



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Evaluación Bajo Condiciones de Laboratorio de un Dosificador
Neumático para Agricultura de Precisión Empleando
Instrumentos Virtuales

POR:

MICHEL TORRES SANTOYO

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

*Evaluación Bajo Condiciones de Laboratorio de un Dosificador Neumático
para Agricultura de Precisión Empleando Instrumentos Virtuales.*

POR:

Michel Torres Santoyo

TESIS

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

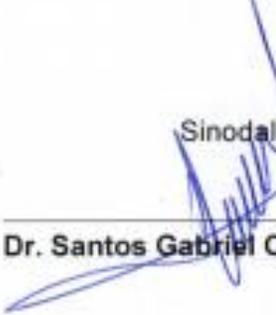
INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el Comité de Tesis

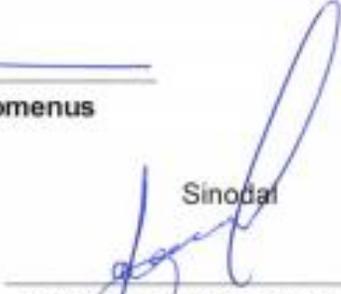
Asesor Principal


Dr. Karim de Alba Romenus

Sinodal


Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal


M.C. Genaro Demuner Molina

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARO"

Coordinador de la división de Ingeniería


Dr. Luis Samaniego Moreno


Coordinación de
Ingeniería

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre, 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **DIOS PADRE** por haberme dado la vida, cuidarme siempre que me encontré en problemas, darme la fuerza para dar todo lo mejor de mí, día a día y guiarme por el mejor camino, porque sus planes siempre han sido mejores que los míos por eso y mucho más gracias señor.

A la **UAAAN** por haberme abierto sus puertas para poder terminar una carrera, por permitirme estar en sus aulas y ser uno de los pocos afortunados de tener una educación Universitaria... Gracias mi Alma máter.

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

Al **Dr. Martín Cadena Zapata**, por darme la oportunidad de ir de movilidad, ser una gran persona, un amigo y por su confianza de trabajar en el Departamento de Maquinaria Agrícola.

Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández**, una de las pocas personas que admiro y estimo mucho, por su gran apoyo en cuestiones personales y por hacerme forjar más mi carácter. A él le agradezco haberme enseñado que nunca hay que darse por vencido y que una vez caído hay que pararse aun con más fuerza para luchar por lo que uno quiere.

Al **M.C. Gerardo Sánchez Martínez**, por su gran enseñanza, sus experiencias, sus regaños, por enseñarme a controlar la presión y por ser una gran persona muy carismática y con carácter.

A los diversos maestros del departamento de Maquinaria Agrícola en especial al, **M.C. Mario Méndez Dorado, M.C. Genaro Demuner Molina, Ing. Juan Arredondo Valdez, M. C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M. C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, M. C., Ing. Tomás Gaytán Muñiz, Dr. Jesús Valenzuela García, Ing. Rosendo González Garza, Ing. Jorge Flores Berrueto** y todos aquellos maestros que aportaron sus conocimientos y experiencias durante el desarrollo de mi carrera.

A mis **Compañeros** de la carrera de Ing. Mecánico Agrícola, en especial a **Rafael Altamirano Morales, Jesús Martínez Martínez, Edwin Vuelvas Aguilar, José Oliver Jiménez Gómez, Yair Ventura Ramírez**, gracias a todos ellos por su amistad sincera y desinteresada.

DEDICATORIA

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

A mis Padres:

Sr. Martín Torres Villarreal

Sra. Silvia Olga Santoyo Carranza.

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

A mi **Padre** por ser el hombre que más admiro, por sus consejos, sus regaños, sus buenos momentos y porque gracias a él me he forjado y he logrado mis éxitos y siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas por eso y muchas cosas más, con todo respeto este trabajo te lo dedico a ti Papa.

A mi **Madre** el ser más maravilloso y cariñoso que he tenido la dicha de conocer, por tu amor incondicional, protección, por tus consejos, por ser mi confidente, porque siempre te has preocupado por mí, por ser la mejor mamá de todo el mundo por eso y muchas cosas más este trabajo es para ti Mama.

A mi esposa querida:

Anai Martínez Martínez.

Por ser el gran amor de mi vida, que aun pequeñita eres lo más grande que tengo, por tu amor y cariño incondicional, porque siempre has dado lo mejor de ti y que aun y la situación se torne muy mal sé que siempre contare contigo, porque contigo me siento completo y muy feliz por esto y muchas cosas más este trabajo también es para ti mi peque.

A mi tío querido:

David Torres Villarreal.

Por alentarme en momentos difíciles, por sus consejos, por brindarme su amistad, por el apoyo que me ha brindado desde el momento en que nací, por ser el mejor tío del mundo y ser una persona a la cual le guardo mucho respeto, y por muchas cosas más este trabajo se lo dedico.

A mis Hermanas:

Nancy Patricia Torres Santoyo.

Megan Ariana Torres Santoyo.

A las dos les doy gracias por haberme brindado todo su cariño y apoyo en todo momento, me siento muy orgulloso de ser su hermano, gracias por creer en mí y siempre sabrán que mis logros serán sus logros.

A todas las personas que me apoyaron les doy las gracias en especial a la **Profesora Amelia y Leticia** las cuales son dos grandes personas que estimo y admiro mucho por sus grandes consejos y enseñanzas que me brindaron desde pequeño y nunca se olvidaron de mi muchas gracias profesoras.

ÍNDICE DE CONTENIDO	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	5
INDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE CUADROS	13
RESUMEN	14
I. INTRODUCCION	15
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1. Objetivo General	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 Hipótesis.....	17
II. REVISIÓN DE LITERATURA	18
2.1 Antecedentes	18
2.2 Agricultura de precisión	18
2.2.1 Agricultura de precisión a nivel mundial y nacional.	21
2.3 Siembra de precisión.....	23
2.3.1 Mecanismos de medición de semillas.	24
2.3.2 Factores que afectan el llenado de celdas.	24
2.3.3 Fórmula para determinar el llenado de celdas	24
2.4 Funciones de una sembradora neumática de precisión.	24
2.4.1 Tipos de sembradoras.....	25
2.4.2 Beneficios de la siembra de precisión	26
2.4.3 Componentes de la sembradora de precisión.	26
2.5 Variabilidad.....	28
2.5.1 Mapas de rendimiento	30

2.6 Dosis variable	31
2.7 Sistemas de información geográfica	33
2.8 Microcontroladores	35
2.8.1 Pic 16F84a	35
2.9 Programa LabVIEW.....	37
2.9.1 Definición.....	37
2.9.2 Interfaz.	38
2.9.3 Panel Frontal	38
2.9.4 Diagrama de Bloques	39
2.9.5 Compilación del programa.....	40
2.9.6 Aplicaciones generales.....	40
III. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS.....	42
3.1 Ubicación del lugar de investigación	42
3.2 Materiales.....	42
3.3 EQUIPOS	44
3.4 Metodología.....	52
3.4.1 Familiarización con el simulador y los programas a utilizar.....	53
3.4.2 Modificación y construcción de las tarjetas electrónicas.	53
3.4.3 Modificación del programa RETARDOS en el (Microcontrolador).	53
3.4.4 Desarrollo de programas en LabVIEW.....	55
3.4.5 Creación de tabla de prescripciones en Microsoft Access.	56
3.4.6 Configuración del vínculo (.udl) para lectura de la tabla de prescripciones.	56
3.4.7 Configuración del variador de frecuencia.	57
3.4.8 Acoplamiento de todos los componentes y verificación del funcionamiento.....	57

3.4.9 Repeticiones a diferentes voltajes e intervalos de semillas.....	57
3.4.10 Obtención de datos para su análisis en software Minitab.....	58
IV. RESULTADOS	59
4.2 PROGRAMA CAMBIO DE PRESCRIPCION AUTOMATICO	60
4.3 Evaluación del sistema dosificador neumático	62
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
VI. REFERENCIAS	70
ANEXOS.....	73

INDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 2.1 Etapas de la agricultura de precisión.	20
Figura 2.2 Tipos de sembradoras.	26
Figura 2.3 Mapa de rendimiento.	30
Figura 2.5 Componentes del sistema de información geográfica.	34
Figura 2.6 Diagrama de pines del PIC16F84A.....	36
Figura 2.7 Arquitectura interna del PIC 16F84A.	36
Figura 2.8 Descripción del Panel Frontal de un Instrumento Virtual	38
Figura 2.9 Diagrama de bloques de un Instrumento Virtual.....	39
Figura 3.1 Taller y laboratorio de prototipos.	42
Figura 3.2 Microcontrolador PIC16F84A.....	43
Figura 3.3 Sensor opto electrónico de barrera H21A1.....	43
Figura 3.4 Taller de máquinas y herramientas.....	44
Figura 3.5 Banco de pruebas del sistema dosificador neumático.....	44
Figura 3.6 Sensor de semilla real.	45
Figura 3.7 Sensor de semilla ideal.....	45
Figura 3.8 Tarjeta electrónica.	46
Figura 3.9 Tarjeta de adquisición de datos PCI-NI-6221.	46
Figura 3.10 Tarjeta de conexión de señales.	47
Figura 3.11 Variador de frecuencia.....	48
Figura 3.12 Disco de aleación tipo comercial con 30 perforaciones.	48
Figura 3.13 Quemador PICSTART Plus.	49
Figura 3.14 Aspiradora marca Koblenz.	49
Figura 3.15 Computadora Lanix Titán.....	50
Figura 3.16 Logotipo de LabVIEW 2009.	50
Figura 3.17 Logotipo de MPLAB IDE.	51
Figura3.18 Logotipo de PROTEUS Profesional.....	51
Figura 3.19 Metodología general	52
Figura 3.20 Metodología a seguir en la construcción de tarjetas.....	54
Figura 3.21 Metodología a seguir en la construcción de tarjetas electrónicas. .	55

