	50
5.4.4	Grabado del programa retardos en los micro-controladores-----	50
5.4.5	Configuración del variador de frecuencia-----	51
5.4.6	Programación en LabVIEW2015-----	54
5.4.7	Integración del Bloque Conector y Verificación del vínculo de la tarjeta de cuatro canales-----	57
5.4.8	Repeticiones a diferentes voltajes-----	58
5.4.9	Obtención de datos y análisis en el software Minitab 17-----	58
VI	RESULTADOS-----	59
6.1	<i>Resultado de conexión del sistema instrumentado y a evaluar</i> -----	59
6.2	<i>Evaluación de los sistemas de dosificación neumática</i> -----	60
6.3	<i>Resultados estadísticos de dosificación por módulo</i> -----	61
VII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----	64
VIII	REFERENCIAS-----	65
IX	ANEXOS-----	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1	Proceso de la agricultura de precisión. -----	21
Figura 4.2	Componentes de un sistema inteligente en equipo de siembra. -----	23
Figura 4.3	Componentes de una sembradora neumática. -----	27
Figura 4.4	Fondo de las tolvas de semillas para sembradoras de plato horizontal. (A) plato de caída en la orilla para maíz, (B) plato apropiado para siembra de precisión de remolacha azucarera o semillas recubiertas. -----	28
Figura 4.5	Mecanismo de medición de semillas. (A) mecanismo de medición de semillas de plato inclinado; (B) Mecanismo de medición de semillas de plato inclinado diseñado para siembra de precisión de pequeñas semillas vegetales. -----	29
Figura 4.6	Mecanismo de medición de semilla con rotación vertical. -----	30
Figura 4.7	Mecanismo tipo banda de medición de semilla. -----	31
Figura 4.8	Mecanismo de medición de semilla neumática y sistema de distribución diseñado para grano como maíz, frijol y sorgo. -----	32
Figura 4.9	El aire presurizado mantiene las semillas en los orificios. -----	33
Figura 4.10	Limitador de semilla y mecanismo de entrega (medidor presurizado). --	33
Figura 4.11	Mecanismo de medición para hileras. -----	33
Figura 4.12	Corte transversal de unidad de disco medidor al vacío. -----	34
Figura 4.13	Mapa de rendimiento. -----	38
Figura 5.1	Laboratorio de Prototipos para Agricultura de Precisión. -----	40
Figura 5.2	Microcontrolador PIC16F84. -----	41
Figura 5.3	Sensor opto electrónico de barrera H21A1. -----	41
Figura 5.4	Taller de máquinas y herramientas. -----	41
Figura 5.5	Banco de Pruebas. -----	42
Figura 5.6	Sensor de semilla real. -----	42
Figura 5.7	Sensor de efecto Hall. -----	43
Figura 5.8	Sensor opto-electrónico. -----	43
Figura 5.9	Tarjetas electrónicas. -----	43

Figura 5.10 Tarjeta de adquisición de datos. -----	44
Figura 5.11 Bloque conector.-----	44
Figura 5.12 Variador de frecuencia. -----	45
Figura 5.13 Programador PICkit2. -----	45
Figura 5.14 Unidad de vacío (RIDGID). -----	46
Figura 5.15 Unidad de vacío (STINGER). -----	46
Figura 5.16 Unidad de medición de presión diferencial. -----	47
Figura 5.17 Computadora Lanix Titan. -----	47
Figura 5.18 Software de LabVIEW2015. -----	48
Figura 5.19 Metodología General. -----	49
Figura 5.20 Funciones de terminales eléctricas. -----	52
Figura 5.21 Conexión del variador. -----	52
Figura 5.22 Display en el teclado al conectar la alimentación. -----	53
Figura 5.23 Programación en LabVIEW2015. -----	54
Figura 5.24 Semillas ideales-reales, contador de frecuencia, semilla y control de voltage al variador. -----	55
Figura 5.25 Vínculo de componentes. -----	57
Figura 6.1 Elementos del sistema.-----	59
Figura 6.2 Grafica de regresión.-----	62
Figura A1.1 Localización del DAQ Assistant. -----	70
Figura A1.2 Funciones avanzadas.-----	70
Figura A1.3 Configuración de tarea. -----	71
Figura A2.1 Configuración de DAQmxexpress. -----	71
Figura A2.2 Selección de canales. -----	72
Figura A2.3 Selección de copiar canales. -----	72
Figura A2.4 Configuración de la tarea de entrada analógica. -----	72
Figura A2.5 Panel de análisis de señal. -----	73
Figura A3.1 Configuración de DAQmx Express VI -----	74
Figura A3.2 Selección de canal.-----	74
Figura A3.3 Configuración avanzada del reloj. -----	75
Figura A4.1 Configuración de DAQmx Express-----	75

Figura A4.2 Configuración de tarea. -----	76
Figura A5.1 Configuración de DAQmx Express-----	77
Figura A5.2 Configuración de tarea del contador. -----	78
Figura A5.3 Configuración de DAQmx Express-----	78
Figura A5.4 Configuración de tarea. -----	79
Figura A6.1 Edición de propiedades de DAQmx-----	80
Figura B1.1 Descripción de iconos del panel frontal LabVIEW2015.-----	81
Figura B2.1 Diagrama de bloques de los IV.-----	82
Figura B2.2 Guardado de archivos. -----	83
Figura B3.1 Diagrama de bloque de conexión del código. -----	84

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1 Etapas de la AP para la investigación -----	22
Cuadro 4.2 Tendencias de aplicación de AP, de acuerdo con zona geográfica -----	25
Cuadro 6.1 Porcentaje de llenado de celdas -----	60
Cuadro 6.2 Análisis de varianza-----	61
Cuadro 6.3 Análisis de medias -----	61
Cuadro 6.4 Análisis de varianza. -----	62
Cuadro 6.5 Análisis de varianza-----	63
Cuadro 6.6 Análisis de medias -----	63
Cuadro C1.1 Repeticiones del módulo John Deere-----	85
Cuadro C2.1 Cantidad de semilla por minuto-----	86
Cuadro C3.1 Porcentaje de llenado de celda-----	87
Cuadro C4.1 Tiempo y cantidad de semilla por minuto -----	88
Cuadro C5.1 Porcentaje de llenado de celda-----	89

## RESUMEN

La programación desarrollada y la integración de la tarjeta de adquisición de datos de cuatro canales, modelo **NI PCIe-6321**, Serie X (National Instruments Corporation, Austin, Texas, EE. UU.), al Banco de Pruebas de Sembradoras permiten simular y registrar en tiempo real la dosificación de semilla real *vs* la dosificación de semilla teórica en dos módulos de siembra diferentes. Los resultados mejorarán las tareas investigación y docencia en agricultura de precisión (AP), específicamente para obtener uniformidad en la dosificación de semilla. El programa desarrollado involucra instrumentos virtuales (IV) que, mediante la programación por objetos en LabVIEW2015, permiten el control de velocidad de dosificación y el registro del tiempo de caída de las semillas ideales *vs* reales. Los módulos de sembradoras comparados fueron *Max Emerge 7200* y *Precision Planting* (John Deere, Moline, Illinois, EE. UU.) cuyas tasas de siembra evaluadas fluctúan de 136 a 848 semillas por minuto y de 136 a 702 semillas por minuto (1.5 - 4.5 V, con incrementos de 0.5 V en ambos casos), respectivamente. En términos de uniformidad de siembra, los mejores resultados se obtuvieron con tasas de 848 (4.5 V) y 374 (3.5 V) semillas por minuto, para los módulos *Max Emerge* y *Precision Planting*, respectivamente.

**Palabras clave:** *Agricultura de Precisión, Instrumentos Virtuales, Velocidad de Dosificación, Módulos de Siembra.*

## I INTRODUCCIÓN

A comienzos del siglo XX, la agricultura suministraba alimentos para una población mundial en un orden de 1,200 millones de personas, mientras que hoy lo hace para cerca de 6,000 millones. La tasa de crecimiento en el mundo (60 millones al año), para el 2020 se espera una población cercana a los 8,000 millones. Algunas proyecciones indican que deberá incrementarse la producción mundial de maíz, soja y trigo en alrededor de 700 millones de toneladas para el 2020 (Maroni, 2007).

Según SAGARPA (2012), en la actualidad en nuestro país, uno de los problemas que se focalizan y son de mayor importancia es, la demanda de alimentos y su producción, la variabilidad de siembra, la cual repercute en bajos rendimientos y por consecuencia la baja rentabilidad y disminución de la superficie cultivada, entre otros, también a la falta de equipo de siembra apropiado, 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, para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con muestreo de ambientes a nivel de predio para determinar los factores limitantes de la producción, así como su localización precisa para poder de ahí, realizar las prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos (Maroni, 2007).

Para lo anterior se requiere de software que integre la información recabada en campo como son los siguientes: Sistemas de Posicionamiento Global Diferencial (AgDGPS), Sensores, Sistemas de Información Geográfica (SIG), así como equipos de dosificación variable de insumos (Lowenberg, 1997).

Según Kachman y Smith (1994), las sembradoras de precisión son aquellas máquinas que pueden sembrar en surcos y son capaces de dosificar las semillas de una en una. Describen también a las fuentes de variación en la precisión como: fallas en el llenado del dosificador, llenado múltiple o sembrado defectuoso por su espacio entre plantas. Ellos establecieron que la no-emergencia de una semilla debiera ser estudiada en el marco de los ensayos de precisión,

ya que introduce un factor adicional de variabilidad, en caso de interpretar sencillamente un no-nacimiento por una falla. Los autores proponen, entonces, el uso de los histogramas de distancia entre plantas para evaluar el planteo. En la búsqueda de precisión debieran respetarse los siguientes pasos: búsqueda de la variabilidad natural del lote, incidencia de los factores de rendimiento predefinidos y realizar ensayos exploratorios con metodología probada en el cultivo.

En otra tecnología Campbell y Baker (1989), desarrollaron el uso de rayos X, como método para tener una técnica adecuada a la ubicación tridimensional de una semilla dentro de un suelo agrícola bajo siembra directa. Para obtener el espaciamiento entre semillas dosificadas por una sembradora en laboratorio, aparece como una buena precisión el sistema de sensoramiento opto-electrónico desarrollado por Kocher (1998) y citado por Lan (1999). El sistema lleva una celda por donde pasan las semillas dosificadas y un data-logger analiza los datos. Exponen que la ventaja de este sistema sobre los comerciales existentes, es que no sólo registra las semillas que pasan, sino cuándo pasa cada una, dando entonces la localización anterior-posterior de cada semilla.

Entre los nuevos diseños para la siembra directa de precisión, destaca la propuesta de Molin (1998), en la que plantean un abre-surco localizador para siembra a golpes, que se basa en acoplar un tubo dentro del suelo por donde la semilla alcanza la profundidad de siembra.

En la búsqueda de asistencia para una siembra con la precisión y la alternativa de variación continua que requiere la agricultura de precisión, Weatherly y Bowers (1997) presentaron una sembradora con avanzado grado de automatización para resolver la variación continua de la profundidad de siembra, pilotada por un sensor de humedad. Esto fue resuelto con una cuchilla delantera que trabaja como electrodo para la medición continua de la humedad del suelo, principio basado en la conductividad eléctrica.

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, la cual deberá tener un motor y transmisión con la que se podrá variar la velocidad de giro del eje de alimentación. Además, ésta 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.

Colombino (1996), diseñó y construyó un banco de ensayos para equipos dosificadores de sembradoras y fertilizadoras el cual lo componen: la fuente de potencia que consiste en un motor eléctrico de corriente alterna, con un régimen de 1450 V s<sup>-1</sup> y 0.75 kW de potencia, para reducir la velocidad del motor empleando un variador mecánico.

García *et al.*, (2000), desarrollaron un banco de ensayos para sembradoras neumáticas, que consiste en un moto-reductor 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 se empleó una leva que permitió simular la magnitud y la amplitud de las sacudidas desde 0 hasta 25 mm. También se realizó un estudio sobre la calidad de dosificación de sembradoras neumáticas en laboratorio, donde se evaluó una sembradora mono-grado, Neyfer S.L, modelo S-766, 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<sup>-1</sup>, con una amplitud de 20 mm. Como resultado de estos ensayos él 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 forma de la celda en los platos dosificadores determina la eficiencia en el porcentaje de llenado de celdas y además recomienda el uso de sensores de desplazamiento y frecuencia de caída de semilla para asegurar eficiencias superiores al 90% (Ramírez, 2000).

Segundo (2004), menciona que el porcentaje de llenado de celdas en el dosificador neumático es afectado por las dimensiones de la celda con respecto al tamaño promedio de la semilla, la fuerza de succión y la velocidad de siembra. También indica que el grado en que se afectan estos factores se debe a la forma y masa de la semilla.

Reynolds (2006), construyó un banco de pruebas para la evaluación de los parámetros de un sistema de dosificación inteligente de semillas, mencionando que la velocidad de

siembra, y el tamaño de la celda debe ser proporcional a la semilla, de tal manera que le permita a ésta 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.

Campos *et al.*, (2007), desarrollaron un sistema de siembra neumática de alta precisión para labranza de conservación para tractores de potencia media, en donde integran un sistema de siembra neumático de precisión. El dosificador de semilla, el disco cortador de residuos y un sistema de monitoreo de dosificación muestra que el componente impacto representa de 20 a 50% de la fuerza necesaria para mantener la semilla adherida al plato a velocidades menores de 1,100 semillas para lograr  $100 \pm 5\%$  de llenado de celdas.

### **1.1 Importancia del uso de instrumentos virtuales en la agricultura de precisión**

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 (USNRC, 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, incrementando la eficiencia, la productividad y el margen de ganancia en el largo plazo, minimizando los impactos indeseados sobre el ambiente (USFB, 1996).

### **1.2 Justificación del problema**

Actualmente, el Departamento de Maquinaria Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro se encuentra en proceso de equipamiento e instrumentación de material automatizado para docencia e investigación en mecanización para la AP (López, 2012). De este equipamiento, destacan un tractor acondicionado para realizar distintas evaluaciones, un carro porta sensores para el monitoreo de resistencia a la penetración del suelo, un dispositivo de medición de la conductividad eléctrica dentro de los terrenos, una pantalla FMX y una antena de corrección RTK, al igual que un banco de pruebas semi-automatizado para la evaluación de sembradoras neumáticas de precisión.

Por tal motivo durante la convocatoria interna del 2009 para proyectos de investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro fue presentado y autorizado el proyecto denominado: “*Desarrollo de equipos, sensores e instrumentos para agricultura de precisión y la labranza de conservación*”. Cuyos objetivos planteados fueron los siguientes:

1. Fortalecer la enseñanza e investigación en agricultura de precisión.
2. Evaluar la calidad de equipos agrícolas de labranza de conservación.
3. Desarrollar un sistema de simulación de dosis variable de semillas.
4. Desarrollar un sistema de dosificación variable de semillas en tiempo real.
5. Desarrollar equipos para la generación de mapas de conductividad eléctrica, resistencia al corte y penetración geo-referenciados.
6. Desarrollar un sistema integral para el monitoreo de fuerza en equipos de labranza.

El presente trabajo se enfoca en los objetivos 3 y 4.

## **II OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Acondicionar el banco de pruebas de sembradoras para realizar el registro automático de dosificación variable vs dosificación teórica, con control automático de velocidad.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Desarrollo y verificación de la funcionalidad de un programa empleando IV, para dos unidades de siembra.

Evaluación de la eficiencia del módulo de siembra a diferentes velocidades.

## **III HIPÓTESIS**

Es posible reducir el coeficiente de variación a un porcentaje menor del 5% en el registro automático de dosificación de semillas a diferentes velocidades de siembra empleando instrumentos virtuales.

## IV REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Agricultura de Precisión

Según Ruiz (2011), la AP comenzó en los años 70, para ayudar a las piezas de artillería a apuntar a sus blancos y localizar la posición de los submarinos. Hoy en día los satélites son accesibles para asuntos civiles; sin embargo, por razones de seguridad las señales recibidas son distorsionadas, de modo que el error obtenido en la posición puede resultar inadmisibile. Por esto, para la agricultura resulta necesario un Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS), el cual corrige la distorsión de la señal, haciéndola útil para AP.

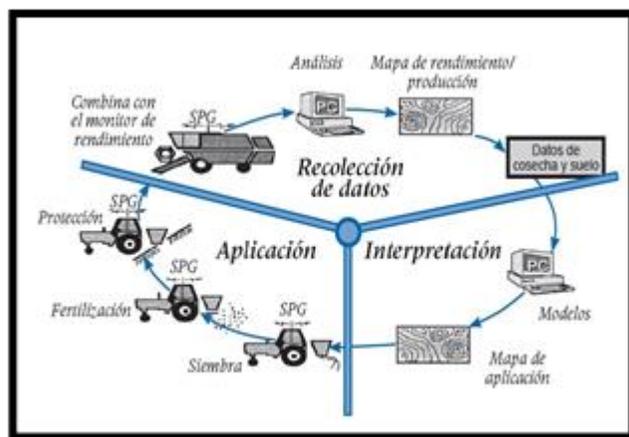
La AP es un concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de una importante variabilidad espacial a nivel de campo. La AP requiere del uso de varias herramientas tecnológicas dentro de las cuales destacan, los GPS, sensores remotos, imágenes aéreas y/o satelitales junto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

Del Campo (2005), define la AP 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 AP involucra el uso de GPS y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. La información obtenida puede usarse para implementar planes de manejo de la variabilidad. Junto con la biotecnología, la agricultura de precisión es uno de los cambios tecnológicos más importantes que ha vivido la agricultura en los últimos años.

En cambio, Maroni (2007), menciona que la AP 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.

De acuerdo con AGCO (2005), los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de AP (Figura 4.1) suelen dividir este conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes:

1. Recolección de datos.
2. Procesamiento e interpretación de la información.
3. Aplicación de insumos.



**Figura 4.1** Proceso de la agricultura de precisión.

Las etapas principales para la investigación de AP (Cuadro 4.1), son muy importantes para una buena recolección de datos, así como el análisis e interpretación de los mismos, de esta manera obtener mejores resultados para la investigación (Ortega y Flores, 1999).