Figura 4.1 Elementos que componen el sistema.	59
Figura 4.2 Panel Frontal del programa.	60
Figura 4.3 Lógica del programa en LabVIEW.	61
Figura 4.4 ANOVA de los factores (AS) y (V) para la evaluación de la confiabilidad y de calidad del sistema de dosificación de semilla.	63
Figura 4.5 Contraste de medias en agrupaciones.	63
Figura 4.6 Contraste de medias en la velocidad.	64
Figura 4.7 (a) Distribución de datos y su interacción.	64
Figura 4.7 (b) Efectos principales para los grupos de semillas.	65
Figura 4.7 (c) Efectos principales para la velocidad.	65
Figura 4.8 Grafica de línea ajustada (SI & V).	66
Figura 4.8.1 Análisis de varianza (SI & V).	66
Figura 4.9 Grafica de línea ajustada (llenado de celdas & velocidad).	67
Figura 4.9.1 Análisis de varianza (llenado de celdas & velocidad).	68
Figura A1 Modificación del circuito de la tarjeta electrónica.	74
Figura A2 Modificación de la tarjeta del sensor de semilla real.	74
Figura B1 Circuito impreso en la placa de cobre.	75
Figura B2 Placa del circuito en ácido férrico.	75
Figura B3 Placa con residuos de ácido.	76
Figura B4 Placa con pistas libres de residuos.	76
Figura B5 Perforado de la tarjeta electrónica.	77
Figura B6 Tarjeta perforada y con algunos componentes.	77
Figura B7 Verificación de funcionamiento de tarjeta electrónica.	78
Figura B8 Tarjeta del sensor semilla ideal terminada.	78
Figura B9 Tarjeta electrónica montada y en funcionamiento.	79
Figura C1 Selección del DAQ Assistant.	80
Figura C2 Selección Counter Input.	81
Figura C3 Selección Sample on demand.	81
Figura C4 Acumulador de pulsos.	82
Figura C5 Herramientas del programa cambio de prescripción.	83
Figura C6 Formato Base de datos en Microsoft Access.	84

Figura C7 Configuración para la lectura de la base de datos.	85
Figura C8 Configuración de la ruta para guardar la corrida.	85
Figura C9 Diagrama de bloques completo del programa (Cambio de prescripción automático).....	86
Figura C10 Panel frontal del programa cambio de prescripción automático.....	87
Figura E1 Selección Nuevo Archivo de texto	89
Figura E2 Configuración archivo de texto	89

INDICE DE CUADROS**PÁGINA**

Cuadro 2.1 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión.	20
Cuadro 2.2 Tendencias de aplicación de AP, de acuerdo con zona geográfica.	22
Cuadro 3.1 Velocidades del dosificador neumático.	58
Cuadro 4.1 Medias de los coeficientes de variación producto de la velocidad de dosificación y grupos de conteo.....	62
Cuadro H1 Coeficientes de variación a una velocidad de 2.0V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.	97
Cuadro H2 Coeficientes de variación a una velocidad de 2.6V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.	97
Cuadro H3 Coeficientes de variación a una velocidad de 3.2V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.	98
Cuadro H4 Coeficientes de variación a una velocidad de 3.8V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.	98
Cuadro H5 Coeficientes de variación a una velocidad de 4.4V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.	99
Cuadro H6 Coeficientes de variación a una velocidad de 5.0V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.	99

RESUMEN

Se contribuyó al desarrollo de un sistema de simulación en tiempo real de dosis variable de semillas a ser empleada en investigación y enseñanza de agricultura de precisión. El sistema desarrollado incluye entre otros un programa de control empleando instrumentos virtuales mediante programación de objetos con la facilidad de LabVIEW. El programa permite el control de la velocidad del dosificador de semillas, leyendo una tabla de prescripción, además del registro en tiempo de semillas reales e ideales. Durante el proceso de evaluación del sistema La velocidad de dosificación mostro un efecto menor al 4% en el registro de las semillas ideales lo cual implica una alta confiabilidad en el sistema de evaluación. El sistema de registro de datos, numero de semillas ideales y reales, desarrollado permitió en forma eficiente determinar la calidad de funcionamiento de un dosificador y recomendar su pertinencia a ser empleado en agricultura de precisión. Para el caso del dosificador “Precision Planting” empleado .en la validación del sistema de simulación de dosis variable, podemos concluir que para dosificaciones menores a X semillas por minuto puede ser recomendada para AP dado que a esta dosificación tiene CV menor al 5%.

I. INTRODUCCION

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

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

Una forma de contrarrestar estos efectos y corregir algunas de sus causas es mediante el manejo óptimo en la aplicación de insumos en la agricultura, para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con muestreo de ambientes a nivel de predio para determinar los factores limitantes de la producción así como su localización precisa para poder de ahí, realizar las prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos.

Se requiere para lo anterior contar con sistemas que se integren, entre otros, por AgDGPS (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial), Sensores, SIG (Sistema de Información Geográfica), así como equipos de dosificación variables de insumos. A nivel mundial, como un indicador, existen alrededor de 20 países que han incorporado estos sistemas inteligentes y automatizados en la aplicación de insumos agrícolas, entre los que destacan Estados Unidos con 30 000 unidades de producción, Argentina con 1200, Brasil con 250, Reino Unido con 400, Paraguay con 4 y México con *cero* unidades. Actualmente en la Universidad

Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) no se cuenta con maquinaria ni equipos e instrumentos automatizados para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión.

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

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

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

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Instrumentar un banco de pruebas para realizar un registro automático de dosificación variable vs dosificación teórica, en donde se integre la digitalización de dosificación variable de semilla con control automático de velocidad desplegado en tiempo real para fines de docencia e investigación.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desarrollo de un programa mediante LabVIEW para el control de velocidad de un dosificador de semilla.
- Evaluación en tiempo real del sistema de simulación de dosis variable y su interacción con la simulación de desplazamiento.
- Monitorear el desempeño de sembradoras en tiempo real mediante el uso de programación por objetos.
- Evaluación de la eficiencia de dosificación.

1.2 Hipótesis

Se comprobará si los dosificadores de semilla empleados en la agricultura de precisión tienen una eficiencia de dosificación permisible en campo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

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

2.2 Agricultura de precisión

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

La idea del manejo de un sitio específico es hacer lo correcto en el lugar adecuado y en el momento oportuno.

De acuerdo con Medina *et al.* (2010) La Agricultura de precisión es el término utilizado para describir la meta del aumento de la eficiencia en la administración de la Agricultura. Pero no es simplemente la habilidad de aplicar distintos tratamientos a escala local, sino que se deben de tener en consideración los conocimientos suficientes para entender todos los procesos relacionados, de modo que puedan interpretar los resultados obtenidos para lograr una meta determinada.

En cambio Maroni (2007) Menciona que la agricultura de precisión podría definirse como un conjunto de prácticas agrícolas utilizadas para identificar y registrar la variabilidad de ciertos parámetros agronómicos dentro de un mismo lote. Sobre la base de dicha información se aplican dosis variables de insumos posicionándolos en el lote acorde a la necesidad de un nivel de productividad prefijado.

De acuerdo con AGCO (2005) Los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir este conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes.

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

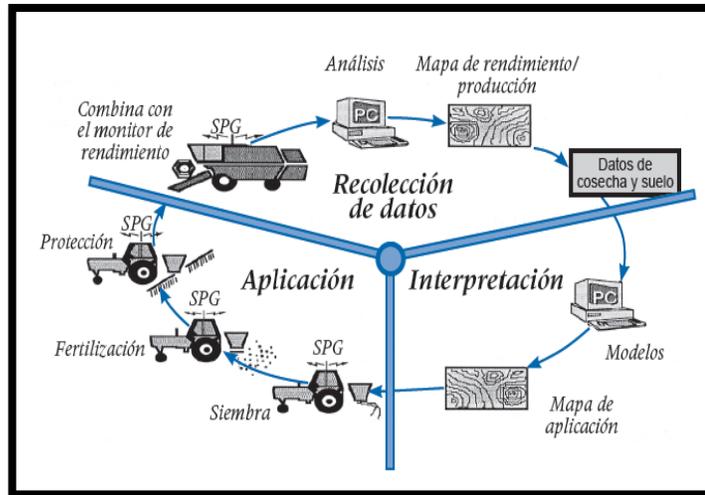


Figura 2.1 Etapas de la agricultura de precisión.

Cuadro 2.1 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión.