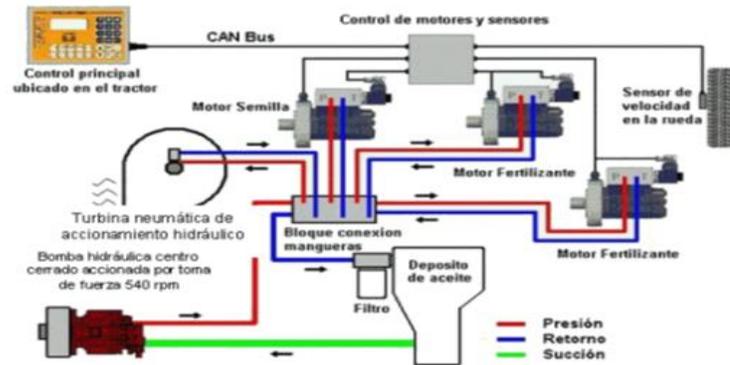
**Cuadro 4.1** Etapas de la AP para la investigación

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

Lo que hoy en día se conoce como AP, es una actividad que tiene como principales objetivos precisar 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 productor (Valdivia, 2011).

## 4.2 Definición de sistemas inteligentes

Según Reynolds (2006), un sistema inteligente es un medio capaz de almacenar situaciones para lograr un objetivo (Figura 4.2), con la capacidad de controlar si la última acción realizada fue favorable o no, es decir, cuando un sistema se sale de los parámetros previamente definidos logra identificarlo y se pueden pre-establecer o corregir. En la actualidad el uso de SIG, GPS, sensor motriz y herramientas de alto nivel tecnológico constituyen los sistemas inteligentes.



**Figura 4.2** Componentes de un sistema inteligente en equipo de siembra.

El funcionamiento de una sembradora neumática (Figura 4.2), responde a las variaciones de diagnóstico agronómico geo-posicionado dentro de un sitio específico, respondiendo a prescripciones de diferentes densidades de siembra y dosis de fertilizante, lo que significa, que una vez cargado el croquis del lote específico con sus coordenadas, se puede establecer en el lote dos o tres sitios específicos y con rendimientos potenciales muy diferentes. Esto es, que una vez cargadas las dos prescripciones de la semilla y fertilizante para cada sitio, y calibrada la sembradora, se posiciona la máquina a través de la señal de un DGPS que recibirá ambas órdenes por separado (semilla y fertilizante); es decir, por medio de dos navegadores que le enviarán la señal al controlador, y a su vez, a los dos actuadores (motores hidráulicos comandados por un sistema eléctrico que accionan válvulas controladoras de giro de los distribuidores de semilla y fertilizante). Todo ello posicionado en el lote con un metro de precisión a través de una señal DGPS en tiempo real. Al quedar geo-posicionada la sembradora en el lote, se lee la prescripción grabada y se adapta el giro de los motores

hidráulicos para entregar las semillas por hectárea programadas y el fertilizante correspondiente a cada sitio del lote (Reynolds, 2006).

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

### **4.3 Agricultura de precisión a nivel nacional y mundial**

Dentro de las estimaciones, Argentina es el segundo país más tecnificado en el sector agrícola, precedido sólo por los Estados Unidos. Según señaló Andrés Méndez (economía, 2012), técnico del INTA Manfredi, (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), tiene siete millones de hectáreas sembradas con AP, un total de 33 millones de hectáreas sembradas. También cuenta con 21.6% de esa superficie equipada con herramientas de AP, según un cálculo realizado por el INTA Manfredi -Córdoba- a partir de información relevada por la Cámara Argentina de Fabricantes de Maquinaria Agrícola (CAFMA, 2006).

Según Borghi (2014), la innovación de los productos argentinos, en lo que respecta a las herramientas de AP aplicadas a las máquinas agrícolas, han logrado un alto nivel tecnológico. En los últimos años, el crecimiento de estas herramientas fue exponencial y también se vio reflejado especialmente en los países donde se encuentran máquinas sembradoras y pulverizadoras, tales como Sudáfrica, Australia y Ucrania.

Para Norton y Swinton (2000), la AP va a ser adoptada primero en zonas de explotaciones grandes y con gran capital de inversión por hectárea. Las estadísticas de FAO (2002), muestran países como EE. UU. Canadá y Australia cumplen con esas condiciones, pero creen que hay países en vías de desarrollo cuyo promedio de producción es disminuido por explotaciones de subsistencia, que poseen regiones que cumplen las condiciones necesarias para un uso rentable de la AP.

El manejo de sitio específico tiene gran potencial en países en desarrollo como Europa Occidental, EE. UU. Canadá, Japón, Australia y Nueva Zelanda, pero el uso de tecnologías de

AP para automatizar el manejo sitio específico se limitará probablemente a zonas con producciones mecanizadas de gran escala, (Cuadro 4.2). Los patrones de adopción de la AP fuera de EE. UU. y Canadá no han sido estudiados a profundidad, pero hay indicadores de que las condiciones locales van a jugar un papel importante en la velocidad de adopción y en que componentes de la tecnología se utilicen (Norton y Swinton, 2000).

**Cuadro 4.1** Tendencias de aplicación de AP, de acuerdo con zona geográfica

Zona Geográfica	Sector productivo	Rubro
Europa (Italia Francia)	1° Cultivos industriales	Maíz, Trigo, Canola
	2° Frutales	Pomáceas - Olivos
	3° Vitícola	Viñas
	4° Hortalizas	De modo Experimental
Latinoamérica (Argentina y Brasil)	1° Cultivos industriales	Maíz, Soja, Canola, Trigo, Caña de azúcar
	2° Ganadería Bovina	Lechería
	3° Frutales	Manzano
América del Norte (EE. UU.)	1° Cultivos industriales	Maíz, Trigo, Soja
	2° Frutales	Berries, Pomáceas, Carozos, Frutos de nuez
	3° Viticultura	Viñas
Australia	1° Cultivos industriales	Trigo
	2° Viticultura	Viñas
	3° Ganadería	Ovina y bovina de carne

Es por esto por lo que el precio de todo el equipo necesario para la AP es sumamente elevado (tractor, GPS, computadora, software e instrumentos necesarios para hacer las mediciones), superando el millón de pesos. Por lo cual, en México, sólo trabajan dos tractores con esas características, uno en Chihuahua y otro en Sonora (Dávila, 2010).

#### **4.4 Funciones de una sembradora**

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

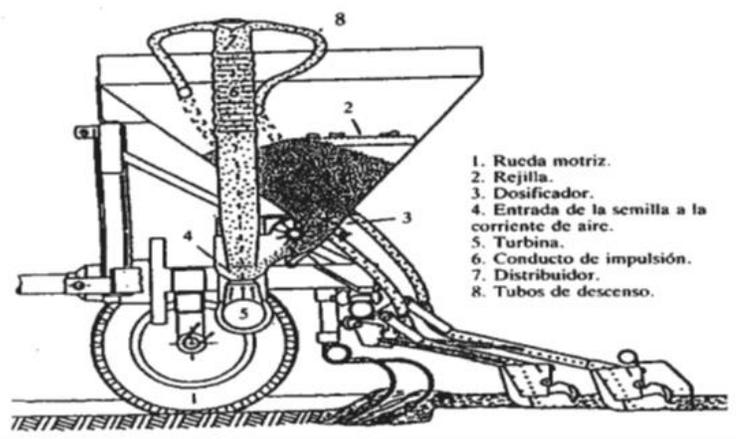
1. Abra el surco para la semilla a una determinada profundidad.
2. Mida la semilla.
3. Deposite la semilla en el surco dentro de un patrón aceptable.
4. Cubra la semilla y compacte el suelo alrededor de la semilla a un grado propio para el tipo de semilla involucrado.

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 afecten a la germinación y las labores de emergencia sean tan favorables como sea posible (Ortiz, 1989).

#### **4.5 Componentes de una sembradora de precisión**

Las partes de una sembradora de precisión como la que se muestra en la (Figura 4.5), son las siguientes (Ortiz, 1989):

1. Bastidor
2. Discos cortadores de residuo
3. Abridor de surcos
4. Dosificador de semilla
5. Dosificador de fertilizante
6. Tapadores de surcos
7. Transmisión
8. Sensores de dosificación
9. Turbina



**Figura 4.3** Componentes de una sembradora neumática.

#### 4.6 Siembra de precisión

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

1. Las semillas deben de ser de tamaño uniforme y forma preferiblemente esférica.
2. 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.
3. Las semillas deben tener tiempo suficiente para entrar en las celdas, para lo cual es importante la velocidad periférica del plato.
4. 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.
5. Debe existir un sistema positivo de inyección de las semillas de modo que las obligue a caer por el tubo de salida.
6. El tubo de caída debe ser de diámetro pequeño, liso, recto y debe terminar en la proximidad del fondo del surco, con el objeto de que no se retrase la semilla durante la caída. Así, sembrando a una velocidad de  $5 \text{ km h}^{-1}$  con un espacio de 5 cm, si una semilla se retrasa  $1/30$  de segundo al caer, será alcanzada por la semilla siguiente.
7. Las semillas deben situarse a la profundidad adecuada y no deben desviarse por rebote o rodar en el surco.

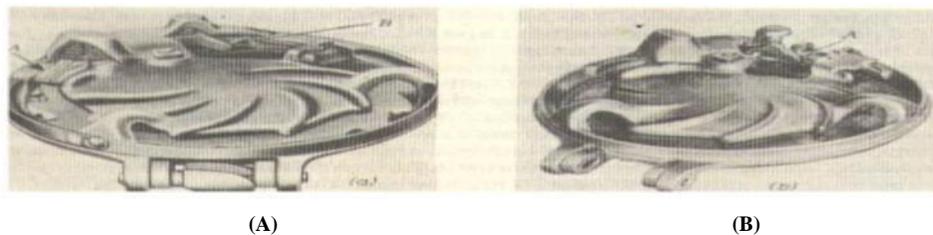
## 4.7 Mecanismos de medición de semillas

Según Kepner (1978) los mecanismos de medición de semillas se clasifican en:

- a) Con plato horizontal
- b) Con plato inclinado
- c) Con plato vertical
- d) Con celdas en una banda
- e) Con celdas circunferenciales
- f) Neumático con ranuras
- g) Por dosificación al vacío

### 4.7.1 Mecanismo de medición con plato horizontal

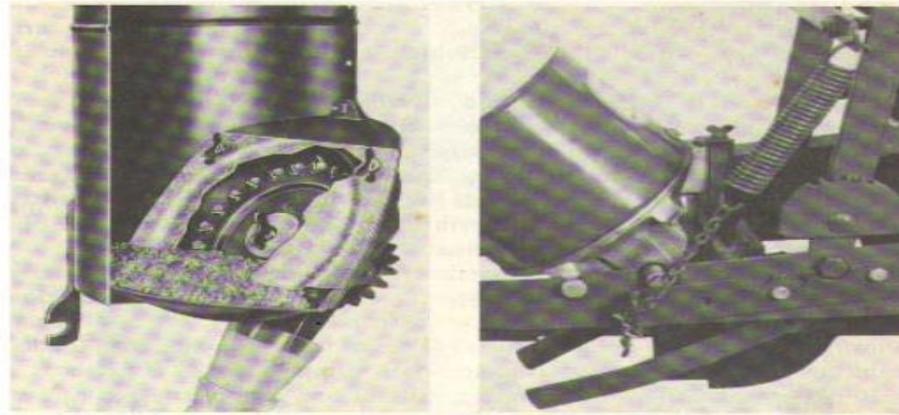
Existen dos tipos de platos que son de fondo con celdas en el borde y de caída en la orilla, éstos se muestran en la Figura 4.4 (Kepner, 1978). Es el que más se utiliza para semillas de grueso calibre tales como maíz y garbanzo; ya que la precisión en estos casos puede considerarse aceptable. Sin embargo, dada la forma de alimentación ha de adaptarse perfectamente el alojamiento a la forma de la semilla.



**Figura 4.4** Fondo de las tolvas de semillas para sembradoras de plato horizontal. (A) plato de caída en la orilla para maíz, (B) plato apropiado para siembra de precisión de remolacha azucarera o semillas recubiertas.

#### 4.7.2 Mecanismo de medición con plato inclinado

Otro tipo de sistema de medición que se usa en platos semilleros es el tipo plato inclinado ilustrado en la Figura 4.5. La alimentación es lateral donde las semillas se recogen desde la parte inferior de la tolva siendo descargadas bien por la parte superior, o bien en un segundo plato paralelo al interior que las conduce justo hasta la zona de descarga situado bajo la tolva. Los distribuidores de plato inclinado son sensibles a la caída de las semillas a la tolva, una vez alimentados, por efecto de las vibraciones producidas en el cuerpo de la siembra. La altura de caída varía entre 10 y 30 cm, según si la descarga es por abajo o por arriba (Ortiz, 1989).



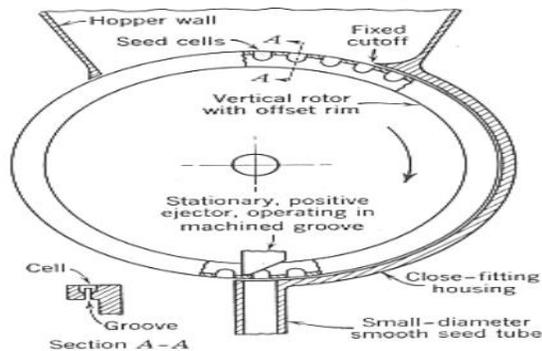
(A)

(B)

**Figura 4.5** Mecanismo de medición de semillas. (A) mecanismo de medición de semillas de plato inclinado; (B) Mecanismo de medición de semillas de plato inclinado diseñado para siembra de precisión de pequeñas semillas vegetales.

### 4.7.3 Mecanismo de medición con plato vertical

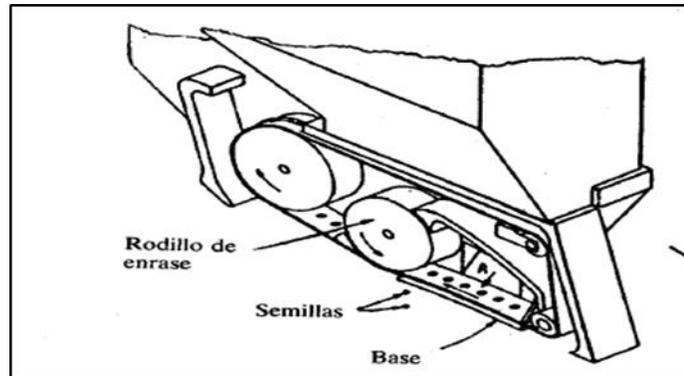
Los mecanismos de medición con rotación vertical del tipo mostrado en la Figura 4.6 son usados con frecuencia en siembras precisas de vegetales y remolacha azucarera, como lo menciona Kepner (1978). Mejor que disco, cabría hablar de tambor estrecho de 2 a 4 cm de espesor en cuyo lomo se disponen los alojamientos de las semillas. Éstos pueden disponerse sobre la superficie exterior en hilera simple o doble alternada. Este segundo caso posibilita duplicar el número de alojamientos, aumentar el tiempo de alimentación o mejorar el coeficiente de llenado. Dada la reducida altura de descarga, menor de 10 cm, se mejora notablemente la precisión; sin embargo, son más caras que las anteriormente mencionadas. El diámetro de los platos puede llegar a los 50 cm. (Ortiz, 1989).



**Figura 4.6** Mecanismo de medición de semilla con rotación vertical.

#### 4.7.4 Mecanismo de medición con celdas en una banda

Este tipo de mecanismo preciso de medición tiene celdas en una banda, ajustadas a las semillas (Figura 4.7). Las semillas llegan desde un depósito y entran a la cámara por arriba de la banda por medio de la apertura A, y son mantenidas en un nivel controlado (Kepner, 1978).

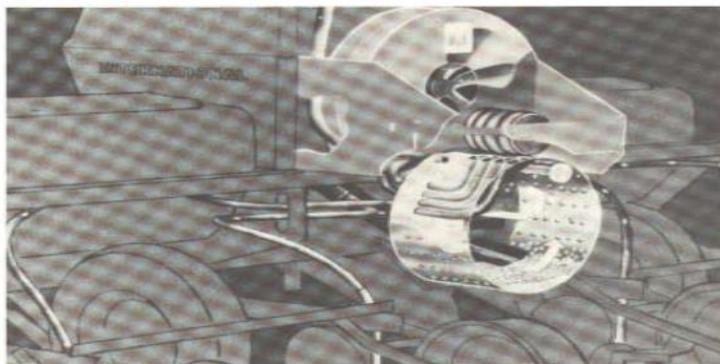


**Figura 4.7** Mecanismo tipo banda de medición de semilla.

Como la banda gira en sentido de las manecillas del reloj, el botador de semillas que también gira, retira las semillas en exceso, teniendo una semilla en cada celda. Las semillas que están en las celdas son transportadas sobre la base y son descargadas por la parte inferior de la banda en la rueda repelente de semillas. La falta de estos mecanismos repelentes de excesos de semillas causa variabilidad en el espaciamiento de las semillas.

#### 4.7.5 Mecanismo de medición neumática con celdas circunferenciales

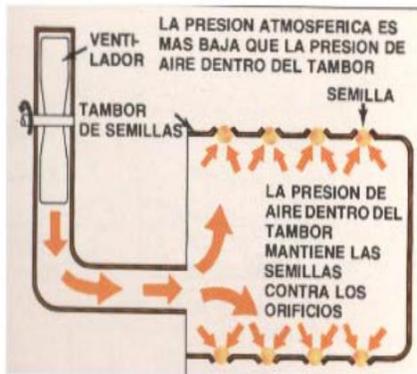
El sistema de medición neumática (Figura 4.8) (aire a presión) dispone de un depósito centralizado y unidades de medición que abarcan 4, 6 u 8 hileras. (Kepner, 1978). El tambor de semillas tiene una hilera de celdas circunferenciales de semillas por unidad de sembradora en hilera. Es requerido un soplador para abastecer de aire al tambor, manteniendo una presión alrededor de 4 kPa (0.6 psi) en el tambor, el aire fluye a través de las celdas de semillas hasta que una semilla ocupa este lugar.