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

2.2.1 Agricultura de precisión a nivel mundial y nacional.

Dentro de las estimaciones *Argentina es el segundo país más tecnificado del mundo en el sector agrícola, precedido solo por Estados Unidos. Según* señaló Andrés Méndez, técnico del INTA Manfredi. (*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*), *tiene siete millones de hectáreas sembradas con 'agricultura de precisión'*. De sus 33 millones de hectáreas sembradas, cuenta con 21,6% de esa superficie equipada con herramientas de agricultura de precisión (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).

Según Borghi (2014) La innovación de los productos argentinos, en lo que respecta a las herramientas de agricultura de precisión 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 en las exportaciones, especialmente en los países donde se encuentran máquinas sembradoras y pulverizadoras, tales como Sudáfrica, Australia y Ucrania.

Al mismo tiempo otros países tecnificados como Alemania, Japón y Bélgica, entre otros, tienen el 100% de uso de las herramientas pero la cantidad de hectáreas es muy inferior a la de Argentina. (Economía., 2012).

Con relación a una hipótesis de Norton y Swinton (2000) la Agricultura de Precisión va a ser adoptada primero en zonas de explotaciones grandes y con gran capital de inversión por hectárea. Las estadísticas de [FAO](#) muestran que países como [EEUU](#), [Canadá](#) y [Australia](#) cumplen 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 Agricultura de Precisión, en un futuro cercano por ejemplo la pampa húmeda Argentina o los cerrados brasileños.

El manejo sitio específico tiene gran potencial en países en desarrollo como [Europa](#) Occidental, EEUU, [Canadá](#), [Japón](#), [Australia](#) y [Nueva Zelanda](#), pero el uso de las tecnologías de Agricultura de Precisión para automatizar el manejo sitio específico se limitará probablemente a zonas con producciones mecanizadas de gran escala. Los patrones de adopción de la Agricultura de Precisión fuera de EEUU y Canadá no han sido estudiados en 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.

Cuadro 2.2 Tendencias de aplicación de AP, de acuerdo con zona geográfica.

Zona Geográfica	Sector Productivo	Rubro
Europa (Italia – Francia)	1º Cultivos Industriales	Maíz, Trigo, Canola
	2º Frutales	Pomáceas – Olivos
	3º Viticultura	Viñas
	4º Hortalizas	De modo experimental
Latinoamérica (Argentina y Brasil)	1º Cultivos Industriales	Maíz, Soja, Canola, Trigo, Caña de Azúcar
	2º Ganadería Bovina	Lechería
	3º Frutales	Manzano
América del Norte (USA)	1º Cultivos Industriales	Maíz, Trigo, Soja
	2º Frutales	Berries, Pomáceas, Carozos, Frutos de Nuez
	3º Viticultura	Viñas
Australia	1º Cultivo Industriales	Trigo
	2º Viticultura	Viñas
	3º Ganadería	Ovina y Bovina de Carne

Sin embargo, el precio de todo el equipo necesario para la agricultura de precisión es sumamente elevado, consideró Ochoa Ibarra; el costo del tractor, así como del GPS, la computadora, el software y los instrumentos necesarios para hacer las mediciones, superan 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).

2.3 Siembra de precisión.

Kepner (1978) define que las características que se deben reunir para la siembra de precisión son:

- Las semillas deben de ser uniformes en tamaño y forma, preferiblemente esféricas.
- La celda debe de ser del tamaño apropiado para las semillas. Los platos y otras partes críticas del mecanismo de medición deben de ser hechas con exactitud.
- Las semillas deben de tener una adecuada oportunidad de entrar a las celdas. La velocidad del plato y la distancia de exposición de las celdas en el depósito son los parámetros básicos, siendo más efectivo a baja velocidad que largas distancias de exposición.
- Un buen mecanismo limpiador es necesario para prevenir llenado múltiple (exceso) de celda sin provocar una eliminación excesiva (déficit) de semillas.
- El tubo de caída debe ser de un diámetro pequeño, liso, recto y debe terminar en la proximidad del fondo del surco, con el objeto de que no se retrase la semilla durante la caída.
- Las semillas deben situarse a la profundidad adecuada y no deben desviarse por rebote o rodar en el surco.
- Descargas positivas de las semillas desde las celdas.
- Las semillas no deben de ser dañadas.

Las semillas deben de ser transportadas de la unidad de medición al fondo del surco, de tal manera que el patrón de espaciamiento producido por el mecanismo de medición sea mantenido.

2.3.1 Mecanismos de medición de semillas.

Los mecanismos de medición de semillas se clasifican de la siguiente manera:

- De plato horizontal.
- De plato inclinado.
- De plato vertical.
- Con celdas en bandas.
- Con celdas circunferenciales.
- Neumático con ranuras.
- Por dosificación al vacío.

2.3.2 Factores que afectan el llenado de celdas.

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 al tamaño de la celda, el rango de tamaño de la semilla, la forma de la semilla, 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).

2.3.3 Fórmula para determinar el llenado de celdas

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

2.4 Funciones de una sembradora neumática de precisión.

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

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

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

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

2.4.1 Tipos de sembradoras.

Las máquinas sembradoras tienen como misión colocar en el terreno, bien sobre toda la superficie o bien en líneas equidistantes, las más diversas clases de semillas, sin dañarlas y a una profundidad uniforme.

Las sembradoras se pueden clasificar según el sistema de siembra requerido:

- A voleo: distribución al azar de las semillas sobre toda la superficie del terreno.
- En líneas o a chorrillo: Colocación aleatoria de las semillas en un surco, cubriéndolas, para dar líneas definitivas.
- A golpes: Colocación de grupos de semillas a distancias definidas, en líneas.
- Monogrado (de precisión): colocación precisa de semillas individuales a distancias definidas, en línea.

Una sembradora de precisión es aquella que deposita a profundidad uniforme y a distancias iguales el grano, consiguiendo además un paralelismo entre líneas.

También pueden ser clasificadas según su sistema de dosificador.

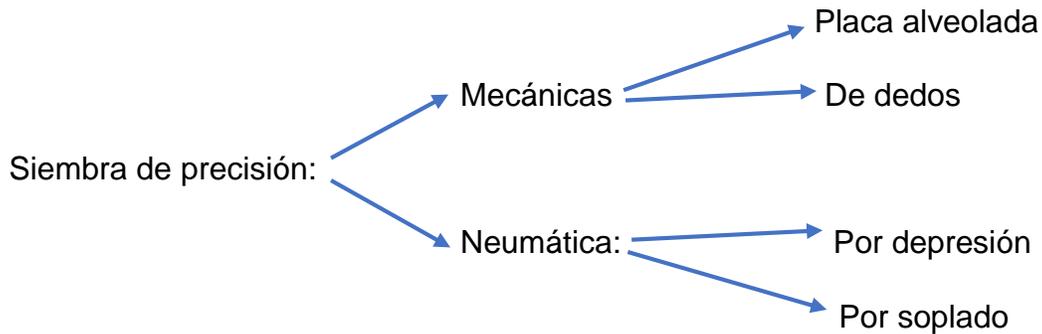


Figura 2.2 Tipos de sembradoras.

2.4.2 Beneficios de la siembra de precisión

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

2.4.3 Componentes de la sembradora de precisión.

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

- Bastidor
- Discos cortadores de residuo
- Abridor de surcos
- Dosificador de semilla
- Dosificador de fertilizante

- Tapadores de surcos
- Transmisión
- Sensores de dosificación
- Turbina

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 empleó una leva, que permitió simular la magnitud y la amplitud de las sacudidas desde 0 hasta 25mm.

García *et al.* (2000) Realizó un estudio sobre la calidad de dosificación de sembradoras neumáticas en laboratorio, donde evaluó una sembradora monogrado marca "STANHAY", con tres tipos diferentes de semilla, a velocidades del disco dosificador de 12 y 24 rpm con tres niveles de vacío 30, 40 y 60 milibares con niveles de sacudidas de 2 y 4 impactos s-1, con una amplitud de 20mm. Como resultado las sacudidas alteran notablemente la calidad del trabajo, como también la velocidad excesiva del mismo disminuye la entrega de semillas del mecanismo dosificador.

Colombino (1996) diseñó y construyó un banco de ensayos para equipos dosificadores de sembradoras y 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-1 y 0.75 kW de potencia, para reducir la velocidad del motor empleando un variador mecánico.

Ramírez (2000) desarrolló un sistema semiautomático para el control de la frecuencia de la dosificación de 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 reporta que los resultados más satisfactorios se dieron a bajas velocidades (26 y 36 rpm) y de (10 y 12.5 pulgadas de agua).

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

2.5 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.

Pero con el mapa de rendimiento de un año no es suficiente para caracterizar ambientes ya que se puede prestar para múltiples errores de interpretación (Blackmore, *et al.*, 2003; Kaspar, *et al.*, 2003). Por lo tanto, es necesario la búsqueda de factores con mayor estabilidad espacio temporal que permitan explicar la variabilidad del rendimiento (Mackinion, *et al.*, 2010).

La caracterización de la variabilidad de las propiedades del suelo, junto con la dinámica climática, son dos de los insumos más importantes para poder determinar las causas de la variabilidad espacio temporal del rendimiento a escala de lote (Bullock y Bullock, 2000).

Además, dentro de la agricultura de precisión, Blackmore (2007) ha identificado tres tipos de variabilidad los cuales son los más representativos para la implementación de esta nueva tecnología.

- El primero de ellos la variabilidad espacial que puede ser vista de manera sencilla como los cambios que se presentan en un lote de tierra.
- El segundo aspecto importante identificado es 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).
- La tercera idea a destacar es la variación predictiva la cual se centra en explicar la forma en que varía los resultados previstos por el agricultor aplicando una serie de actividades con los resultados de producción real en el cultivo.

2.5.1 Mapas de rendimiento

Los Mapas de Rendimiento (MR) son imágenes georreferenciadas con una escala de colores que indican el rendimiento de un punto en específico. Por lo general, son desarrollados por científicos y especialistas de la Agricultura, donde los interesados (agricultores, cosechadores y productores) deben pagar un precio alto para obtenerlos.

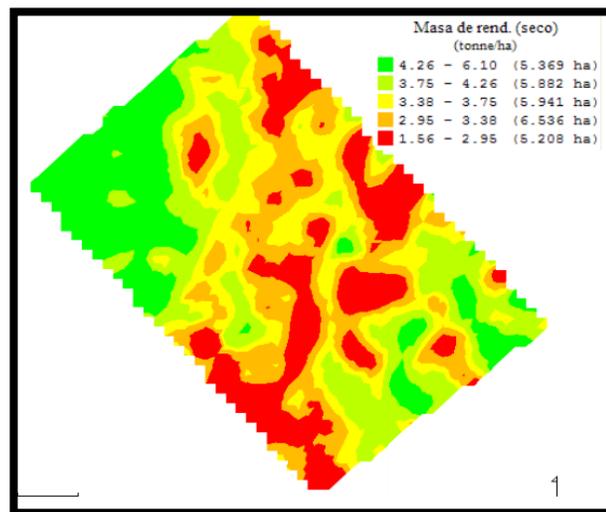


Figura 2.3 Mapa de rendimiento.

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 *et al.*, 2011).

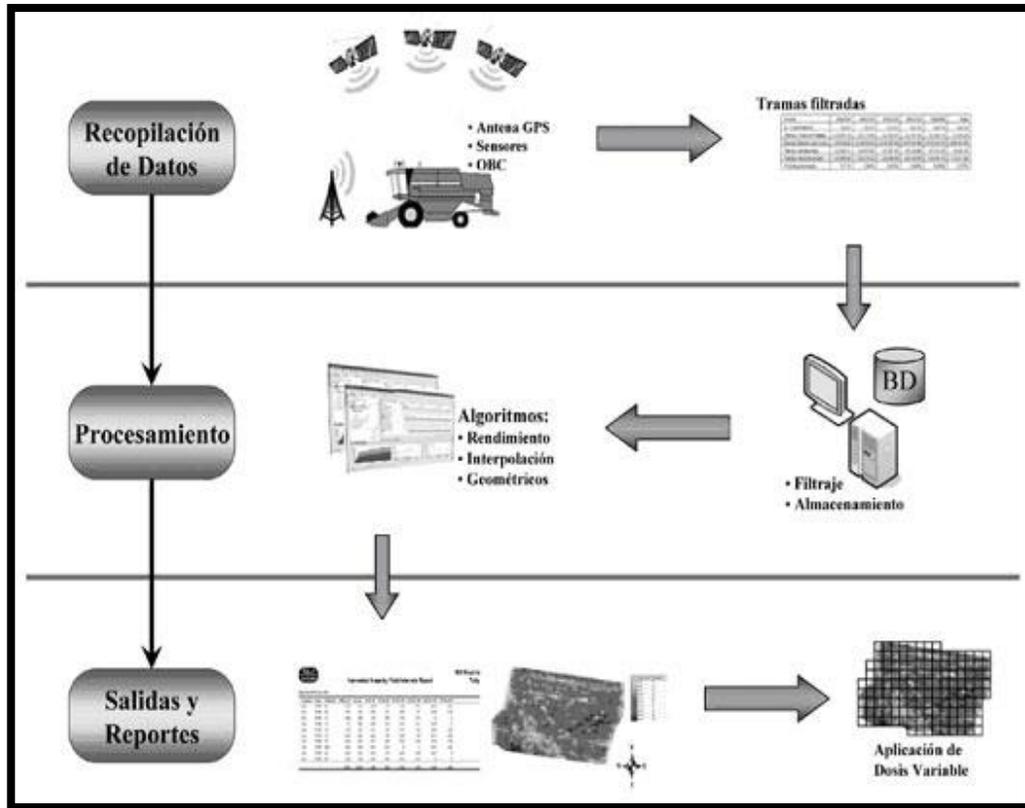


Figura 2.4 Proceso para generar mapas de rendimiento.

Una gran herramienta de la agricultura de precisión son los mapas de producción mediante los cuales es posible definir cuales áreas del cultivo que presentan una adecuada producción y cuales áreas requieren análisis especial, donde deben aplicarse correctivos en busca del objetivo deseado. (Lago *et al.*, 2011).

2.6 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 optimiza los recursos y

preserva el medio ambiente, con el objetivo de lograr una mejor sustentabilidad agropecuaria.

El manejo de cultivo con dosis variable es el uso de la variabilidad del suelo y parámetros de cultivo para tomar decisiones en la aplicación de insumos. Los sitios pueden presentar distintos tipos de variabilidad: por topografía, por génesis de suelo, por distinto tipo de manejo, etc. Mientras más diferencias potenciales de rendimiento tengan esos sitios, existe mayor posibilidad de que la aplicación variable de los insumos obtenga mejores resultados. (Ortega y Santibáñez., 2007).

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.

Según 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 una 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 físico-químico 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 precisa, ej. 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.

2.7 Sistemas de información geográfica

La existencia de variabilidad en campo. Requiere el uso de las tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes y otras entradas necesarias, y predecir con más exactitud la producción de los cultivos y una mejor toma de decisiones.

Durante mucho tiempo se ha reconocido que el avance de la gestión de las APS depende de la aparición y la convergencia de varias tecnologías (Shibusawa 1998), incluyendo sistemas de información geográfica (SIG), sistema de posicionamiento Global, los receptores GPS, y GIS. Son útiles para mantener precisas registros de la ubicación, hectáreas plantadas y un rendimiento de los cultivos.

El sistema GPS hace posible registrar la variabilidad de los datos, lo que hace posible determinar la posición de forma correcta y continua. Según Nemenyi *et al.*, (2003), el manejo de un SIG es de vital importancia en la agricultura de precisión, ya que permite generar visiones complejas del terreno de trabajo, para tomar decisiones como la aplicación de fertilizantes o determinar las causas de la variabilidad. Bragachini *et al.*, (1999) define “estos sistemas como una gran herramienta en la agricultura moderna ya que cada variable medida va a estar exactamente localizada y de esta forma tenemos la posibilidad de volver a él, localizarlo, obrar sobre él y grabar nuevamente el resultado”.

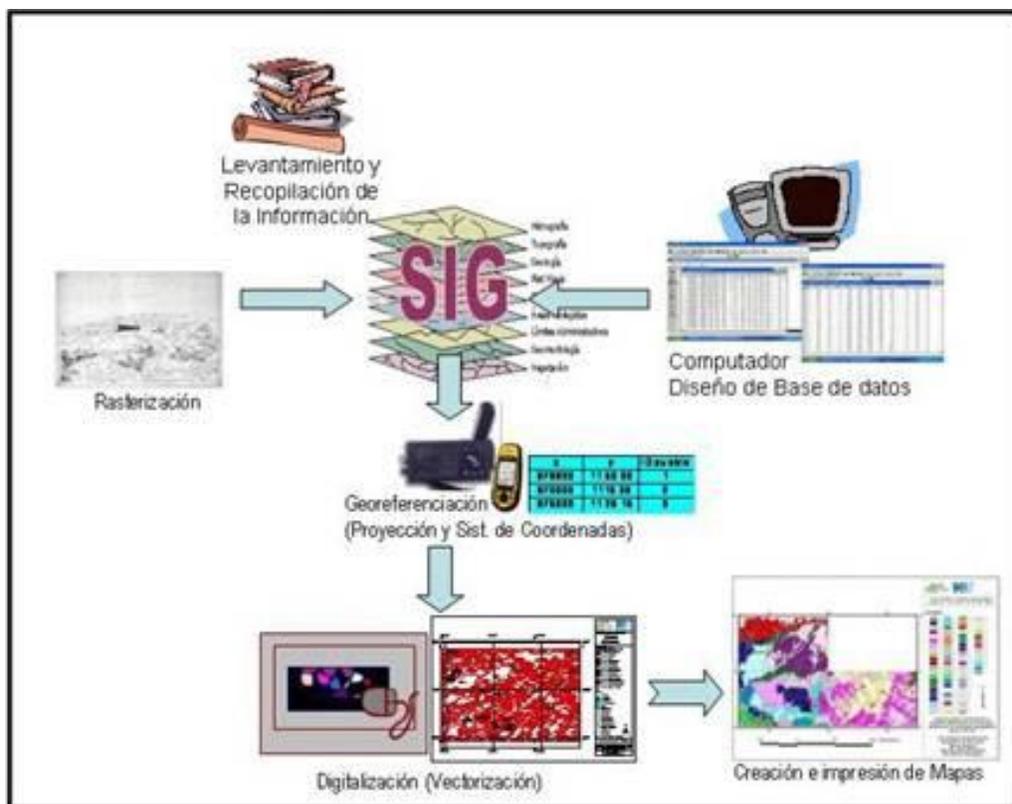


Figura 2.5 Componentes del sistema de información geográfica.