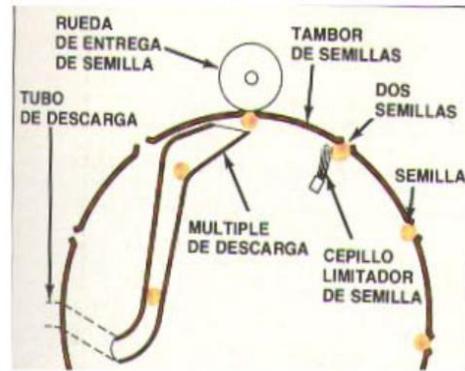
**Figura 4.8** Mecanismo de medición de semilla neumática y sistema de distribución diseñado para grano como maíz, frijol y sorgo.

Debido a la existente presión diferencial cada semilla se mantiene en la celda a medida que el tambor gira hasta pasar por un cepillo estacionario posicionado cerca de la parte superior, en donde se retiran excesos de semilla.

Las ruedas bloqueadoras de aire colocadas en la parte superior del tambor tapan momentáneamente las celdas, provocando que las semillas caigan en el tubo de semillas. El flujo de aire a través de los tubos las conduce a sus unidades respectivas de siembra y las deposita en los surcos. Este sistema está diseñado para semillas tales como el maíz, fríjol, granos de sorgo, empleando un tambor diferente para cada tipo de semilla. En la Figura 4.9 se muestra cómo funciona el sistema de medición neumática (aire a presión) con celdas circunferenciales y en la Figura 4.10 se ilustra cómo funciona el cepillo limitador y el mecanismo de entrega de semillas.



**Figura 4.9** El aire presurizado mantiene las semillas en los orificios.

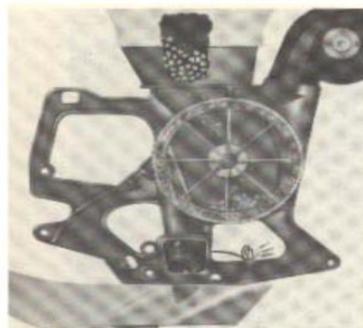


**Figura 4.10** Limitador de semilla y mecanismo de entrega (medidor presurizado).

#### 4.7.6 Mecanismo de medición neumático con ranuras

El principio neumático es también utilizado para mecanismos de medición en surcos. Se necesitan pequeños sopladores manejados por motores eléctricos conectados al sistema eléctrico del tractor, y que proporcionen aire a presión a la cámara de medición (Kepner, 1978).

Las semillas sostenidas contra las ranuras son levantadas y transportadas en dirección contraria a las manecillas del reloj en la unidad mostrada en la Figura 4.11. Éstas son liberadas en el tubo de semillas cuando las ranuras pasan una trampa que bloquea la presión del aire al interior de la porción frontal del rotor. Diferentes discos giratorios son usados para diferentes tipos de semillas.

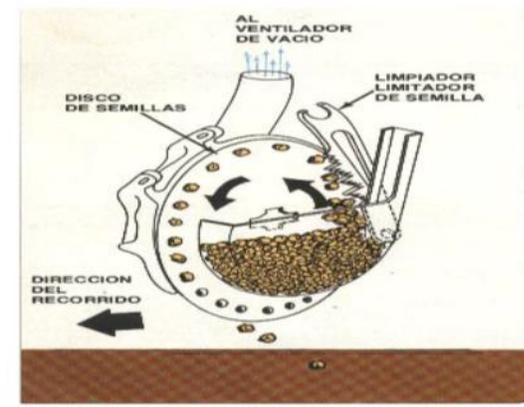


**Figura 4.11** Mecanismo de medición para hileras.

#### 4.7.7 Mecanismo de medición por dosificación al vacío

Un gran número de mecanismos de medición de semillas empleando el principio del vacío han sido desarrollados experimentalmente y al menos un fabricante contaba con una sembradora con el mecanismo de vacío en el año de 1977. Muchos de estos mecanismos tienen una bomba central de vacío con regulación a cada unidad succionadora, cada unidad cuenta con su respectiva cámara de vacío y el plato giratorio para evitar fugas de aire.

Las semillas al ser succionadas en contra de las celdas del plato giratorio se mantienen en ellas hasta llegar a un punto donde el sello de vacío termina, y debido a la diferencia de presión existente entre la recámara de vacío y la presión atmosférica, las semillas caen hacia el fondo del surco por gravedad. En la Figura 4.12 se ilustra el principio de operación del sistema de medición por dosificación al vacío.



**Figura 4.12** Corte transversal de unidad de disco medidor al vacío.

#### 4.8 Factores que afectan el llenado de celdas y daño en las semillas

El porcentaje de llenado de las celdas para una sembradora dada está influenciado por factores tales como: el tamaño máximo de las semillas en relación con el tamaño de la celda, el rango de tamaño de la semilla, la forma de éstas, 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 con 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 del 100% de llenado promedio de las celdas.

$$\% .de.llenado.de.celda = \frac{semillas.reales}{semillas.ideales} * 100$$

#### **4.9 Beneficios de la siembra de precisión**

1. Ahorro de semillas.
2. Exactitud en la superficie unitaria de las plantas para una productividad óptima.
3. Mayor facilidad para realizar labores de cultivo mecanizados.
4. Disminuciones de la faena de escarda a aclareo.
5. Siembra a distancia definitiva.
6. Óptimas condiciones para recolección (Kepner, 1978).

#### **4.10 Pruebas y evaluación**

Albarran (2004), menciona que las pruebas y evaluación que se deben realizar a las sembradoras mecánicas y neumáticas se deben llevar a cabo bajo las instrucciones y procedimientos establecidos por el CENEMA y la Norma Mexicana NMX-O-168-SCFI-2009 establecida por el OCIMA.

Jiménez (1987), muestra varios parámetros para la evaluación de sembradoras dividiéndolos en los laboratorios.

- I. Pruebas de Laboratorio
  1. Calibración
  2. Daño de la semilla
  3. Clasificación de la semilla
  4. Uniformidad del espaciamiento de la semilla
- II. Pruebas de campo
  1. Calidad de trabajo
  2. Rango de trabajo
  3. Facilidad de operación y ajuste

Santos (1996), en su trabajo sobre la evaluación de una sembradora de hortalizas, nos indica que esta se lleva a cabo considerando los aspectos siguientes:

1. La durabilidad de la máquina.
2. Dosificación de la semilla.
3. Distribución de la semilla.
4. Efecto de la cantidad de semilla.
5. Daño de la semilla.
6. Compactación de la siembra.
7. Eficiencia de germinación.
8. Calibración de la máquina.

#### **4.11 Variabilidad**

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

El manejo de cultivos por sitio específico asume que la variabilidad existente en propiedades del suelo influye en el rendimiento de los cultivos. La fertilización se realiza habitualmente con aplicaciones en forma uniforme dentro de los lotes y la variabilidad natural o adquirida de la fertilidad del suelo y/o en la productividad del sitio causa que las dosis aplicadas sean excesivas o insuficientes (Fiez *et al.*, 1995).

Dentro de un campo de cultivo con manejo agronómico homogéneo, la variabilidad de las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo usualmente conduce a diferencias en el crecimiento y desarrollo de las plantas, y por ende en el rendimiento del cultivo (Srinivasan, 2006; Rodríguez *et al.*, 2008).

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

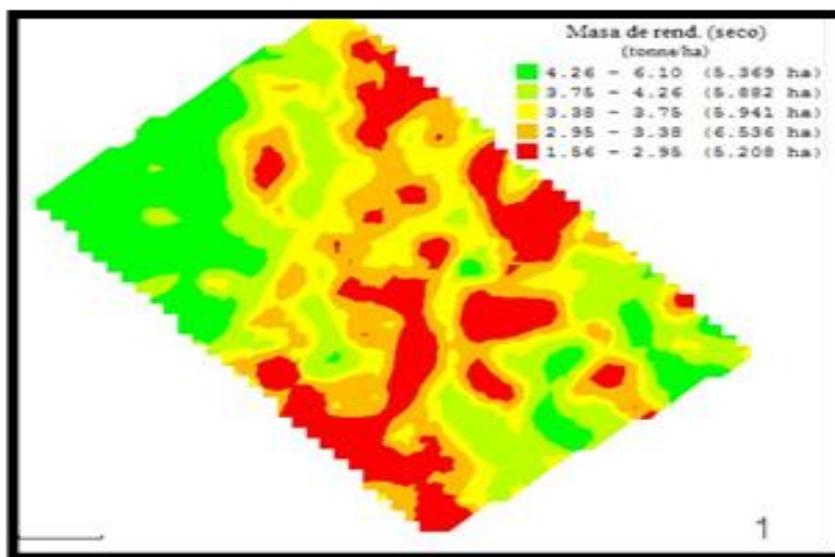
Además, dentro de la agricultura de precisión, Blackmore (2003) ha identificado tres tipos de variabilidad los cuales son los más representativos para la implementación de esta nueva tecnología.

1. La variabilidad espacial que puede ser vista de manera sencilla como los cambios que se presentan en un lote de tierra.
2. La variabilidad temporal, la cual se refiere a la forma diferencial en la que actúa el tiempo con respecto al cultivo en sus diferentes fases (crecimiento, desarrollo, producción).
3. La variación predictiva la cual se centra en explicar la forma en que varía los resultados producción real en el cultivo.

#### **4.12 Mapas de rendimiento**

Los Mapas de Rendimiento (MR) son imágenes geo-referenciadas con una escala de colores que indican el rendimiento de un punto en específico (Figura 4.12). Por lo general, son desarrollados por científicos y especialistas de la agricultura, donde los interesados (agricultores y productores) deben pagar un precio alto para obtenerlos. Los MR son entradas para el proceso de aplicación de dosis variable (DV) de los distintos químicos que necesita un cultivo (fertilizantes, herbicidas, riegos, etc.). Las cosechadoras, fertilizadoras, y otras

maquinarias, necesitan de la instalación de un Computador de Abordo para el control y monitoreo, también es válido el uso de sensores de flujos para medir y registrar el rendimiento puntual (Lago, 2011).



**Figura 4.13** Mapa de rendimiento.

#### **4.13 Dosis variable**

La dosificación variable de insumos es una herramienta que permite variar la cantidad de semillas y fertilizante en tiempo real en función de las características del suelo y del rendimiento del cultivo o de los cultivos antecesores. De esta manera, al realizar una aplicación variable de insumos se optimizan los recursos y preserva el medio ambiente, con el objetivo de lograr una mejor sustentabilidad agropecuaria (Torres 2014).

La Tecnología de Dosificación Variable (VRT) posibilita realizar los cambios de dosis y densidades en tiempo real siguiendo prescripciones o recomendaciones que son cargadas previamente en monitores de máquinas inteligentes. La aplicación variable de insumos siguiendo una prescripción agronómica puede realizarse en forma automática con el uso del GPS o en forma manual por medio de un operario conocedor de la variabilidad espacial del lote.

Koch *et al.*, (2004) establece que el potencial de mejora de la rentabilidad debido a la aplicación variable de insumos depende de una correcta toma de decisión en la dosis a aplicar y se debe partir de un correcto diagnóstico, para lo cual es necesario seguir la siguiente serie de pasos fundamentales:

1. Delimitación de las zonas de manejo.
2. Programación del muestro con GPS (por zonas).
3. Muestreo de suelo.
4. Análisis fisicoquímico de las muestras.
5. Determinación del rendimiento objetivo basado en experiencias anteriores.
6. Recomendaciones de manejo de insumos según zonas.

La idea es relativamente simple, comienza con información oportuna y precisa; por ejemplo, varios años de mapas de rendimiento, datos de análisis de suelo, ubicación de infestación de malezas, etc. Se realiza un mapa de prescripción utilizando un software GIS, y el aplicador variable acoplado a un DGPS aplica la dosis correcta de semilla, herbicida o fertilizante exactamente donde se necesita y al mismo tiempo se está cuidando del medio ambiente. En la UAAAN se han realizado, a nivel de tesis de licenciatura, varios trabajos relacionados al tema de Instrumentación y Evaluación de un Banco de Dosificación de Semillas. Éstas comparten el mismo objetivo general respecto a la optimización de recursos con AP, y se menciona en algunas tesis tales como Enciso 2016; Torres 2014; Pérez, 2012; Rosaliano, 2012 y Méndez, 2012.

## V MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS

### 5.1 Ubicación del lugar de investigación

El presente trabajo se realizó dentro de las instalaciones del Laboratorio de Prototipos para Agricultura de Precisión (Figura 5.1) del Departamento de Maquinaria Agrícola perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Llevándose a cabo la instrumentación de un sistema inteligente de dosificación neumática de semilla de la marca *Precision Planting* en tiempo real durante el periodo 2016-2017.



**Figura 5.1** Laboratorio de Prototipos para Agricultura de Precisión.

### 5.2 Materiales

Los materiales usados para el desarrollo del proyecto son los siguientes:

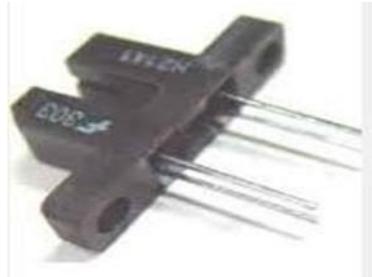
- Microcontrolador PIC16F84

Con memoria tipo Flash lo que permite que sea reprogramado, compuesto de 18 pines, 13 pines de E/S 5 de puerto A y 8 del puerto B, utiliza un oscilador de cristal de 4 MHz, cuenta con una Memoria de Programación serial de 1024 registros, 128 posiciones de memoria RAM de 8 bits cada una y 64 posiciones de memoria EEPROM de 8 bits cada una (Figura 5.2).



**Figura 5.2** Microcontrolador PIC16F84.

- Sensor opto electrónico (Figura 5.3), para la construcción de los sensores.



**Figura 5.3** Sensor opto electrónico de barrera H21A1.

- Para la evaluación se utilizó semilla de frijol.
- Herramientas y componentes electrónicos, utilizados en la construcción del hardware (creación y acondicionamiento de tarjetas electrónicas).
- Para el acondicionamiento del prototipo de banco de pruebas de dosificación de semilla se utilizó el taller de máquinas y herramientas del Departamento de Maquinaria Agrícola (Figura 5.4), el cual consta de las herramientas necesarias para la manufactura.



**Figura 5.4** Taller de máquinas y herramientas.

## 5.3 Equipo

### 5.3.1 Banco de pruebas

El prototipo utilizado en la evaluación se encuentra ensamblado a un chasis un motor-reductor, dos sistemas de dosificador neumático: *Max Emerge 7200* y *Precision Planting* (Figura 5.5).



**Figura 5.5** Banco de Pruebas.

### 5.3.2 Sensor de semilla real

Sensor opto electrónico de barrera H21A1: para medir pulsos, que detecta la señal analógica y la envía al microcontrolador. Sensor de semilla real (tipo comercial marca John Deere) para los sistemas dosificados mecánico y neumático (Figura 5.6).



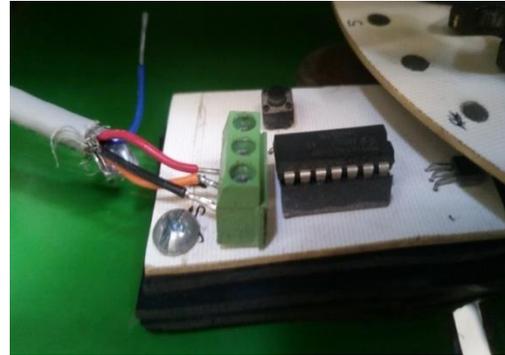
**Figura 5.6** Sensor de semilla real.

### 5.3.3 Sensores de semillas ideales

Este sensor es acoplado a un disco metálico el cual tiene 30 perforaciones al igual que el plano dosificador de la sembradora, esto con el fin de tener un conteo de semilla reales y un sensor de semillas ideales que indica la cantidad exacta de semillas que deberían de caer y así poder contrastar (figuras 5.7 y 5.8).



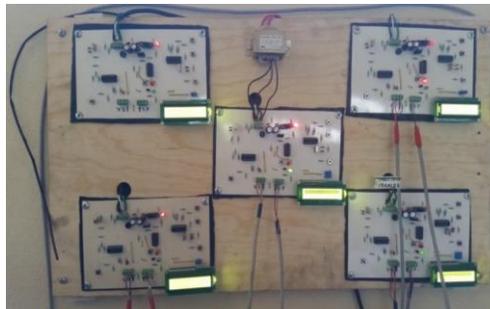
**Figura 5.7** Sensor de efecto Hall.



**Figura 5.8** Sensor opto-electrónico.

### 5.3.4 Tarjetas electrónicas

Con la finalidad de contar los pulsos de la caída de semillas y evitar el efecto de rebotes ideales del simulador provenientes del plato dosificador mecánico y las revoluciones por minuto del motorreductor, se realizó la réplica de cuatro tarjetas electrónicas y una adicional de respaldo (Figura 5.9) las cuales fueron diseñadas en la UAAAN por (Méndez, 2012).



**Figura 5.9** Tarjetas electrónicas.

### 5.3.5 Tarjeta de adquisición de datos (Figura 5.10) National Instrument (NI PCIe-6321 Adquisición de Datos de serie X)

- 16 entradas analógicas,  $250 \text{ kS s}^{-1}$ , resolución de 16 bits,  $\pm 10 \text{ V}$
- 2 salidas analógicas,  $900 \text{ kS s}^{-1}$ , resolución de 16 bits,  $\pm 10 \text{ V}$
- 24 líneas de E/S digital (8 temporizadas por hardware hasta 1 MHz)
- 4 contadores/temporizadores de 32 bits para PWM, codificador, contar eventos y más.
- Temporización y disparo avanzados con la tecnología NI-STC3 de temporización y sincronización.



**Figura 5.10** Tarjeta de adquisición de datos.

### 5.3.6 Bloque conector – Terminales de tornillo SCB-68 (M serial and x serial Devices)

El SCB-68A es un bloque conector de E/S blindado para realizar interfaz de señales de E/S a dispositivos DAQ insertables con conectores de 68 pines. En combinación con los cables blindados, el SCB-68A brinda terminación de señal robusta con muy poco ruido. Es compatible con dispositivos DAQ de uno y de dos conectores de la Serie X y la Serie M con conectores de 68 pines. El bloque conector es también compatible con la mayoría de los dispositivos DAQ de la Serie E, B, S y R; y el SCB-68A (Figura 5.11).