Para la implementación de prácticas de AP, unido a las metodologías tradicionales de muestreo, análisis e interpretación, existen tres tecnologías, o grupos de ellas, que son clave:

- Sistemas de posicionamiento global (GPS): permiten la localización instantánea (latitud, longitud) dentro de un sitio o lote de producción. Normalmente, y partir de la eliminación de la disponibilidad selectiva, los sistemas de GPS han alcanzado una mayor exactitud, pero aún existen errores en las mediciones, por ello deben usarse equipos GPS con corrección diferencial (DGPS).
- Sistemas de información geográfica (SIG): permiten la integración espacial, el manejo y análisis de la información recolectada.
- Sensores, equipos y maquinaria especializada: permiten la recolección de la información en terreno y la aplicación variable de insumos.

2.8 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada, (Angulo y Angulo., 1997).

2.8.1 Pic 16F84a

El PIC es un microcontrolador de 8 bytes de la familia PIC perteneciente a la gama media cuenta con 18 pines, una memoria de programación serial de 1024 instrucciones y 68 bytes de RAM, 64 bytes de datos EEPROM, memoria flash de programa de (1K x 14 bytes). La memoria de programación es eléctricamente borrable ya que no se requiere borrarlo con luz ultravioleta como las versiones EPROM. Internamente cuenta con un contador de tiempo. Este PIC se presenta en un Chip de 18 pines de los cuales 13 están disponibles como Entradas / salidas, bajo consumo de energía, tecnología de alta velocidad, funcionamiento comercial de 2,0 a 5,5 V, (Angulo y Angulo., 1997).

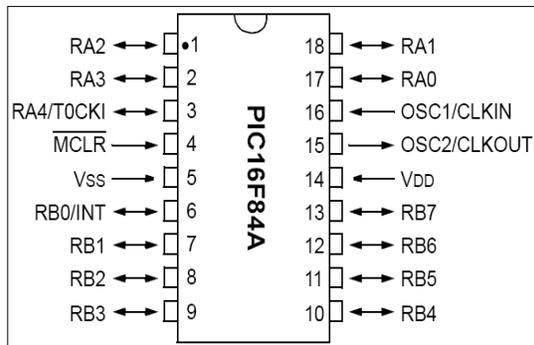


Figura 2.6 Diagrama de pines del PIC16F84A.

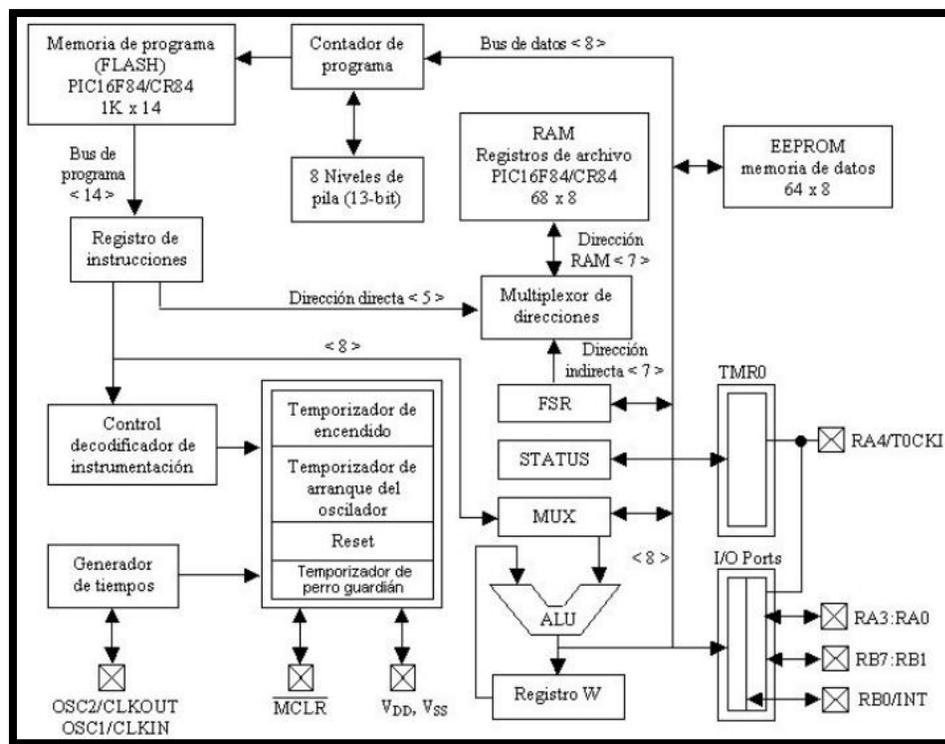


Figura 2.7 Arquitectura interna del PIC 16F84A.

En los últimos años se ha popularizado el uso de este microcontrolador debido a su bajo costo y tamaño. Se ha usado en numerosas aplicaciones, que van desde los automóviles a decodificadores de televisión. Es muy popular su uso por los aficionados a la robótica y electrónica. Puede ser programado tanto en lenguaje ensamblador como en Basic y principalmente en C, para el que existen numerosos compiladores.

2.9 Programa LabVIEW

2.9.1 Definición

De acuerdo a Mona y Ramos, (2012), LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación de alto nivel gráfico (G) para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. Permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva basada en Software. Usted puede diseñar especificando su sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería. LabVIEW es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación, como por ejemplo Matlab.

LabVIEW es un lenguaje de programación gráfico diseñado para ingenieros y científicos para desarrollar aplicaciones de pruebas, adquisición de datos, control y medidas. La naturaleza intuitiva de la programación gráfica de LabVIEW lo hace fácil de usar. LabVIEW es el acrónimo de (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench). National Instruments es la empresa desarrolladora y propietaria de LabVIEW,

Las ventajas más importantes que tiene este lenguaje de programación es que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes). Es muy simple de manejar, debido a que está basado en un nuevo sistema de programación gráfica, llamado lenguaje G.

Es un programa que contiene librerías especializadas para manejos de tarjetas de adquisición de datos (DAQ: Data Acquisition), redes, comunicaciones, análisis estadístico, comunicación con bases de datos (útil para una automatización de una empresa a nivel total).

2.9.2 Interfaz.

Los VIs de LabVIEW contienen tres componentes principales: el panel frontal y el diagrama de bloques y el programa compilado.

2.9.3 Panel Frontal

(Donde se ven los datos, se manipulan y controlan). Aquí es donde estarán ubicados todos los indicadores y controles que el usuario podrá ver cuando el programa esté en funcionamiento. Por ejemplo botones, perillas, graficas, etc.

En la figura se muestra un diagrama esquemático del panel frontal de un instrumento virtual. Sin embargo, los indicadores y medidores que este contiene no son los únicos encontrados en las librerías de LabVIEW, y conforme se actualizan las versiones de este software, se añaden numerosos iconos de este tipo según se dan las necesidades de los usuarios de National Instruments.

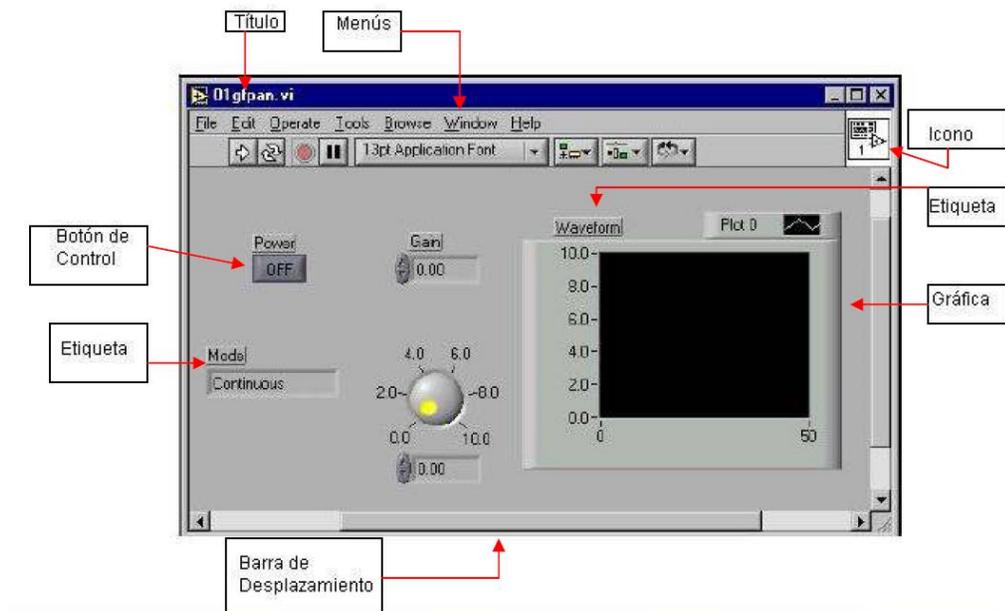


Figura 2.8 Descripción del Panel Frontal de un Instrumento Virtual

2.9.4 Diagrama de Bloques

Aquí se aprecia la estructura del programa, su función y algoritmo, de una forma gráfica en lenguaje G, donde los datos fluyen a través de líneas.

Se usan en este diagrama estructuras de programación, y flujo de datos entre las diferentes entradas y salidas, a través de líneas. En este las subrutinas son mostradas como iconos de cajas negras, con unas entradas y unas salidas determinadas, donde en el interior se cumplen una función específica. El flujo se aprecia, como se dibujaría en un bosquejo de sistemas, cuando se habla de teoría de sistemas, donde cada subsistema se representa como un cuadro con entradas y salidas.

Todos los indicadores y controles ubicados en el panel frontal están respaldados por un terminal de conexión en el diagrama de bloques tal como si se tuviera un tablero de control de una maquina o un avión, donde por el frente se ven los indicadores y por el lado posterior se aprecian todos los cables y terminales de conexión.

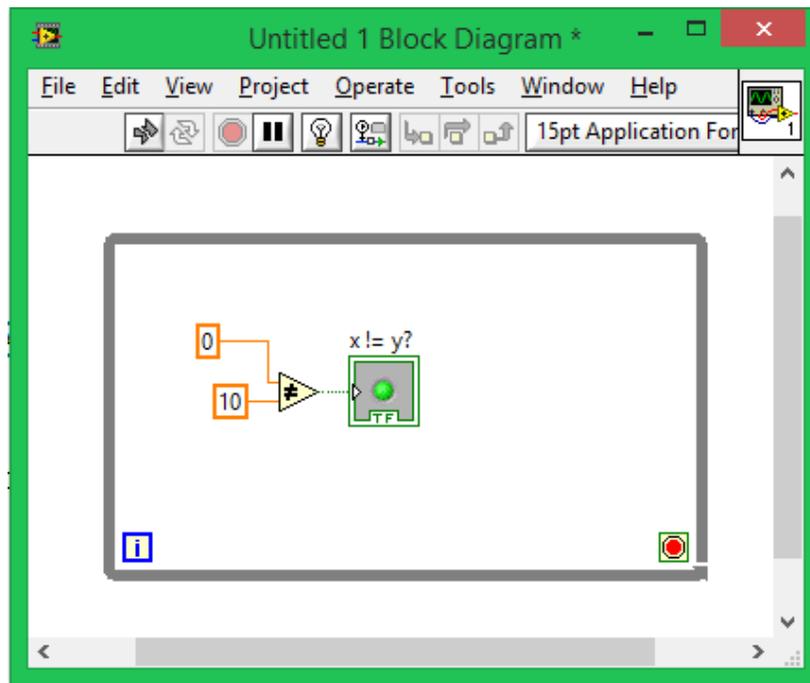


Figura 2.9 Diagrama de bloques de un Instrumento Virtual.

2.9.5 Compilación del programa

Cuando se escribe en LabVIEW, el algoritmo escrito de forma gráfica no es ejecutable por el computador, por lo tanto, LabVIEW lo analiza, y elabora un código ensamblador, con base en el código fuente de tipo gráfico. Esta es una operación automática que ocurre al ejecutar el algoritmo, por lo tanto no es importante entender como sucede esto. Lo que sí es algo para apreciar, es que en este proceso, se encuentran los errores de confección que son mostrados en una lista de errores, donde con solo darle doble clic al error, se aprecia en el diagrama de bloques, donde ocurre este, para su corrección.

2.9.6 Aplicaciones generales

Dentro de las aplicaciones que se pueden generar con el software LabVIEW son las siguientes:

- Adquisición de datos.
- Procesamiento de señales.
- Automatización de sistemas.
- Control de instrumentos mecánicos y virtuales.
- Monitoreo y control de sistemas.
- Pruebas y validación de sistemas.
- Enseñanza académica.

Cabe mencionar que en la actualidad en el sector agrícola y agropecuario se diseñan muchas aplicaciones con el software LabVIEW para el control, monitoreo pruebas etc. de sistemas.

Perales *et al.* (2010) Diseñaron una interfaz en LabVIEW para el monitoreo remoto mediante internet de las variables críticas del cultivo (temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y posición del sistema), esta información estaría en la red y un ordenador conectado a internet toma la decisión del encendido y el apagado de un sistema de riego de pivote o mandar una alerta para que el usuario tome la decisión.

Esto se logró mediante una tarjeta de adquisición de datos con 20 pines configurables como entradas salidas, la sincronización de un par de torres con sensores capacitivos reduciendo el mantenimiento y la programación en interfaz LabVIEW el cual facilito la sincronización con internet y el usuario.

III. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS.

3.1 Ubicación del lugar de investigación

En la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo Coahuila, México. En el departamento de Maquinaria Agrícola, se llevó a cabo la instrumentación de un sistema inteligente de dosificación neumática de semilla en tiempo real e ideal durante el periodo 2013-2014.



Figura 3.1 Taller y laboratorio de prototipos.

3.2 Materiales

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

- Microcontrolador PIC16F84, con memoria tipo flash lo que permite que sea reprogramado, compuesto de 18 pines, 13 pines de E/S 5 del puerto A y 8 del puerto B, utiliza un oscilador de cristal de 4 MHz, Cuenta con una Memoria de Programación serial de 1024 registros, 128 posiciones de

memoria RAM de 8 bits cada una y 64 posiciones de memoria EEPROM de 8 bits cada una.

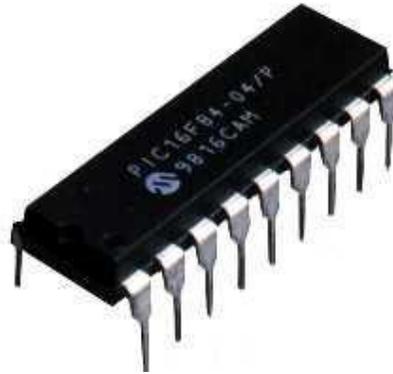


Figura 3.2 Microcontrolador PIC16F84A.

- Sensor opto electrónico para la construcción de los sensores.

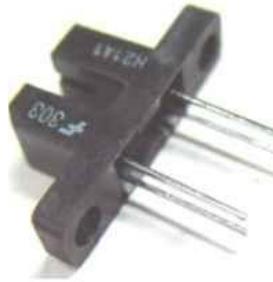


Figura 3.3 Sensor opto electrónico de barrera H21A1.

- Para las evaluaciones correspondientes se utilizó: semilla de frijol y cámara fotográfica.
- Herramientas y componentes electrónicos, utilizados en la construcción del hardware (creación y acondicionamiento de tarjetas electrónicas), para el programa desarrollado.
- Para el acondicionamiento del prototipo de banco de pruebas de dosificadores de semillas se utilizó el taller de máquinas y herramientas, cual consta de las herramientas necesarias para el trabajo.



Figura 3.4 Taller de máquinas y herramientas.

3.3 EQUIPOS

Banco de pruebas

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



Figura 3.5 Banco de pruebas del sistema dosificador neumático.

Sensor de semilla real

Sensor de semilla real (tipo comercial marca John Deere) para los sistemas dosificador mecánico y neumático.



Figura 3.6 Sensor de semilla real.

Sensor de semilla ideal

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



Figura 3.7 Sensor de semilla ideal.

Tarjetas electrónicas

Con la finalidad de contar los pulsos de la caída de semillas ideales del simulador provenientes del plato dosificador mecánico y las revoluciones por minuto del motorreductor, se realizó la reproducción de dos tarjetas electrónicas, las cuales fueron diseñadas en la UAAAN por (Ariel, 2012).

A continuación se muestra una de las dos tarjetas electrónicas para recibir señal de los sensores de caída de semilla y el sensor de semilla ideal. (Pérez, 2013)

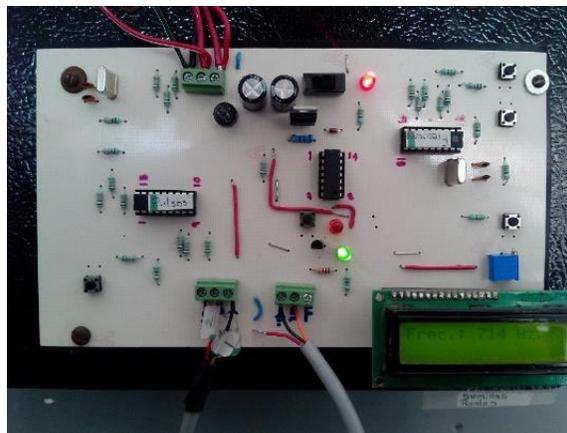


Figura 3.8 Tarjeta electrónica.

Tarjeta de adquisición de datos National Instrument

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



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

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

Es utilizada para la comunicación externa con las tarjetas electrónicas las cuales reciben la señal del sensor de caída de semilla real e ideal, además del sensor del motorreductor y mandar señal al variador de frecuencia.