**Figura 5.11** Bloque conector.

### 5.3.7 Variador de frecuencia

Marca Fuji AF-300 G11, este variador permite enviar velocidad en Hertz al motorreductor para iniciar la transmisión de los sistemas dosificadores del banco de pruebas (Figura 5.12)



**Figura 5.12** Variador de frecuencia.

### 5.3.8 Programador PICkit2

El programador PICkit2 fue utilizado para grabar los retardos en la memoria del PIC16F84A (Figura 5.13).



**Figura 5.13** Programador PICkit2.

### 5.3.9 Bombas de vacío

Aspiradora RIDGID WD1270 profesional de polvo y agua de 5 HP y capacidad de 45 litros (Figura 5.14).



**Figura 5.14** Unidad de vacío (RIDGID).

Aspiradora STINGER WD05250 para polvo y agua de 5.0 GAL/18 litros (Figura 5.15).



**Figura 5.15** Unidad de vacío (STINGER).

### 5.3.10 Vacuómetro

Unidad de medición de presión diferencial MAGNEHELIC para aire y gases no combustibles de 30 pulgadas de agua de vacío (Figura 5.16).



**Figura 5.16** Unidad de medición de presión diferencial.

### 5.3.11 Computadora personal

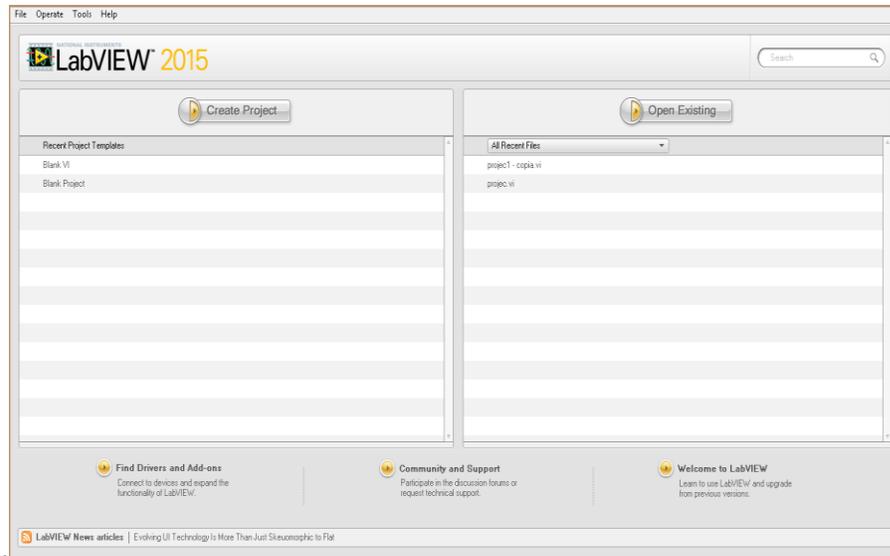
Computadora personal marca Lanix Titan 4040 con sistema operativo XP, pantalla de 15 pulgadas, quemador de DVD y CD con regulador de voltaje, procesador Intel de 1.60 GHz, memoria RAM de 2 GB y memoria de disco duro de 160 GB (Figura 5.17).



**Figura 5.17** Computadora Lanix Titan.

### 5.3.12 Software LabVIEW2015

Los programas desarrollados con LabVIEW2015 (Figura 5.18) se denominan Instrumentos Virtuales o VI. Es el software que nos permite desarrollar el programa virtual y tener comunicación con la Tarjeta de adquisición de datos National Instruments (NI PCIe-6321 Adquisición de Datos de serie X).



**Figura 5.18** Software de LabVIEW2015.

## 5.4 Metodología

Metodología general para alcanzar los objetivos se describe en el siguiente diagrama de bloques:

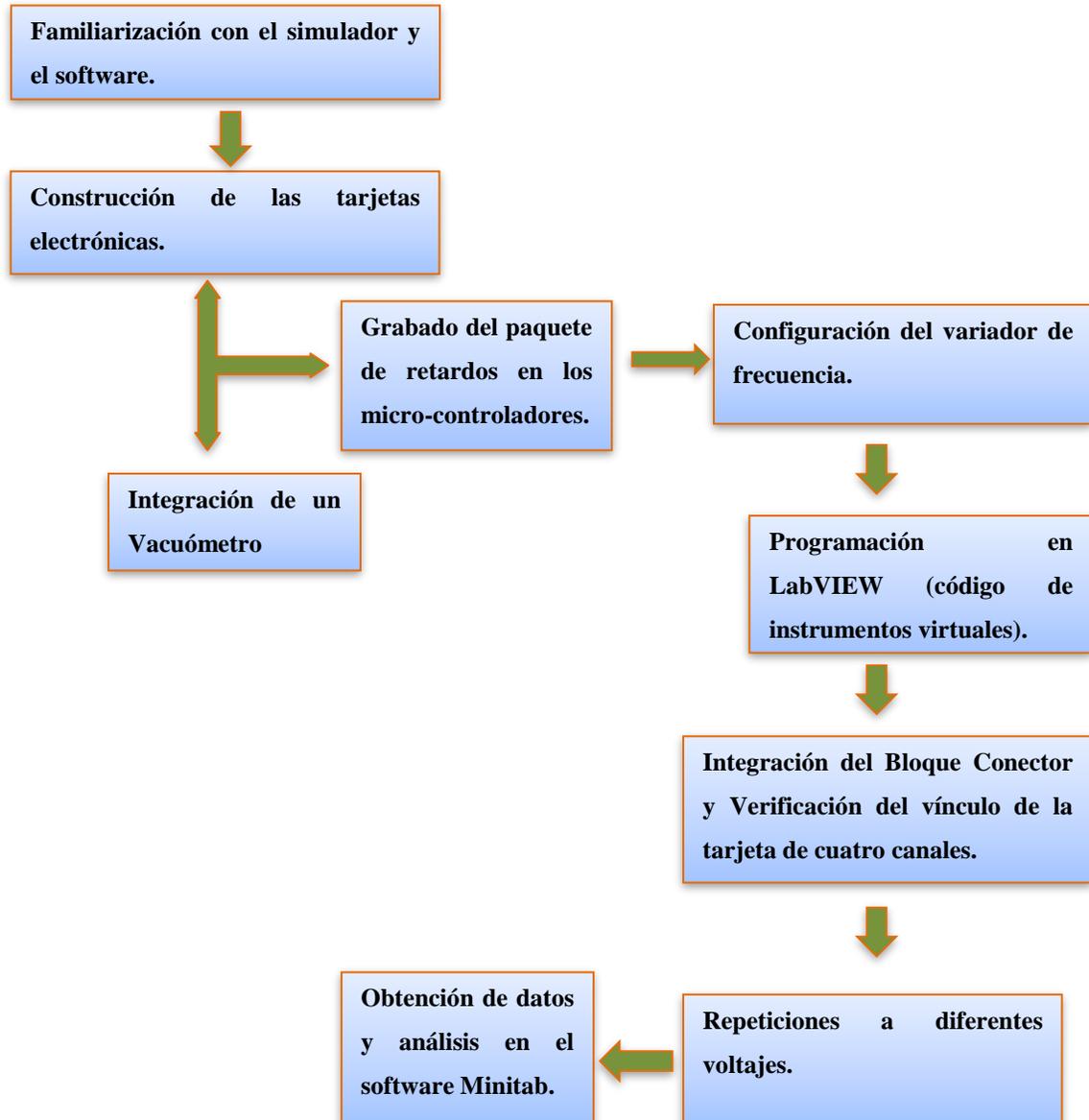


Figura 5.19 Metodología General.

#### **5.4.1 Familiarización con el simulador y los programas a utilizar**

Para conocer el funcionamiento correcto, el uso adecuado del simulador y no tener accidentes se estudió el funcionamiento detallado del sistema y cada una de sus partes, se puso en funcionamiento el simulador y se realizaron algunas pruebas esto con la finalidad de detectar imperfecciones en el sistema para posteriormente corregirlas. Además de familiarizarse con los diferentes softwares (LabVIEW2015, MPLab2008, Minitab2017, PICKit2, etc.)

#### **5.4.2 Construcción de las tarjetas electrónicas**

Con la finalidad de tener un mejor interfaz para registrar los datos se realizó la construcción de cuatro tarjetas electrónicas rediseñadas por Torres (2014). Así también se retiró de la configuración de las tarjetas electrónicas el diodo zener, siendo remplazado por un puente.

#### **5.4.3 Integración de un vacuómetro**

Se acoplo un vacuómetro de 30 pulgadas de agua en el módulo *Precision Planting* para poder regular el vacío de dicho módulo, que es requerido en la evaluación y poder realizar de forma simultánea y contrastar los datos en tiempo real de los dos módulos.

#### **5.4.4 Grabado del programa retardos en los micro-controladores**

Se realizó el ensamble del paquete en cada controlador PIC 16F84A empleando el lenguaje del Programador PICKit2.

Siguiendo los pasos podemos verificar la eficiencia del grabado.

1. Gravado del Micro-controlador en el quemador PICKit2.
2. Integración del Micro-controlador a la tarjeta.
3. Repeticiones en laboratorio para verificación.
4. Montar el sistema.

### **5.4.5 Configuración del variador de frecuencia**

#### Procedimientos de cableado

1. Conecte siempre la alimentación a las terminales L1/R, L2/S, y L3/T del circuito de alimentación principal. Conectando la alimentación a otra terminal dañará el variador. Compruebe que el voltaje de alimentación esté dentro del rango de voltaje máximo admisible indicado en la placa de características.
2. Conecte siempre a tierra el terminal de tierra para prevenir desastres tales como incendios o descargas eléctricas y para reducir el ruido al mínimo.
3. Use una terminal para engastar a fin de proporcionar mayor fiabilidad al cableado.
4. Una vez terminado el cableado, compruebe lo siguiente:
  - a) Que la conexión sea correcta.
  - b) Que se hayan hecho todas las conexiones necesarias.
  - c) Que entre terminales y cables no haya ningún cortocircuito o fallo.

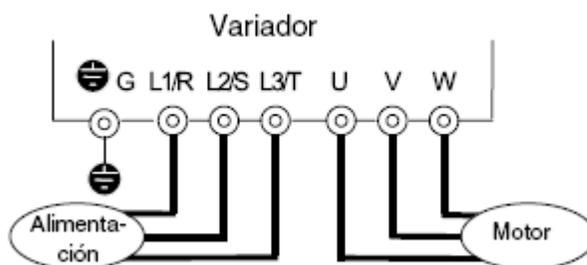
Función de los terminales del circuito principal y de los terminales de tierra.

Símbolo	Nombre del terminal	Descripción
L1/R, L2/S, L3/T	Terminal de alimentación del circuito principal	Conecta una fuente de alimentación trifásica.
U, V, W	Terminal de salida de variador	Conecta un motor trifásico.
R0, T0	Terminal de control auxiliar de entrada de alimentación	Conecta al circuito principal una fuente de alimentación AC alternativa. (No valido para variadores de 0,75 kW o inferior)
P1, P(+)	Terminal de conexión de la reactancia DC	Conecta la reactancia DC correctora del factor de potencia (opcional).
P(+), DB	Terminal de conexión de resistencia de frenado externa	Conecta la resistencia de frenado externa (opcional). (Para variadores de 7,5 kW o superior)
P(+), N(-)	Terminal del bus de CC.	Provee a la unidad de frenado externa (opcional) o a la unidad de regeneración a red (opcional) el voltaje del circuito de CC.
 G	Terminal de tierra del variador	Conectar el chasis (caja) del variador a tierra.

**Figura 5.20** Funciones de terminales eléctricas.

Compruebe lo siguiente antes del funcionamiento:

1. Compruebe que la conexión sea correcta. En particular, verifique que la fuente de alimentación no esté conectada a ninguno de los terminales de salida U, V, y W; y que el terminal de tierra esté conectado a una tierra segura (Figura 5.21).



**Figura 5.21** Conexión del variador.

2. Compruebe que no haya cortocircuitos conexiones accidentales a tierra entre las terminales y las secciones con tensión.
3. Compruebe que las terminales, lo conectores o los tornillos no estén flojos.
4. Compruebe que el motor y el equipamiento mecánico estén separados.
5. Desconecte los interruptores antes de conectar la alimentación para asegurar que el variador no arranque o funcione incorrectamente al conectarlo.

Compruebe lo siguiente después de conectar la alimentación:

- a) Compruebe que en el teclado no se indique ninguna alarma (Figura 5.22).
- b) Compruebe que el ventilador en el variador esté girando. (Variadores de 1.5 kW o superior).



**Figura 5.22** Display en el teclado al conectar la alimentación.

### 5.4.6 Programación en LabVIEW2015

Para el desarrollo del programa se realizaron una serie de operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división). Los instrumentos virtuales se desarrollaron tomando como base los códigos existentes realizados por Torres (2014). Fue necesario realizar diferentes programas elementales hasta obtener el código que nos ayude a registrar datos de los dos módulos. En la Figura 5.23 podemos conocer la lógica de LabVIEW2015.

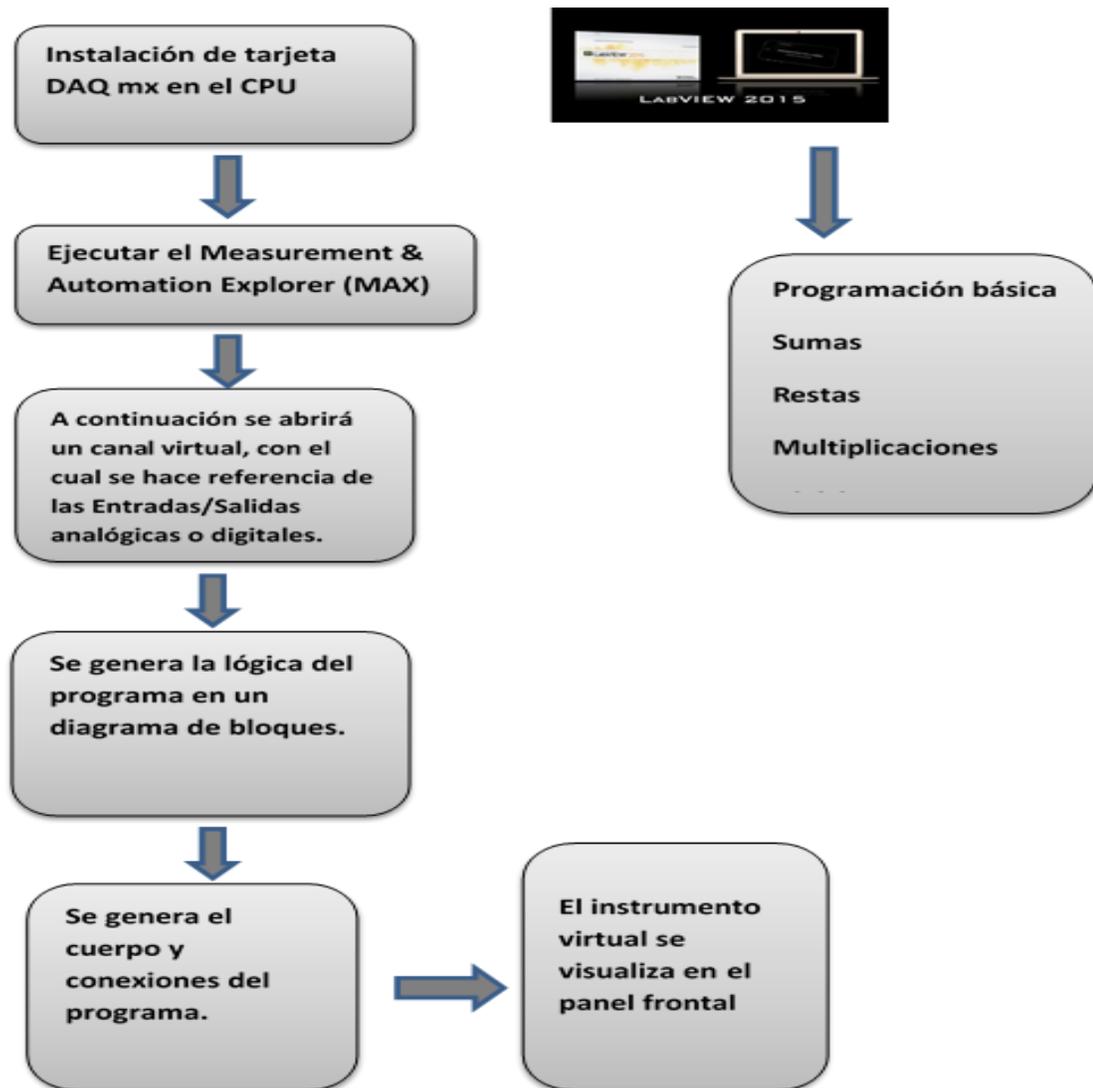


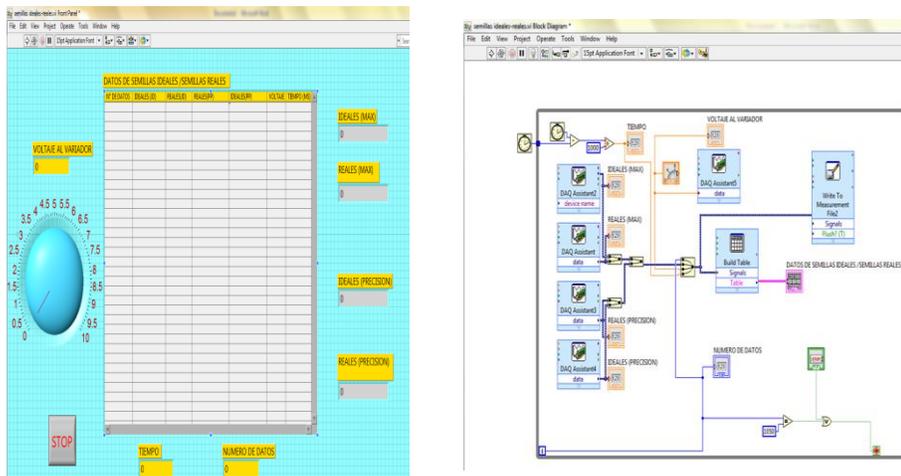
Figura 5.23 Programación en LabVIEW2015.