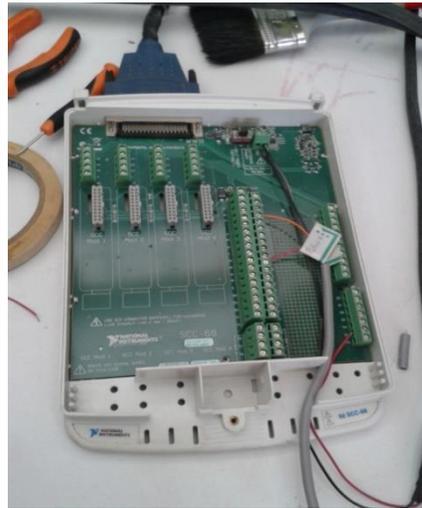


Figura 3.10 Tarjeta de conexión de señales.

Variador de frecuencia

Marca Mitsubishi FREQROL-A200. Este variador permite enviar velocidad en Hertz al motorreductor para iniciar la transmisión de los sistemas dosificadores del banco de pruebas.



Figura 3.11 Variador de frecuencia.

Disco simulador del plato dosificador

Disco (fundición de aluminio) con 30 perforaciones, ensamblada en el dosificador neumático que se acopla con un sensor opto electrónico, el cual permite contabilizar los pulsos de la caída de semillas que serían las ideales, la cadena utilizada en el sistema de transmisión y el paso de engranes es número 40 de tipo industrial.



Figura 3.12 Disco de aleación tipo comercial con 30 perforaciones.

Programador PICSTART Plus

El programador o quemador PICSTART Plus (Development programmer) de Microchip Technology, el cual va conectado al puerto serial de la computadora y a una fuente de alimentación de +9 V, fue utilizado para grabar el programa en la memoria del Pic 16F84A.



Figura 3.13 Quemador PICSTART Plus.

Bomba generadora de vacío

Aspiradora marca Koblenz, motor 1.0 Hp con capacidad de 9.5 litros, aspira sólidos y líquidos con expulsión de aire trasera.



Figura 3.14 Aspiradora marca Koblenz.

Computadora personal

Una computadora marca Lanix Titán 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 2Gb y memoria de disco duro 160 Gb.



Figura 3.15 Computadora Lanix Titán.

Software LabVIEW 2009

El software LabVIEW 2009 de National Instruments. Es el software en el cual se desarrolló el programa virtual que permite tener comunicación con la tarjeta de adquisición de datos National Instruments, mismo que recibe y envía señales de los sensores y actuadores, activando de forma dinámica y variable los sistemas de dosificación.

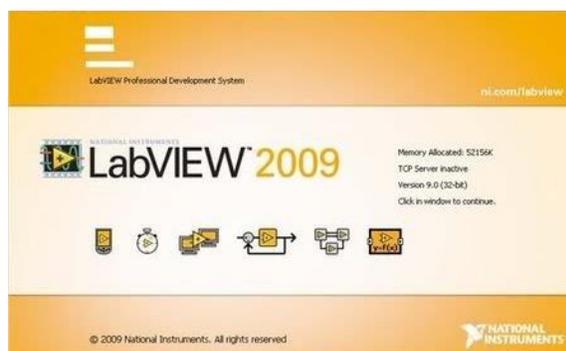


Figura 3.16 Logotipo de LabVIEW 2009.

Software MPLAB IDE 8.10

El software MPLAB IDE Versión 8.10, es el editor del lenguaje ensamblador donde generaron y se probaron los programas para el conteo de las semillas con diferentes retardos.



Figura 3.17 Logotipo de MPLAB IDE.

Software PROTEUS 8.1

El software PROTEUS 8.1 Profesional, fue utilizado para la generación de los diagramas de las placas y el cual aunado con el MPLAB, son utilizados para la simulación de los circuitos, antes de ser probados de manera física.

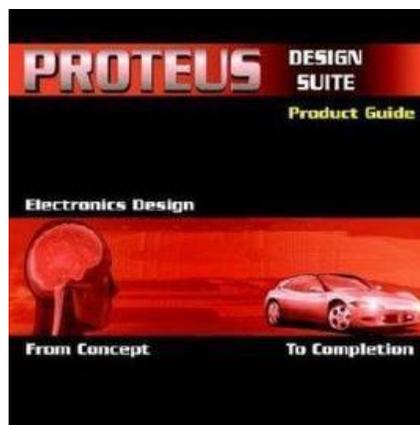


Figura3.18 Logotipo de PROTEUS Profesional.

3.4 Metodología

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

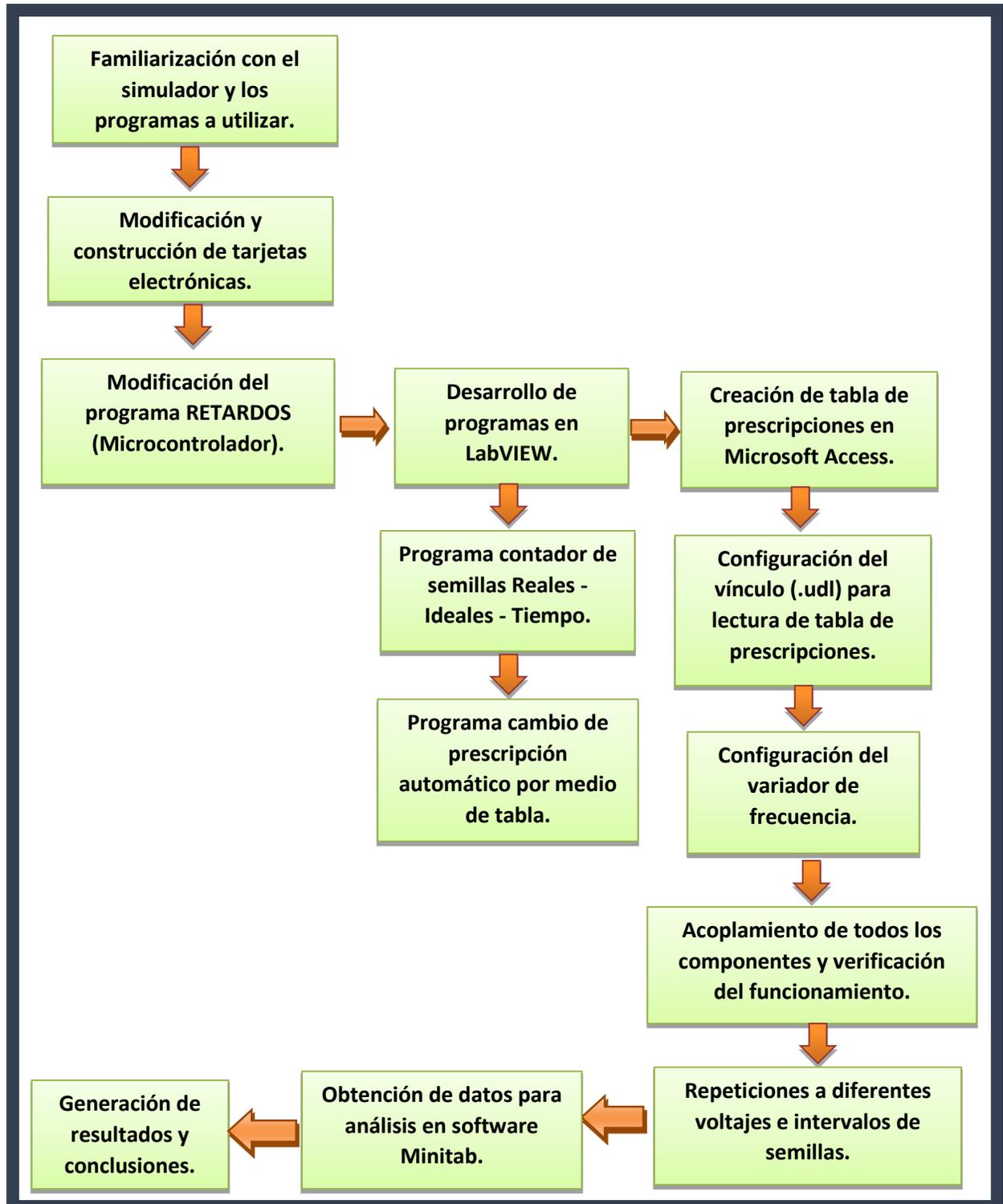


Figura 3.19 Metodología general

3.4.1 Familiarización con el simulador y los programas a utilizar.

Para conocer el funcionamiento correcto, el mejor uso 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 el objetivo de detectar imperfecciones en el sistema para posteriormente corregirlas. Además de familiarizarse con los diferentes softwares (LabVIEW, Proteus, MPLab, Picstar Plus, etc.)

3.4.2 Modificación y construcción de las tarjetas electrónicas.

Las tarjetas electrónicas se modificaron ya que las anteriores tenían demasiados puentes y resistencias que podían reducirse, y hacer un diseño más óptimo para tener un mejor funcionamiento, además de agregarle un capacitor cerámico (104) para eliminar el ruido magnético que de acuerdo con José (2010) existía y distorsionaba el conteo de los pulsos de los sensores. (Ver Anexo A)

3.4.3 Modificación del programa RETARDOS en el (Microcontrolador).

Para la programación del controlador Pic 16F84a se empleó el lenguaje ensamblador con el software MPLab en el cual se modificó el retardo para el intervalo de caída de cada semillas y no se generaran revotes (conteos erróneos de semillas empalmadas), el cual fue simulado en el ambiente del software PROTEUS, después de verificar su correcto funcionamiento se graba en el microcontrolador para posteriormente revisar el funcionamiento en la tarjeta electrónica.