En la metodología seguida en la Figura 5.23 se diseñó un código de instrumentos virtuales en el cual contiene:

- Registro de frecuencia.
- Registro de cantidad de semillas.
- Control de velocidad del motor a través del variador de frecuencia.

En LabVIEW2015, se desarrollaron una serie de programas que nos permiten recibir señales a través de una tarjeta de adquisición de datos NI-PCI6321, la cual es el medio de comunicación externa que tiene el ambiente de programación Lobbies, el programa o (IV), como se le conoce en este lenguaje de programación tiene como finalidad mostrar la frecuencia que nos envía la tarjeta, mostrar en forma numérica el conteo, el cual es enviado por los sensores opto-electrónicos y de efecto Hall, como una señal digital. El código diseñado fue semillas ideales-reales. Registro de frecuencia, cantidad de semilla y control de voltaje través del variador.

En la Figura 5.24 se muestra el programa Semillas Ideales vs Reales contador, de frecuencia, de semilla y control de voltaje al variador, en el panel frontal a la izquierda, se visualiza el registro del contador de semillas, tiempo, el voltaje al variador.



**Figura 5.24** Semillas ideales-reales, contador de frecuencia, semilla y control de voltaje al variador.

En la parte derecha se muestra el diagrama de bloques donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesado de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos; el programa está compuesto por cinco DAQ Assistant, seis indicadores numéricos, un control numérico (número de datos), un Write To Measurement File y un Build Table.

El DAQ assistant1 sirve para adquirir comunicación externa, con la ayuda de la tarjeta NP-CI 6321 y un bloque conector; está configurado para contar la frecuencia (ver Anexo A).

### 5.4.7 Integración del Bloque Conector y Verificación del vínculo de la tarjeta de cuatro canales

El acoplamiento del Bloque Conector con los IV es para realizar la interfaz de la tarjeta de cuatro canales y los componentes que integran los módulos. En la Figura 5.25 se muestra el proceso de verificación y vínculo de cada componente (ver Anexo B).

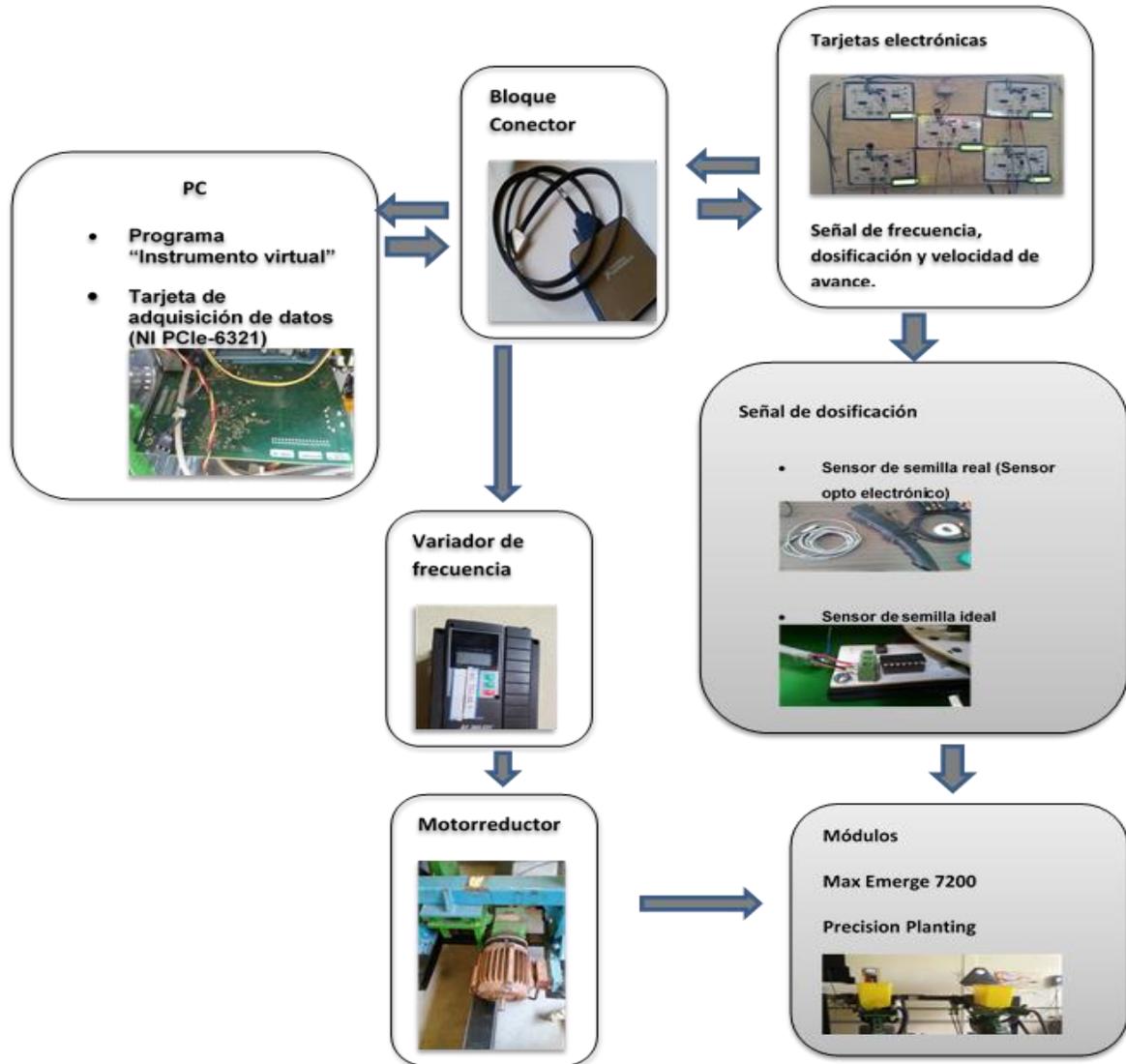


Figura 5.25 Vínculo de componentes.

#### **5.4.8 Repeticiones a diferentes voltajes**

Se realizaron repeticiones en laboratorio a 5 diferentes voltajes (1.5, 2.5, 3.5, 4.5) para obtener la confiabilidad de dosificación de cada módulo (ver Anexo A).

##### **Módulo John Deere**

- 5 repeticiones de 1000 semillas Ideales, cada repetición de 4 rangos de diferentes voltajes (1.5 V- 136 semillas  $\text{min}^{-1}$ , 2.5 V- 374 semillas  $\text{min}^{-1}$ , 3.5 V- 611 semillas  $\text{min}^{-1}$ , 4.5 V- 848 semillas  $\text{min}^{-1}$ ).

##### **Módulo Precision Planting**

- 5 repeticiones de 1000 semillas Ideales, cada repetición de 4 rangos de diferentes voltajes (1.5 V- 136 semillas  $\text{min}^{-1}$ , 2.5 V-374 semillas  $\text{min}^{-1}$ , 3.5 V- 594 semillas  $\text{min}^{-1}$ , 4.5 V- 702 semillas  $\text{min}^{-1}$ ).

#### **5.4.9 Obtención de datos y análisis en el software Minitab 17**

Obtenidos los registros de datos se realizarán los análisis estadísticos en el software Minitab (Minitab Inc., State College, Pennsylvania, EE. UU.) en la cual se obtendrá un análisis de varianza, el contraste de medias, coeficiente de variación. Lo que nos ayudara a interpretar los datos obtenidos en cada repetición y determinar la eficiencia de uniformidad de dosificación.

## VI RESULTADOS

### 6.1 Resultado de conexión del sistema instrumentado y a evaluar

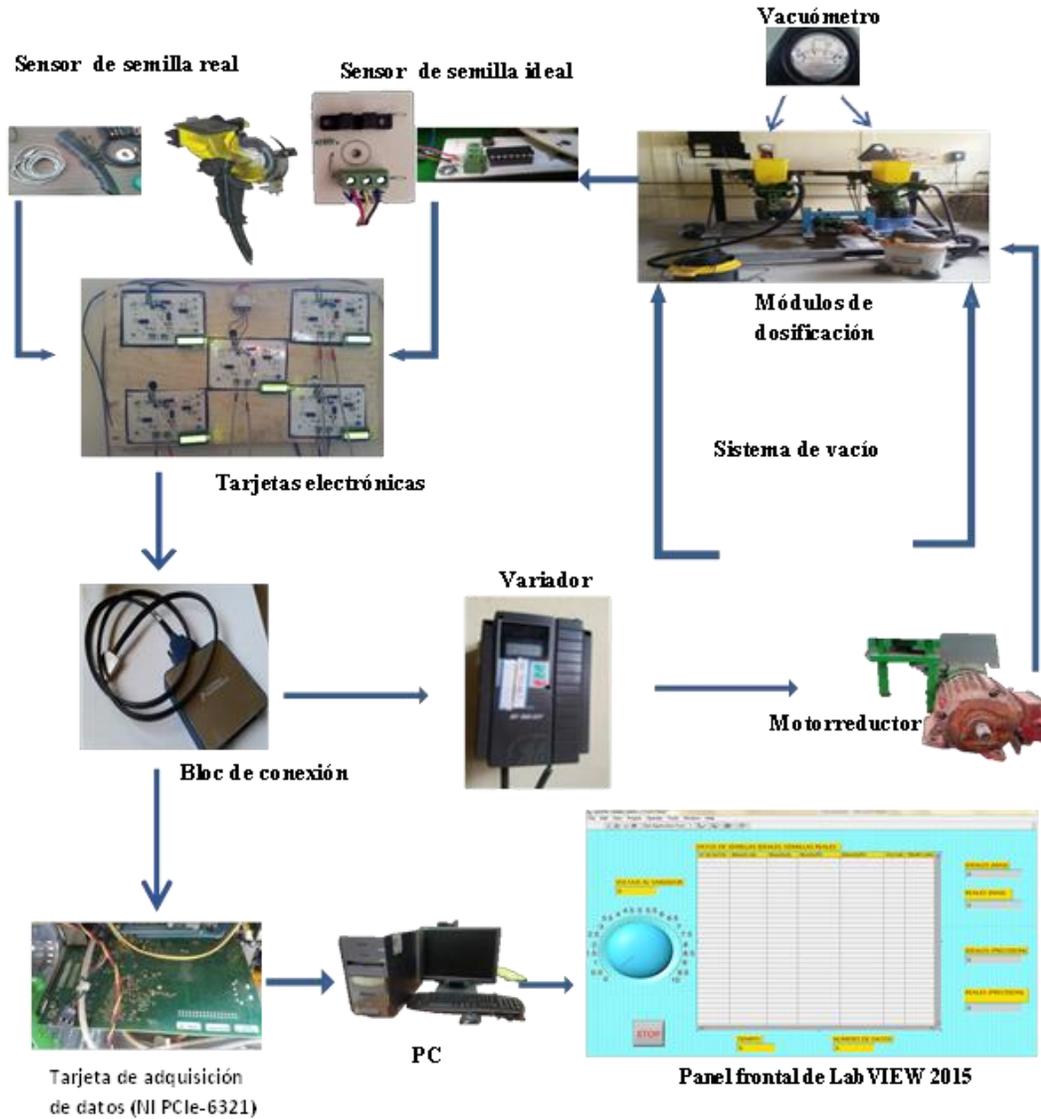


Figura 6.1 Elementos del sistema.

## 6.2 Evaluación de los sistemas de dosificación neumática

En el Cuadro 6.1 se muestra el resultado de los módulos *John Deere* y *Precision Planting* a evaluar en función del porcentaje de llenado de celdas. Se manejaron cuatro voltajes con cinco repeticiones, con agrupación de mil semillas **Ideales vs “N” Reales** (ver Anexo C).

**Cuadro 6.1** Porcentaje de llenado de celdas

<b>Módulo John Deere</b>			
<b>1.5 v</b>	<b>2.5 v</b>	<b>3.5 v</b>	<b>4.5 v</b>
<b>141.200</b>	126.946	124.826	112.388
<b>135.800</b>	125.749	120.140	114.486
<b>137.100</b>	124.276	120.380	112.874
<b>138.000</b>	124.276	119.043	114.186
<b>133.300</b>	126.000	118.644	116.500
<b>Módulo Precision Planting</b>			
<b>1.5 v</b>	<b>2.5 v</b>	<b>3.5 v</b>	<b>4.5 v</b>
<b>105.100</b>	99.800	102.695	116.235
<b>104.000</b>	102.000	103.194	115.055
<b>103.796</b>	100.999	101.698	117.083
<b>103.000</b>	100.100	101.697	116.783
<b>102.600</b>	101.403	102.794	120.858

## 6.3 Resultados estadísticos de dosificación por módulo

### 6.3.1 Módulo John Deere

En el Cuadro 6.2 se muestra el análisis de varianza del módulo John Deere respecto de la velocidad de dosificación obteniendo una diferencia significativa de los datos registrados en cada repetición. Se obtiene un coeficiente de variación aceptable, con un porcentaje de confiabilidad de 97% de los datos.

**Cuadro 6.2** Análisis de varianza

<b>Análisis de varianza, módulo John Deere</b>					
	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>
<b>Voltaje</b> (velocidad)	1	1362.46	1362.46	197.11	3.879e-11 ***
<b>Residuales</b>	18	124.42	6.91		

Nivel de significancia: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
CV: 2.115025

### 6.3.2 Comparaciones en parejas de Tukey

**Cuadro 6.3** Análisis de medias

<b>Voltaje</b> (velocidad)	<b>N</b>	<b>Media</b> (% llenado de celdas)	<b>Agrupación</b>
<b>1.5</b>	5	137.08	A
<b>2.5</b>	5	125.449	B
<b>3.5</b>	5	120.61	C
<b>4.5</b>	5	114.087	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.  
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

En el Cuadro 6.3 se obtiene un análisis de medias por comparación y agrupación mediante el método de Tukey, los datos fluctúan de 1.5 V- 136 semillas min<sup>-1</sup> a 4.5 V- 848 semillas min<sup>-1</sup> con un intervalo de confianza de 95%. Teniendo una mejor uniformidad de los datos a 848 semillas min<sup>-1</sup> respecto a la media del porcentaje de llenado de celdas.

### 6.3.3 Análisis de regresión: porcentaje de llenado de celda vs. Volt

La ecuación de regresión es

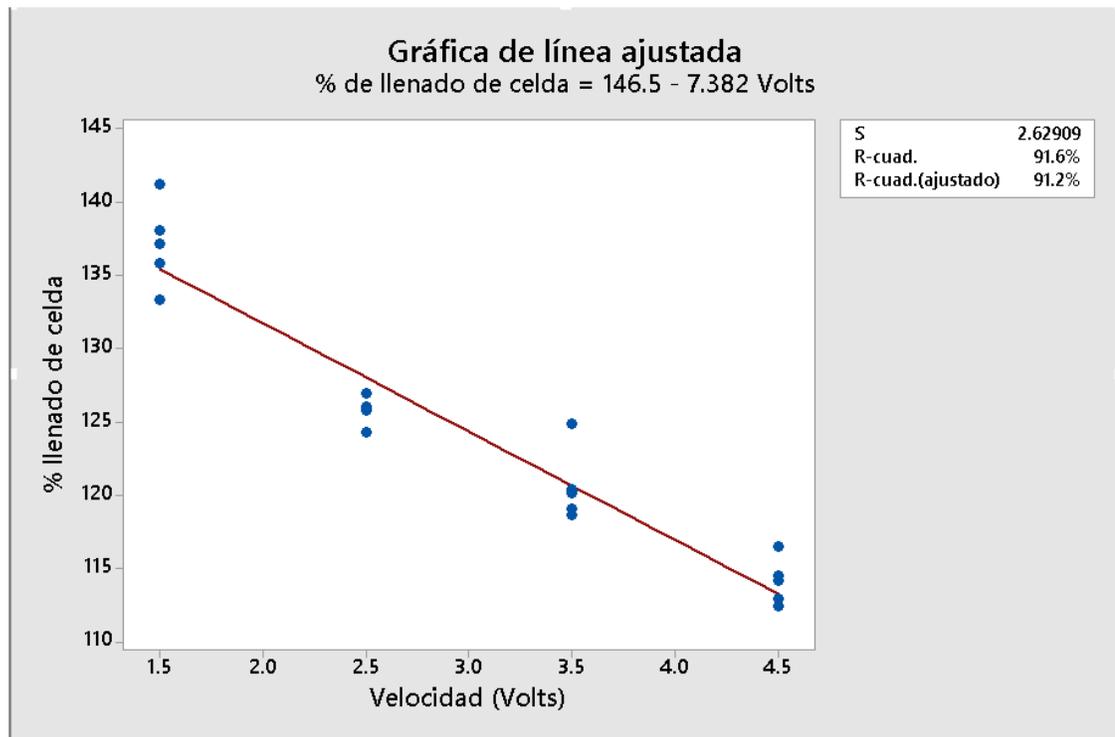
$$\text{Porcentaje de llenado de celda} = 146.5 - 7.382 \text{ Volt}$$

$$S = 2.62909 \quad R\text{-cuad.} = 91.6\% \quad R\text{-cuad. (Ajustado)} = 91.2\%$$

**Cuadro 6.4** Análisis de varianza.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	1362.46	1362.46	197.11	0.000
Error	18	124.42	6.91		
total	19	1486.88			

### 6.3.4 Grafica de regresión % llenado de celda vs velocidad (volts)



**Figura 6.2** Grafica de regresión.

En la figura 6.2 se obtiene el comportamiento de los datos % llenado de celda vs velocidad (Volts) y la ecuación del porcentaje de llenado lineal.

### 6.3.5 Análisis estadístico del módulo Precision Planting

**Cuadro 6.5** Análisis de varianza

Análisis de varianza, módulo Precision Planting					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>f)
<b>Voltaje</b>	1	442.39	442.39	18.267	0.0004567 ***
<b>Residuals</b>	18	435.92	24.22		
<b>Nivel de significancia: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</b>					
<b>CV: 4.640641</b>					

En el Cuadro 6.5 se obtiene un análisis de varianza, cuyos datos indican diferencia significativa de los datos respecto a la velocidad de dosificación. Además, se obtiene un coeficiente de variación aceptable, lo que nos indica que el 95.35% de los datos obtenidos son confiables.

### 6.3.6 Comparaciones en parejas de Tukey

**Cuadro 6.6** Análisis de medias

<b>Voltaje</b> (velocidad)	<b>N</b>	<b>Media</b> (% llenado de celdas)	<b>Agrupación</b>
<b>1.5</b>	5	103.699	B
<b>2.5</b>	5	100.860	C
<b>3.5</b>	5	102.416	BC
<b>4.5</b>	5	117.203	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.  
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

El análisis de medias del Cuadro 6.6 muestra un comportamiento que fluctúa en un rango de 1.5 V- 136 semillas min<sup>-1</sup> a 4.5 V- 702 semillas min<sup>-1</sup>, teniendo una mejor uniformidad de siembra a una velocidad de dosificación de 3.5 V- 374 semillas min<sup>-1</sup>, con un intervalo de confianza del 95% respecto al porcentaje de llenado de celdas.

## VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los objetivos planteados, metodología, obtención de datos, análisis y resultados la utilización de una Tarjeta de Adquisición de Datos National Instruments de cuatro canales que está habilitada y es óptima para la dosificación de semillas de los dos módulos de evaluación.

El código de programación desarrollado con IV permite el registro de la velocidad de dosificación de cuatro señales digitales en tiempo real.

La evaluación del módulo John Deere muestra un CV menor al 5% con el sistema empleado. Sin embargo, el porcentaje de llenado de celda tiene un incremento del  $\pm 14\%$  del valor nominal del 100% de llenado de celdas.

Para el caso del módulo *Precision Planting* la uniformidad de siembra se conserva por debajo de un CV de 4% en las cuatro velocidades de dosificación.

### Recomendaciones

Desarrollar un programa empelando IV que permita realizar prescripciones de velocidades de manera automática.

Realizar el cambio de sensor de semilla ideal del módulo *John Deere* por uno de efecto Hall, ya que a velocidades mayores a 848 semillas  $\text{min}^{-1}$  el coeficiente de variación incrementa.

Revisar la visualización de frecuencia en los *displays* de las tarjetas electrónicas ensambladas.

Ajustar los módulos para evitar vibraciones innecesarias en el sistema.

## VIII REFERENCIAS

- Blackmore**, B. S., Godwin, R.J., Fountas, S. 2003. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems Engineering* 84(4) 455-466.
- Bragachini**, M., Méndez, A., Peiretti, J., Scaramuzza, F., 2003. Sembradoras para siembra directa. Proyecto agricultura de precisión, INTA Manfredi.
- Breece** H., E.; Hansen H., V.; Hoerner T., A.; 1975. Fundamentos de maquinaria. John Deere Service Publications. Moline, Illinois.
- Bullock** D. S., D. G. Bullock. 2000. from agronomic research to farm management guidelines: A primer on the economics of information and precision technology. *Precision Agric.* 2, 71-101.
- Campbell**. A. & Baker C. An X Ray Technique for Determining Three-Dimensional Seed Placement in Soils. *Transaction of the ASAE* 32(2):379-384.
- Campos-Magaña**, S. G., M. Cadena- Zapata, A. Jácome-Maldonado, S. Cruz-Ballado, J.A. Bonilla-Bada, J.J. Esqueda-Esquivel, A. Valentín. 2007. Desarrollo de un Sistema de Siembra Neumático de Alta Precisión para Labranza de Conservación para Tractores de Potencia Media. *TERRA Latinoamericana*. 25:85-91.
- Colombino**, A., A.; Pollacino J., C.; 1996. Diseño y construcción de un banco de ensayos para conjuntos dosificadores de sembradoras y fertilizadoras. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 16 (1-2) 69-72.
- Dávila**, R. 2010. La agricultura de precisión, la innovación en el campo. *Journalmex* periodista de México.
- Del Campo**, M.I. 2005. Agricultura de precisión.
- Economía**, A. 2012. Argentina se ubica entre los países con mayor agricultura de precisión. *Agronoticias América Latina y el Caribe*. pp. 1-2. Argentina.

- Enciso-Bengines, J.** 2016. Evaluación de Dos Dosificadores Neumáticos Empleando Instrumentos Virtuales Para la Agricultura de Precisión, Tesis, Licenciatura, UAAAN. Saltillo Coahuila, México.
- Fiez, T. E., W. L. Pan., B. C. Miller.** 1995. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1666-1671.
- García, B., S.; Gracia L., C.; Serwatowski H., R.;** 2000. Diseño y construcción de un banco de ensayos para el estudio de equipos neumáticos de siembra. Memoria del Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola (CLIA). X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola (AMIA), Guanajuato; Gto., México.
- Jaramillo-Jaramillo, D. F.** (2011) El suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 553 p.
- Kachman, S., D. and Smith J., A.;** 1994. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. Transaction of the ASAE, 38 (2): 379-387.
- Kepner, R. A., E. C. Barger.** 1978. Principles of farm machinery. Third edition, The AVI Publishing Company, Inc. Connecticut, USA.
- Kocher, M., F.; Lan Y., Chen C. And Smith J.,** 1998. Opto- electronic sensor system for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity. Transactions of the ASAE, 41(1): 237-245.
- Kohler-Koch, B., R. Khosla., W. M. Frasier., D. G. Westfall., D. Inman.** 2004. Economic Feasibility of Variable-Rate Nitrogen Application Utilizing Site-Specific Management Zones.
- Lago-Gonzales, C., J. C. Sepúlveda-Peña, R. Barroso-Abreu, F. O. Fernández-Peña, F. Macia-Pérez.** 2011. System for the automatic generation of yield mapping with application in precision farming. Idesia 29: 59-69
- López-López, J.A.** 2012. Evaluación de un Sensor de Permisividad Eléctrica para Agricultura de Precisión. Tesis de Nivel Licenciatura. Departamento de Maquinaria Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Lowenberg, D.J.** 1997. A bumpy road to the adoption of precision Agriculture. Purdue Agricultural Economics Report: 37-39.
- Maroni, J.R.** 2007. Agricultura de precisión: avances para realizar aplicaciones de dosis variables mediante máquinas pulverizadoras. Agromensajes 23: 1-3.
- Marote, M.L.** 2010. Agricultura de Precisión. Ciencia y tecnología. ISEU. Universidad de Palencia, Facultad de Ingeniería. Buenos Aires., Argentina.
- Medina-Vásquez, J., A. Aguilera-Alvear, L. M. Landinez.** 2010. Ejercicio EAD Agricultura de Precisión pp.8-10. Universidad Del Valle. Santiago de Cali.
- Molin, J., P.;** 1998. Agricultura de precisión. Parte I. El estado del arte del sensoramiento. Eng. Agri. Jaboticabal 17 (2) 97-107.
- Norma Mexicana. Secretaría de Economía,** NMX-0-168-SCFI-2002. Tractores, implementos, sembradoras unitarias, fertilizadoras accionadas mecánicamente, con dosificador de semilla de disco y métodos de prueba en la maquinaria agrícola.
- Norton, G.W. y Swinton S.M.** 2001. Precision Agriculture: Global Prospects and Environmental Implication. Forthcoming in G.H. Peters and P. Pingali, eds. Tomorrow's Agriculture: Incentives, Institutions, Infrastructure and Innovations: Proceeding of the 24th International Conference of Agricultural Economists, 2000. London Ashgate.
- Ortega, B.R y Flores L.** 1999. Agricultura de precisión. P13-46. En R. Ortega y L. Flores (ed.) Agricultura de Precisión: introducción al manejo sitio-específico. Ministerio de Agricultura, Investigaciones Agropecuarias, CRI Quilamapu-Chile.
- Ortiz-Cañavate, J., Hernenz J. I.** 1989. Técnica de la mecanización agraria. Edición Mundi-prensa, Madrid.

- Ramírez, T. A.** 2000. Desarrollo de un sistema semiautomático para el control de la frecuencia de dosificación de semilla. Tesis de licenciatura Universidad Veracruzana, Veracruz México.
- Ramírez, T. A.;** 2000. Desarrollo de un sistema semiautomático para el control de la frecuencia de dosificación de semilla. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana, Veracruz, Ver. México.
- Reynolds-Chávez, M. A.** 2006. Diseño de un sistema inteligente de dosificación neumático de semilla. Tesis de M.C. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coahuila; México.
- Rodríguez, J., A. M. Gonzáles., F. R. Leiva., L. Guerrero.** 2008. Fertilización por sitio específico en un cultivo de maíz en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 26(2): 308-321.
- Ruiz, M.I.** 2011. Agricultura de Precisión.
- SAGARPA,** 2012. México el sector Agropecuario Ante el Desafío del Cambio Climático. Secretaria de agricultura Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: 25-31.
- Santos, E. A.** 1996. Diseño, construcción y Evaluación de una sembradora de Hortalizas, tesis licenciatura para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo en Maquinaria Agrícola; Saltillo, Coah, México.
- Segundo, R., G.;** 2004. Diseño de un sistema inteligente dosificador de semilla, basado en el uso de micro-controladores (Fase I: Evaluación de dosificadores neumáticos). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coahuila; México.
- Srinivasan, A.** 2006. Handbook of precision agriculture principles and applications. New York. Pp. 3-15.
- Torres-Santoyo, M.** 2014. Evaluación Bajo Condiciones de Laboratorio de un Dosificador Neumático para Agricultura de Precisión Empleando Instrumentos Virtuales., Tesis, Licenciatura, UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

- 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.
- Valdivia-Montes**, S. D. 2011. Evaluación de banco con sembradoras para agricultura de precisión. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coahuila; México.
- Villalobos-Mateluna**, P., R. Manríquez-Ramírez, C. Acevedo-Opazo, S. Ortega-Farias. 2009. Alcance de la agricultura de precisión en Chile. pp. 36-37. Universidad de Talca. Chile, Santiago de Chile.
- Weatherly**, E., T. and Bowers Jr. G., C.; 1997. Automatic depth control of a seed planter based on drying front sensing. Transaction of ASAE 40(2):295-305. Receive ASAE Paper Award 1998.

## IX ANEXOS

### Anexo A

#### A1 Localización y formulación del DAQmx Express VI e inicio del DAQ Assistant

El VI DAQmx Express, que utiliza el Asistente DAQ para configurar la tarea, se encuentra en dos lugares diferentes, dependiendo de la paleta Funciones que esté utilizando. En la paleta Funciones expresas, el VI DAQ Assistant Express se encuentra en la sub-paleta Input (ver la Figura A1.1).

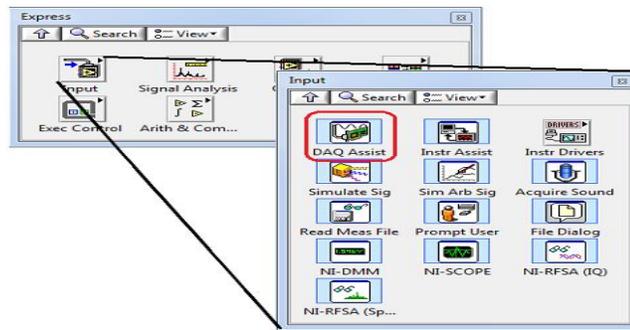


Figura A1.1 Localización del DAQ Assistant.

En la paleta Funciones avanzadas, el VI DAQ Assistant Express se encuentra en la subpaleta NI Measurements>>DAQmx (ver Figura A1.2).

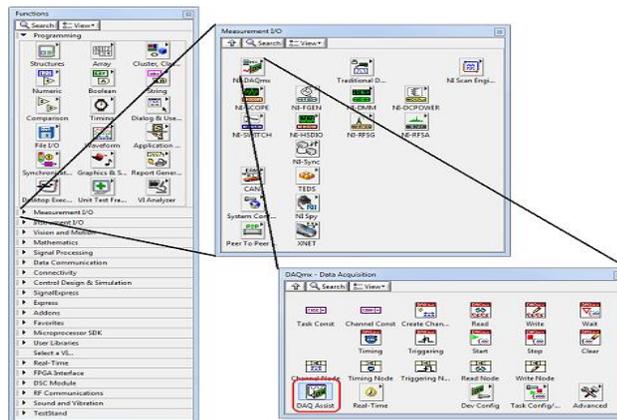
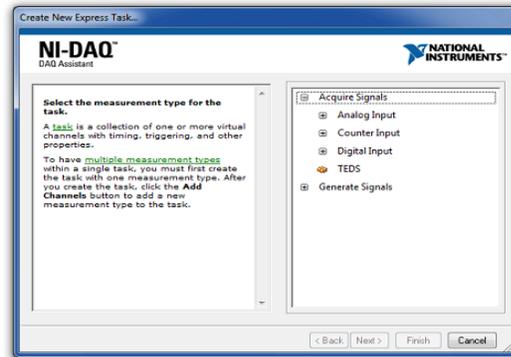


Figura A1.2 Funciones avanzadas.

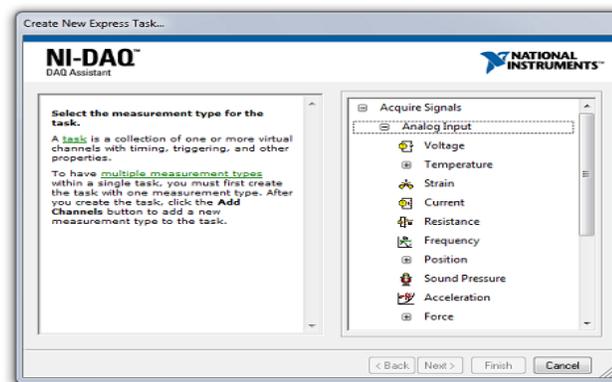
Una vez que haya localizado el VI DAQ Assistant Express en la ubicación apropiada, selecciónelo desde la paleta y suéltelo en el diagrama de bloques de su VI. De forma predeterminada, la página de propiedades debe aparecer, lo que le permite configurar su tarea. El primer paso es seleccionar el tipo de medición (ver Figura A1.3).



**Figura A1.3** Configuración de tarea.

## A2 Configuración de DAQmx Express VI utilizando el DAQ Assistant (Analog Input)

Hay varias opciones para una adquisición de entrada analógica. Para este documento pasamos a través de una simple entrada analógica >> Medición de voltaje (ver Figura A2.1).



**Figura A2.1** Configuración de DAQmxexpress.

Una vez que haya seleccionado Voltaje como el tipo de adquisición de entrada analógica, tendrá la opción de seleccionar los canales que desea adquirir. La primera pantalla que podrá ver le permitirá seleccionar los canales físicos que desea adquirir, creando canales locales (vea la Figura A2.2).

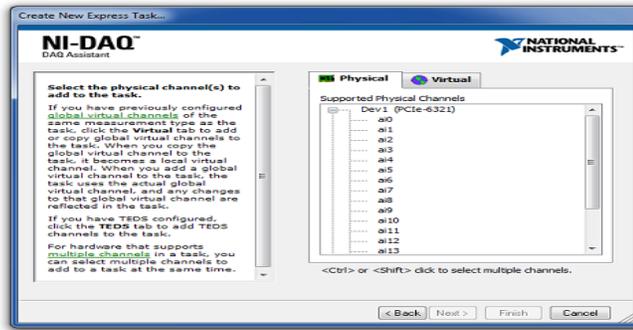


Figura A2.2 Selección de canales.

Sin embargo, si ya ha creado DAQmx Global Virtual Channels en el Explorador de Medición y Automatización, puede usarlos seleccionando la opción Copiar Canales Globales y seleccionando su(s) canal(es) de la lista (ver Figura A2.3).

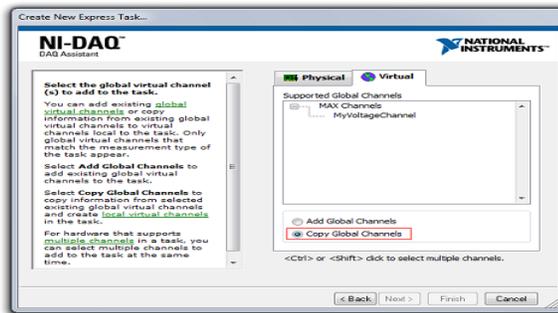


Figura A2.3 Selección de copiar canales.

Una vez que haya seleccionado el (los) canal(es), haga clic en el botón Finalizar. Esto mostrará la página de configuración de la tarea de entrada analógica (ver Figura A2.4).

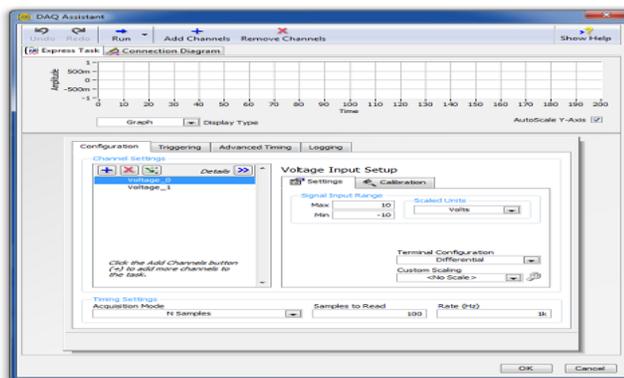
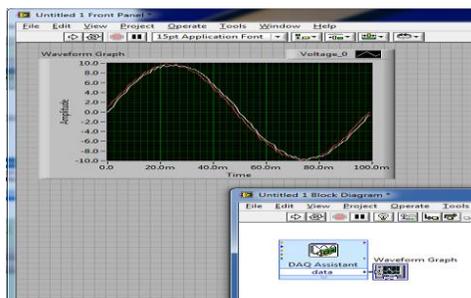


Figura A2.4 Configuración de la tarea de entrada analógica.

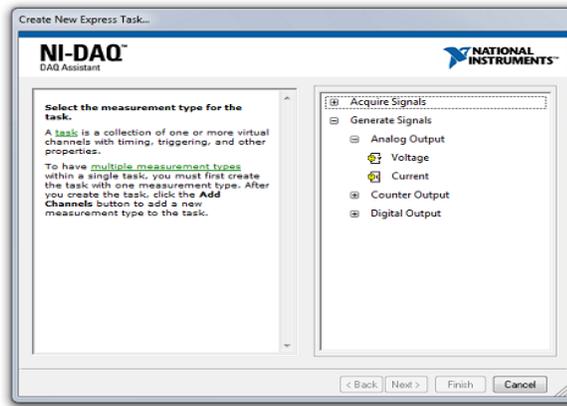
Aquí puede configurar su tarea para adquirir datos exactamente de la manera que desee. Puede configurar el rango de entrada de señal en un intervalo adecuado. Puede seleccionar la Configuración de terminal en el modo de adquisición (Diferencial, Referencia única terminada, sin referencia única terminada). La opción Escalada personalizada le permite crear una nueva escala o aplicar escalas ya existentes. En la ficha Tiempo de tarea, puede configurar cómo adquirirá sus datos. Puede adquirir una muestra a la vez (software programado), Adquirir muestras N, que adquiere un conjunto finito de muestras (hardware programado) o Adquirir continuamente (hardware programado). Si selecciona N muestras de adquisición para una exploración finita o Adquirir continuamente para adquisición continua, Tendrá la opción de especificar cuántas Muestras para Leer y la Tasa de su adquisición. En la sección Configuración avanzada del reloj, puede especificar si va a utilizar un reloj interno o externo. Si selecciona externo para su reloj, tendrá la opción de seleccionar el borde activo y con qué pin se conectará el reloj externo. En la ficha Triggering de tareas, puede especificar un arranque y/o un disparador de referencia. Cuando haya terminado de configurar su tarea, haga clic en el botón Aceptar. Esto guarda su configuración y le devuelve al diagrama de bloques donde verá su DAQ Assistant Express VI configurado. Sus datos estarán disponibles en la salida de datos. Puede conectar esta salida a un VI de análisis (ver Figura A2.5).



**Figura A2.5** Panel de análisis de señal.

### **A3 Configuración de DAQmx Express VI mediante el DAQ Assistant (Analog Output)**

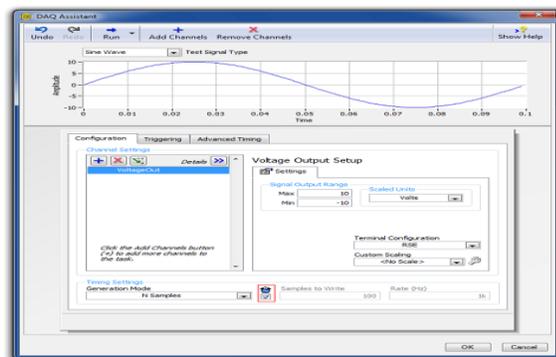
Cuando seleccione Salida analógica para su tipo de medición, tendrá un par de opciones con respecto a qué tipo de salida desea realizar. Este documento se centrará en una simple salida de tensión (ver Figura A3.1).



**Figura A3.1** Configuración de DAQmx Express VI mediante el DAQ Assistant (Analog Output).

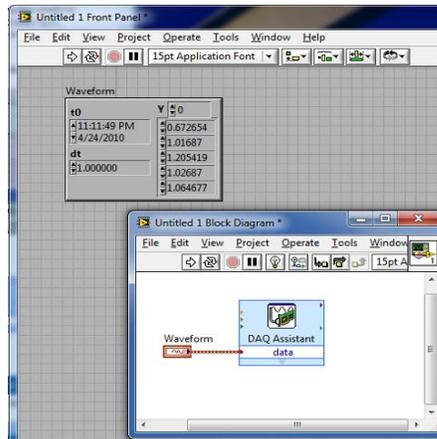
Una vez que haya seleccionado Voltaje como el tipo de medición de salida analógica, podrá seleccionar qué canal (es) de salida desea utilizar. Al igual que con la entrada analógica, podrá seleccionar canales físicos, mediante la creación de canales locales o canales DAQmx Global ya creados. Verá una ventana similar a la Figura A2.2 o A2.3 anterior, excepto que los canales disponibles serán sus canales de salida analógicos.

Una vez que haya seleccionado su canal, llegará a la página de configuración de la tarea de salida analógica. Similar a una tarea de entrada analógica, puede especificar su rango de salida, escalado personalizado, temporización de tareas y desencadenamiento de tareas. Sin embargo, hay una opción que no está presente en una tarea de entrada analógica (Figura A3.2).



**Figura A3.2** Selección de canal.

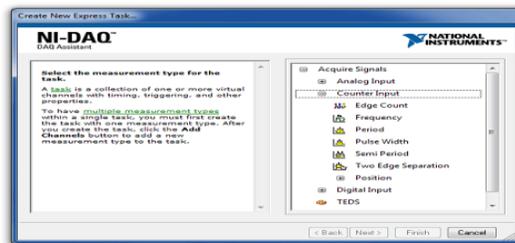
De forma predeterminada, esta opción está seleccionada y los Muestras a escribir y la Tasa aparecen atenuadas. Esto se debe a que la información de temporización se extrae automáticamente de la entrada de forma de onda al VI DAQ Assistant Express configurado, eliminando la necesidad de especificar manualmente la información de temporización. Sin embargo, si anula la selección de la opción Usar tiempo de datos de forma de onda, tendrá la posibilidad de establecer Muestras a escribir, Tasa y Configuración avanzada del reloj. Una vez que haya configurado su tarea, haga clic en Aceptar para guardar la configuración y volver al diagrama de bloques. Ahora, simplemente conecte sus datos a la entrada de datos y ejecute su VI para dar salida a sus voltajes (vea la Figura A3.3).



**Figura A3.3** Configuración avanzada del reloj.

#### **A4 Configuración de DAQmx Express VI mediante el DAQ Assistant (Counter Input)**

Cuando seleccione Contador Entrada como el tipo de medición, tendrá varias opciones. Este documento se centrará en una medición de recuento de bordes (Figura A4.1).

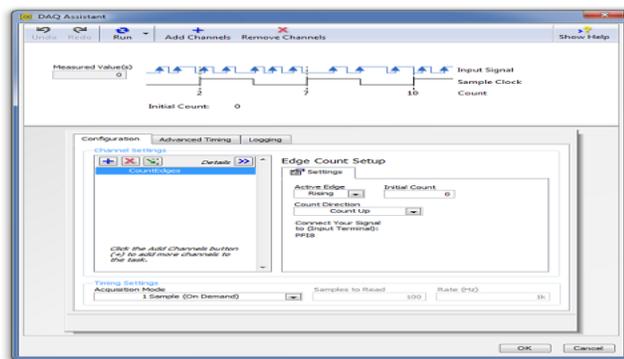


**Figura A4.1** Configuración de DAQmx Express

VI mediante el DAQ Assistant (Counter Input)

Una vez que seleccione su tipo de entrada de contador, tendrá la opción de seleccionar el contador que desea utilizar. Al igual que en los ejemplos anteriores, puede seleccionar crear nuevos canales locales o copiar canales DAQmx Global ya existentes. Verá una ventana similar a la Figura A2.2 o A2.3 anterior, excepto que los canales disponibles serán sus canales de contador.

Una vez que haya seleccionado el canal de contador, llegará a la página de configuración de la tarea (Figura A4.2).



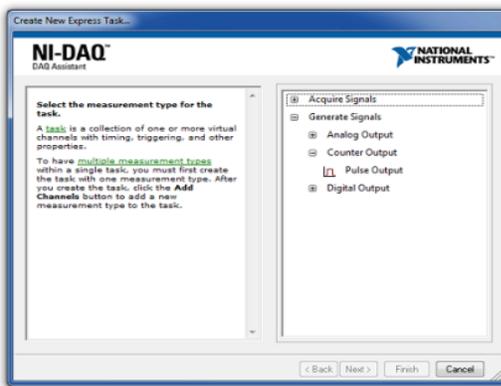
**Figura A4.2** Configuración de tarea.

Aquí puede configurar el borde activo para subir o bajar. Puede configurar el recuento inicial del registro de conteo. También puede seleccionar la dirección de conteo que se va a contar, Count Down o Externally Controlled. Si selecciona Externally Controlled, el contador contará hacia arriba o hacia abajo dependiendo de la señal conectada al pin Up / Down de su contador. Esto se usa típicamente para codificadores de cuadratura (consulte el Tutorial de codificación en cuadratura que se incluye a continuación para obtener más información). Observe debajo de la opción de dirección de cuenta hay una instrucción indicándole que conecte la señal al pin apropiado de PFI en su tarjeta de adquisición de datos. De forma predeterminada, la opción CountEdges está seleccionada en la sección TaskTiming. Tenga en cuenta que cuando se selecciona la opción Cuadros de contorno, las opciones SamplesToRead, Rate y ClockSettings están atenuadas. Esto se debe a que la operación CountEdges es programada por software y no requiere un reloj externo. Sin embargo, si elige Muestras Count N (Finite) o Count N Samples (Continuous), que son ambas operaciones en búfer, podrá especificar el número de SamplesToRead, Rate y ClockSettings. Es decir, las muestras de

Count N (Finite) y Count N Continuous son adquisiciones temporizadas de hardware, y tendrá que proporcionar una señal de reloj externa, al pin especificado en ClockSource, para realizar la operación de buffer.

### A5 Configuración de DAQmx Express VI utilizando el DAQ Assistant (Counter Output)

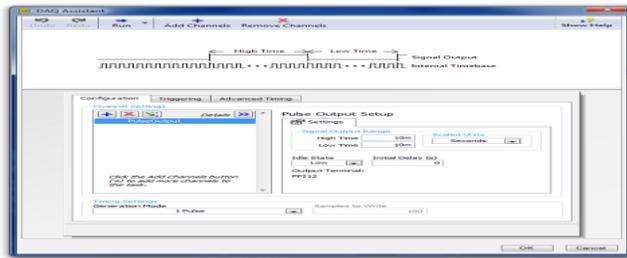
Puede utilizar el DAQmx Express VI para generar salida en sus contadores en forma de pulsos digitales. Si selecciona Salida de contador de la ventana del Asistente DAQ original (Figura A1.3), tendrá una opción en la siguiente pantalla, que es Salida de impulsos (Figura A5.1).



**Figura A5.1** Configuración de DAQmx Express

VI utilizando el DAQ Assistant (Counter Output).

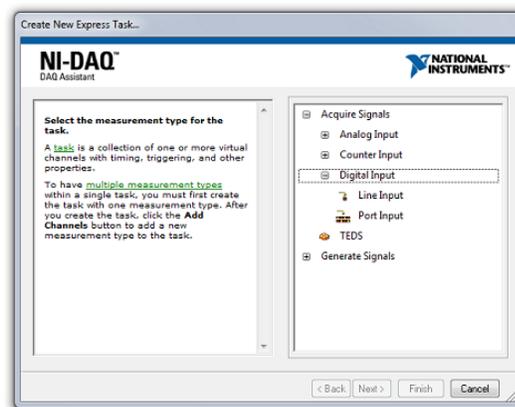
Una vez que seleccione Salida de pulso, podrá seleccionar el contador (s) que desea usar en esta operación de generación de impulsos. Verá una ventana similar a las figuras A2.2 o A2.3 anteriores, excepto que los canales disponibles serán sus canales de contador. Una vez que haya seleccionado su(s) contador(s), podrá configurar la tarea de salida del contador (Figura A5.2).



**Figura A5.2** Configuración de tarea del contador.

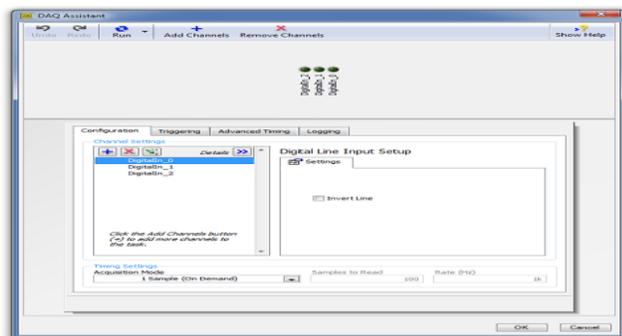
Aquí puede configurar los ajustes de pulso, donde se especifica cuánto tiempo el pulso es alto y bajo con el tiempo alto y el tiempo bajo, respectivamente. También puede especificar el estado inactivo y el retardo inicial. El estado Inactivo determina si el pulso está activo alto o activo bajo. Normalmente, el estado inactivo se genera primero seguido por el estado activo. El retardo inicial le permite especificar un tiempo de retardo antes de generar el primer impulso. En la sección Temporización de tareas, puede especificar si desea generar un pulso único, un tren de impulsos finitos o un tren de impulsos continuos. Si se selecciona Tren de pulso finito, entonces está disponible la opción para establecer el número de pulsos. Haga clic en Aceptar para guardar la tarea y volver al diagrama de bloques.

Configuración de DAQmx Express VI con el Asistente DAQ (E / S digital). Si desea utilizar el DAQmx Express VI para E / S digital, tiene varias opciones (Figura A5.3).



**Figura A5.3** Configuración de DAQmx Express VI con el Asistente DAQ (E / S digital).

Puede seleccionar Entrada de línea, Entrada de puerto, Salida de línea o Salida de puerto. En este documento, vamos a discutir la tarea de entrada de línea, pero las otras tres operaciones se establecen de manera similar. Una vez que haya elegido Line Input, tendrá la opción de crear un canal local y seleccionar líneas individuales o copiar los actuales canales virtuales globales de DAQmx. Verá una ventana similar a la Figura A2.2 o A2.3 anterior, excepto que los canales disponibles serán sus canales digitales. Una vez definidos o seleccionados los canales, haga clic en Siguiente para ir a la página de configuración de la tarea (Figura A5.4).

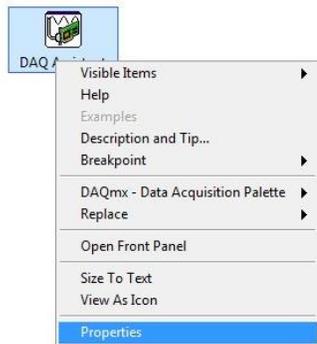


**Figura A5.4** Configuración de tarea.

Aquí puede optar por invertir una o más de las líneas digitales que ha especificado. Haga clic en Aceptar para guardar la tarea y volver al diagrama de bloques.

## A6 Edición de propiedades de DAQmx Express VI mediante el Asistente DAQ

Una vez configurado el VI DAQmx Express en su diagrama de bloques, puede modificar la configuración iniciando el Asistente DAQmx desde el diagrama de bloques. Para iniciar el Asistente DAQmx para cambiar algunos ajustes, simplemente haga clic con el botón derecho en el VI DAQmx Express configurado y seleccione Propiedades (Figura A6.1), o haga doble clic en el VI DAQmx Express configurado.



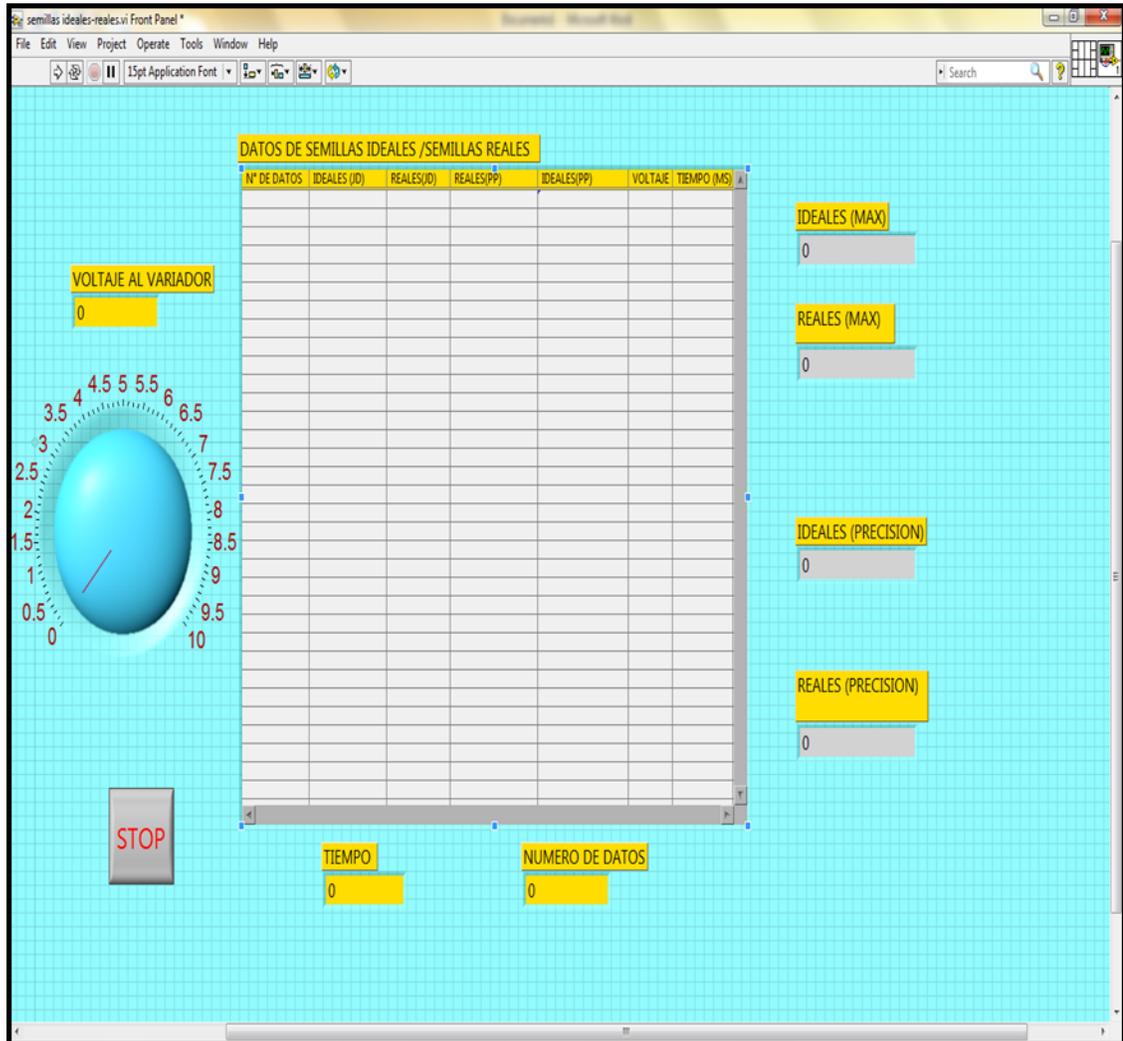
**Figura A6.1** Edición de propiedades de DAQmx Express VI mediante el Asistente DAQ.

Esto le llevará de nuevo a la página de configuración de la tarea donde puede cambiar algunos de los parámetros dependiendo del tipo de tarea que haya configurado (ver figuras A2.4, A3.2, A4.2, A5.2, A6.2).

## Anexo B

### B1 Programa Semillas Ideales vs Semillas Reales

Panel frontal del código LabVIEW2015 (Figura B1.1).



**Figura B1.1** Descripción de iconos del panel frontal LabVIEW2015.

## B2 Estructura de los IV.

Teniendo la configuración de los DaqAssistant generamos una estructura WhileLoop la cual es necesaria para ejecutar las iteraciones del DAQ.

En la Figura B2 se muestra el diagrama de bloques de los IV. Por cada DAQ incluido en el código se crea una constante para registrar el número de datos incluido en cada repetición, se registra el tiempo real de cada pulso, así como la cantidad de voltaje (velocidad) enviado al variador (Figura B2.1).

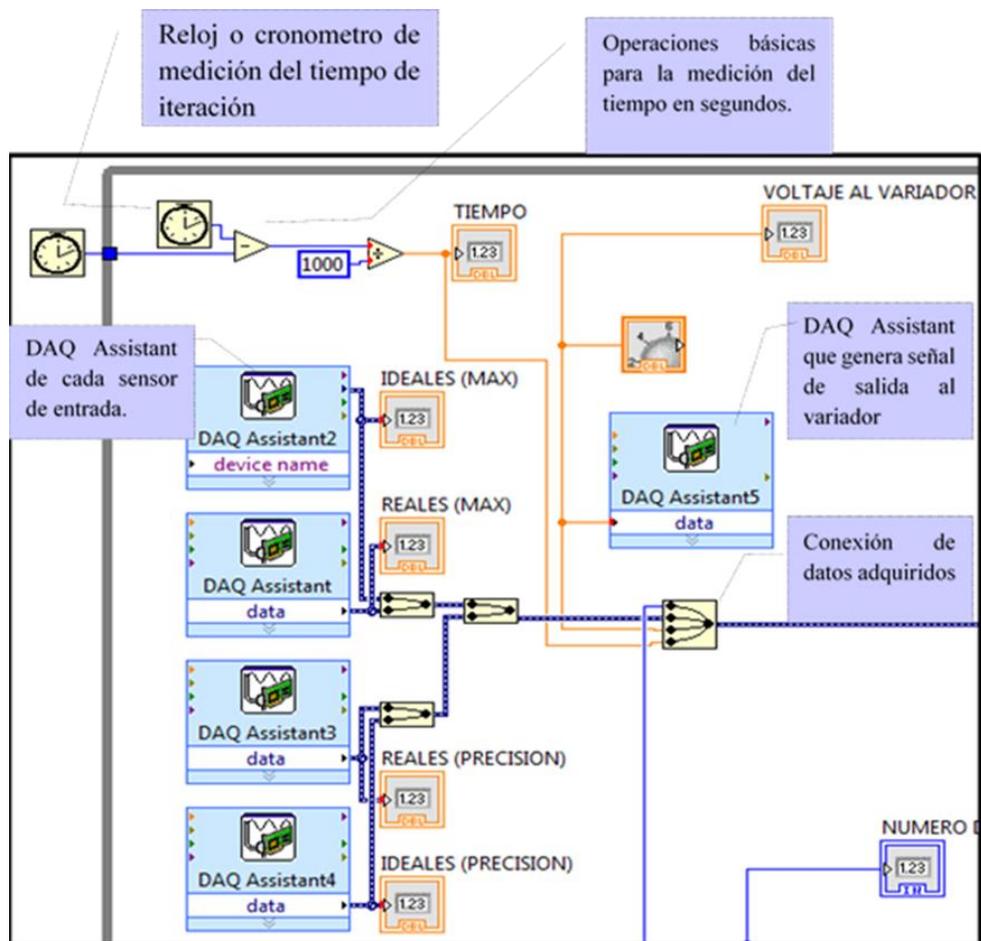


Figura B2.1 Diagrama de bloques de los IV.

También controlamos en número de datos adquiridos al registrar la cantidad de iteraciones del While Loop mediante un instrumento booleano al llegar a la cantidad de pulsos que se desee. Para el registro de datos de manera instantánea se genera una tabla (Build Table). Teniendo el registro de cada corrida se guardan de forma automática al generar un Write Measurement (Figura B2.2).

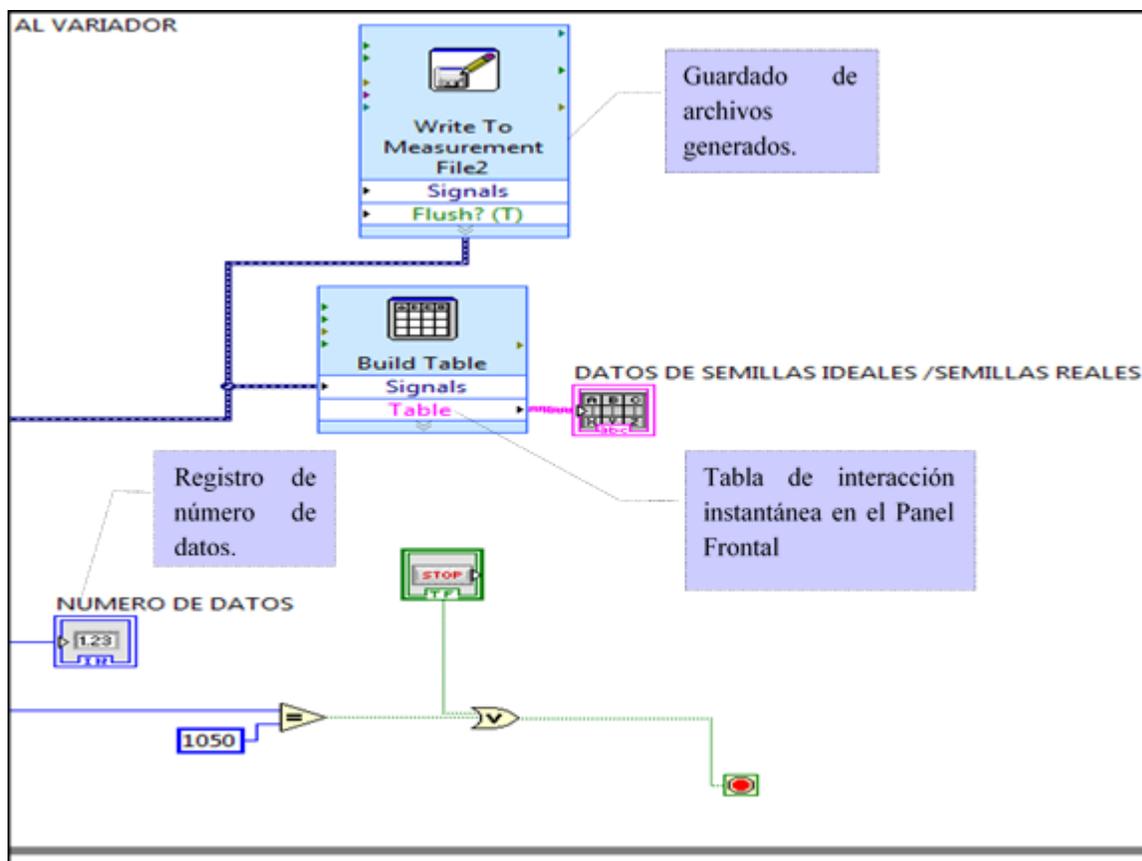


Figura B2.2 Guardado de archivos.

### B3 Diagrama de Bloque con las conexiones de cada IV

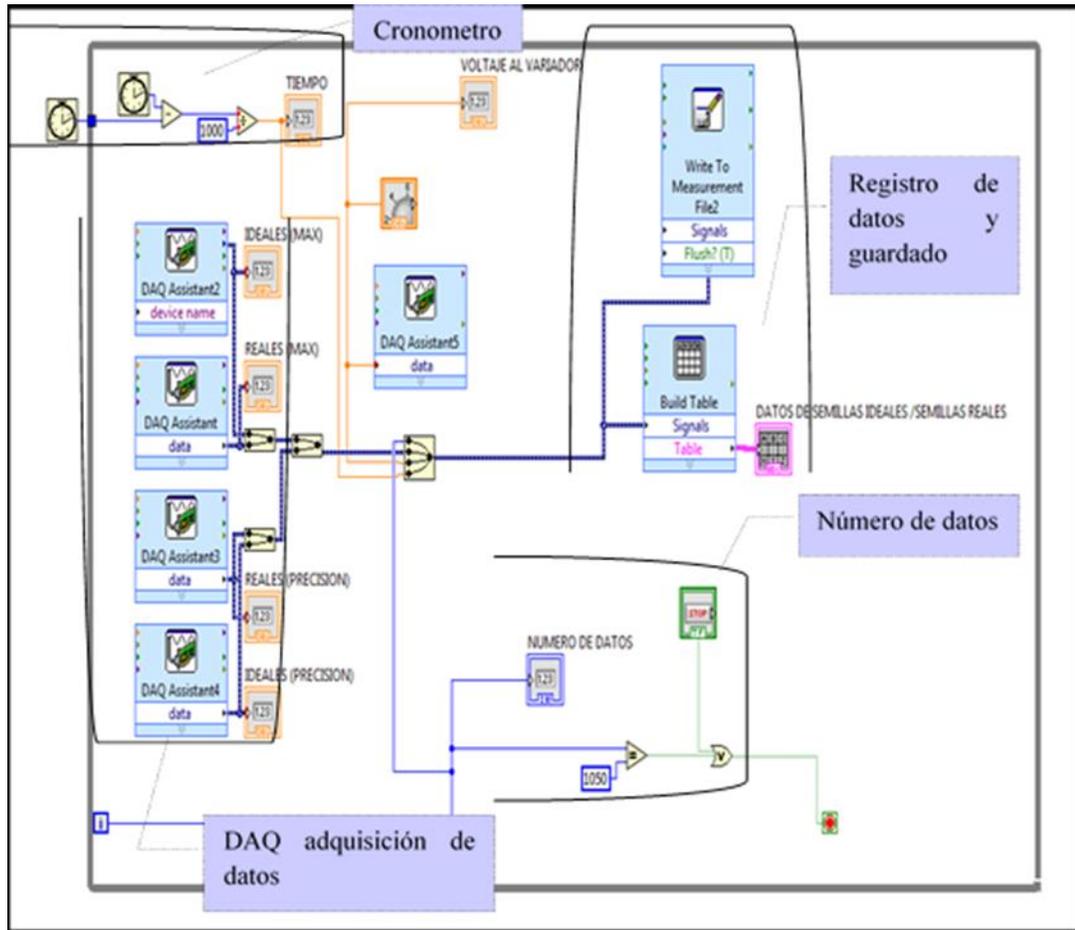


Figura B3.1 Diagrama de bloque de conexión del código.

## Anexo C

### C1 Repeticiones del módulo John Deere a diferentes voltajes

Cuadro C1.1 Repeticiones del módulo John Deere

Repeticiones	Ideal JD	Real JD
<b>1.5 v</b>		
R1	1000	1412
R2	1000	1358
R3	1000	1371
R4	1000	1380
R5	1000	1333
<b>2.5 v</b>		
R1	1002	1272
R2	1002	1260
R3	1001	1244
R4	1001	1244
R5	1000	1260
<b>3.5 v</b>		
R1	1003	1252
R2	1003	1205
R3	1001	1205
R4	1003	1194
R5	1003	1190
<b>4.5 v</b>		
R1	1001	1125
R2	1001	1146
R3	1002	1131
R4	1001	1143
R5	1000	1165

## C2 Tiempo y semillas por minuto de cada repetición

**Cuadro C2.1** Cantidad de semilla por minuto

Repeticiones	Ideal JD	Real JD	Tiempo (min)	Sem I/min	Sem R/min
<b>1.5 v</b>					
<b>R1</b>	1000	1412	7.326	136.500	192.738
<b>R2</b>	1000	1358	7.320	136.612	185.519
<b>R3</b>	1000	1371	7.299	137.005	187.834
<b>R4</b>	1000	1380	7.291	137.155	189.274
<b>R5</b>	1000	1333	7.286	137.250	182.954
<b>2.5 v</b>					
<b>R1</b>	1002	1272	2.679	374.020	474.804
<b>R2</b>	1002	1260	2.670	375.281	471.910
<b>R3</b>	1001	1244	2.668	375.187	466.267
<b>R4</b>	1001	1244	2.669	375.047	466.092
<b>R5</b>	1000	1260	2.665	375.235	472.795
<b>3.5 v</b>					
<b>R1</b>	1003	1252	1.644	610.097	761.557
<b>R2</b>	1003	1205	1.639	611.959	735.204
<b>R3</b>	1001	1205	1.637	611.484	736.103
<b>R4</b>	1003	1194	1.640	611.585	728.049
<b>R5</b>	1003	1190	1.639	611.959	726.052
<b>4.5 v</b>					
<b>R1</b>	1001	1125	1.182	846.870	951.777
<b>R2</b>	1001	1146	1.179	849.025	972.010
<b>R3</b>	1002	1131	1.180	849.153	958.475
<b>R4</b>	1001	1143	1.180	848.305	968.644
<b>R5</b>	1000	1165	1.178	848.896	988.964

### C3 Porcentaje de llenado de celda

**Cuadro C3.1** Porcentaje de llenado de celda

<b>% de llenado de celda</b>			
<b>Repeticiones</b>	<b>Ideal JD</b>	<b>Real JD</b>	<b>Módulo. JD</b>
<b>1.5 v</b>			
<b>R1</b>	1000	1412	141.200
<b>R2</b>	1000	1358	135.800
<b>R3</b>	1000	1371	137.100
<b>R4</b>	1000	1380	138.000
<b>R5</b>	1000	1333	133.300
<b>2.5 v</b>			
<b>R1</b>	1002	1272	126.946
<b>R2</b>	1002	1260	125.749
<b>R3</b>	1001	1244	124.276
<b>R4</b>	1001	1244	124.276
<b>R5</b>	1000	1260	126.000
<b>3.5 v</b>			
<b>R1</b>	1003	1252	124.826
<b>R2</b>	1003	1205	120.140
<b>R3</b>	1001	1205	120.380
<b>R4</b>	1003	1194	119.043
<b>R5</b>	1003	1190	118.644
<b>4.5 v</b>			
<b>R1</b>	1001	1125	112.388
<b>R2</b>	1001	1146	114.486
<b>R3</b>	1002	1131	112.874
<b>R4</b>	1001	1143	114.186
<b>R5</b>	1000	1165	116.500

## C4 Repeticiones del módulo *Precision Planting* a diferentes voltajes

Repeticiones, tiempo y cantidad de semillas por minuto.

**Cuadro C4.1** Tiempo y cantidad de semilla por minuto

Repeticiones	Ideal PP	Real	Tiempo	sem I/min	sem R/min
<b>PP</b>					
<b>1.5 v</b>					
<b>R1</b>	1000	1051	7.326	136.500	143.462
<b>R2</b>	1000	1040	7.320	136.612	142.077
<b>R3</b>	1001	1039	7.310	136.936	142.134
<b>R4</b>	1000	1030	7.291	137.155	141.270
<b>R5</b>	1000	1026	7.286	137.250	140.818
<b>2.5 v</b>					
<b>R1</b>	1001	999	2.679	373.647	372.900
<b>R2</b>	1000	1020	2.670	374.532	382.022
<b>R3</b>	1001	1011	2.668	375.187	378.936
<b>R4</b>	1001	1002	2.669	375.047	375.422
<b>R5</b>	998	1012	2.665	374.484	379.737
<b>3.5 v</b>					
<b>R1</b>	1002	1029	1.689	593.250	609.236
<b>R2</b>	1002	1034	1.680	596.429	615.476
<b>R3</b>	1001	1018	1.678	596.544	606.675
<b>R4</b>	1002	1019	1.686	594.306	604.389
<b>R5</b>	1002	1030	1.696	590.802	607.311
<b>4.5 v</b>					
<b>R1</b>	1004	1167	1.415	709.541	824.735
<b>R2</b>	1003	1154	1.402	715.407	823.110
<b>R3</b>	1001	1172	1.424	702.949	823.034
<b>R4</b>	1001	1169	1.420	704.930	823.239
<b>R5</b>	1002	1211	1.478	677.943	819.350

## C5 Porcentaje de llenado de celdas

Cuadro C5.1 Porcentaje de llenado de celda

<b>Porcentaje de llenado de celda</b>			
<b>Repeticiones</b>	<b>Ideal PP</b>	<b>Real PP</b>	<b>Modulo PP</b>
<b>1.5 v</b>			
<b>R1</b>	1000	1051	105.100
<b>R2</b>	1000	1040	104.000
<b>R3</b>	1001	1039	103.796
<b>R4</b>	1000	1030	103.000
<b>R5</b>	1000	1026	102.600
<b>2.5 v</b>			
<b>R1</b>	1001	999	99.800
<b>R2</b>	1000	1020	102.000
<b>R3</b>	1001	1011	100.999
<b>R4</b>	1001	1002	100.100
<b>R5</b>	998	1012	101.403
<b>3.5 v</b>			
<b>R1</b>	1002	1029	102.695
<b>R2</b>	1002	1034	103.194
<b>R3</b>	1001	1018	101.698
<b>R4</b>	1002	1019	101.697
<b>R5</b>	1002	1030	102.794
<b>4.5 v</b>			
<b>R1</b>	1004	1167	116.235
<b>R2</b>	1003	1154	115.055
<b>R3</b>	1001	1172	117.083
<b>R4</b>	1001	1169	116.783
<b>R5</b>	1002	1211	120.858