En el diagrama de bloques de la figura 3.20 se muestra la metodología a seguir

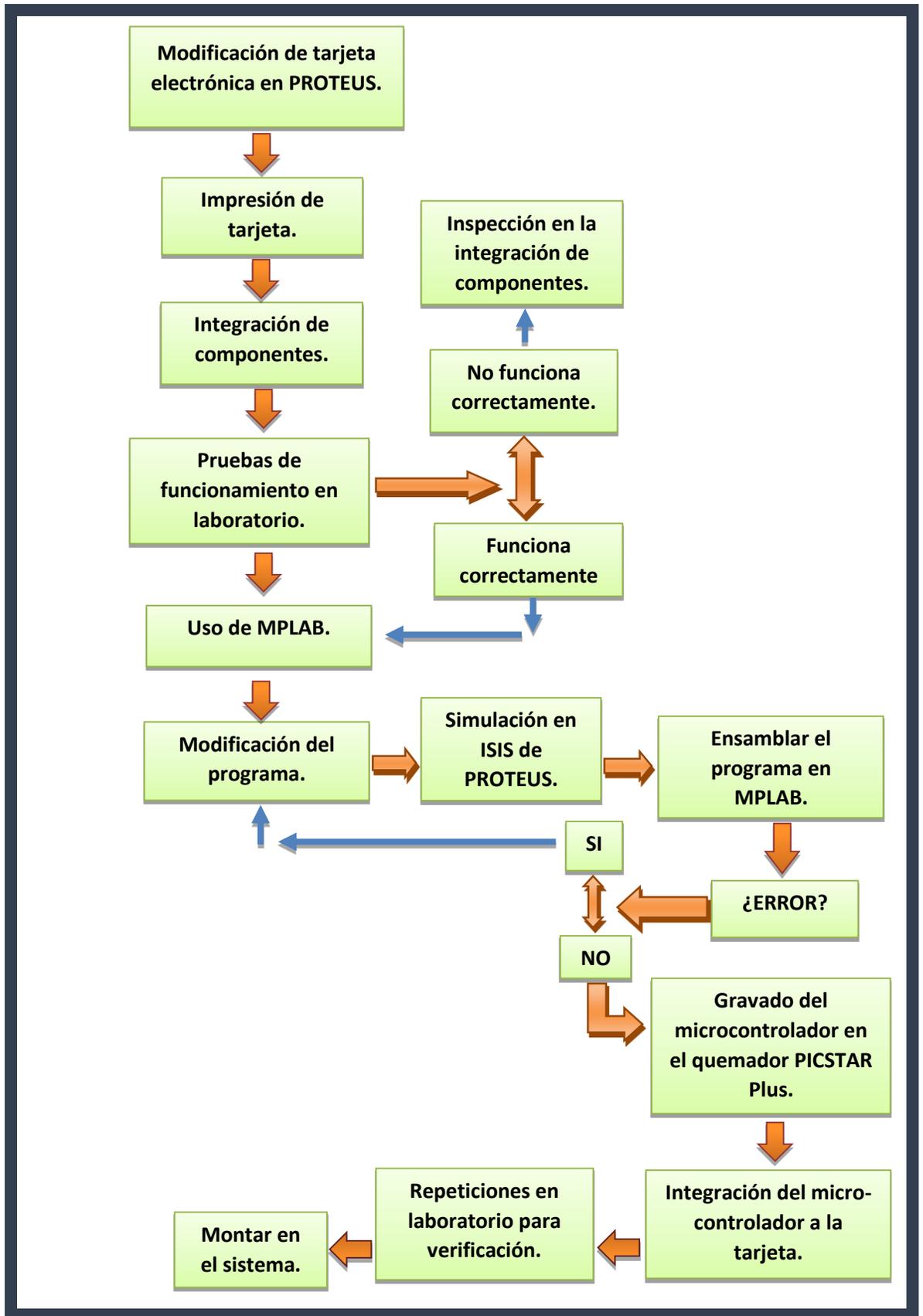


Figura 3.20 Metodología a seguir en la construcción de tarjetas electrónicas.

3.4.4 Desarrollo de programas en LabVIEW.

Para la programación por objetos se utilizó el software LabVIEW 9.0 de National Instruments en el cual se comenzó por comprender la lógica de cómo es que trabaja el programa y la creación de programas sencillos como sumas y restas, para poder pasar a la creación de los programas más complejos.

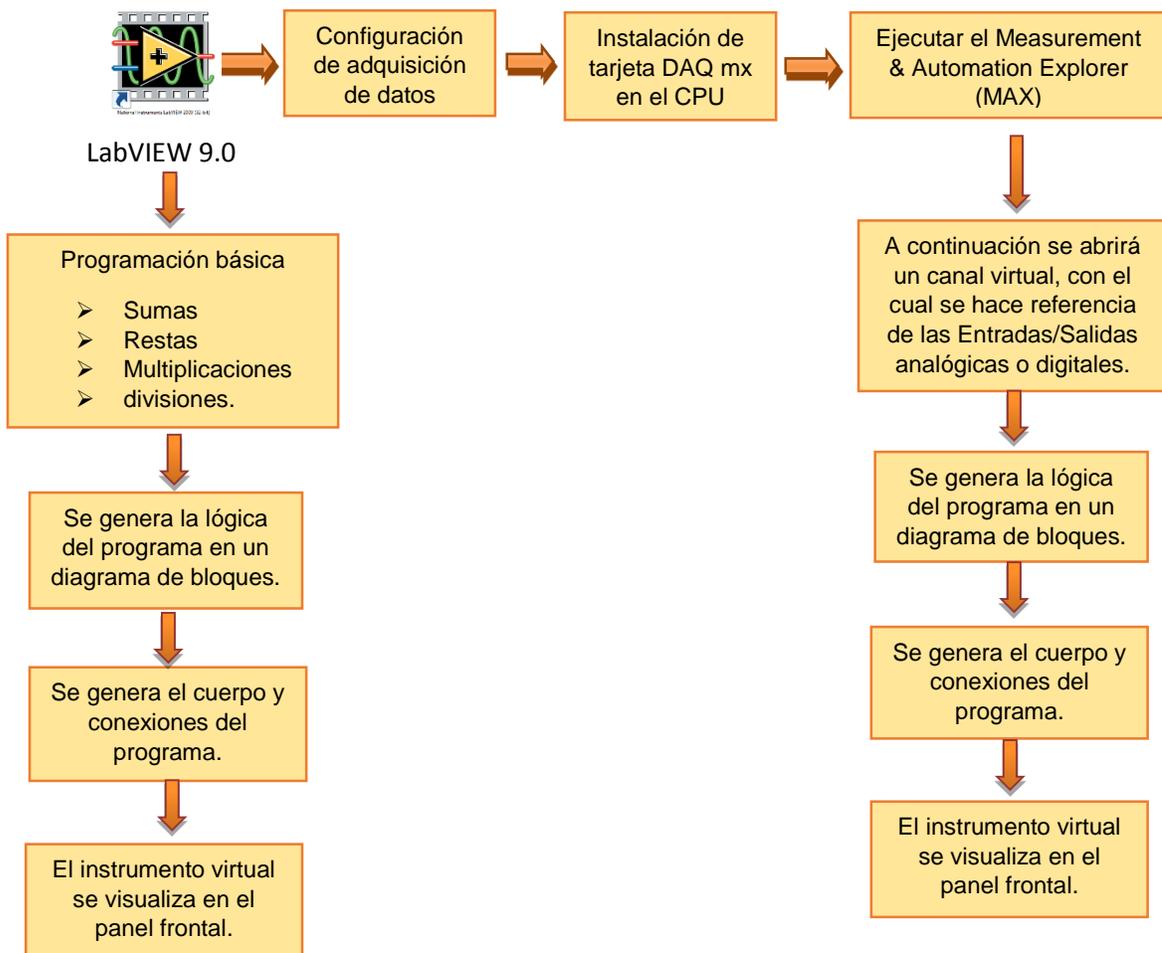


Figura 3.21 Metodología a seguir en la construcción de tarjetas electrónicas.

Con la metodología anteriormente mencionada se crearon los instrumentos virtuales para el desarrollo de esta tesis, los cuales contienen una interfaz agradable para el operador. (Ver Anexo C).

Los instrumentos virtuales contienen lo siguiente:

- Conteo de semillas reales/ideales en tiempo real.
- Controlador de conteo por grupos de (N) número de semillas.
- Registro del tiempo por grupo de semillas.
- Controlador de revisión de base de datos en Microsoft Access.
- Visualizador de voltaje de referencia en la base de datos.
- Control para guardar los datos.

3.4.5 Creación de tabla de prescripciones en Microsoft Access.

Para que el simulador cambie de prescripción automáticamente se debe generar primero una base de datos en Microsoft Access en la cual se indique la PRESCRIPCION y el VOLTAJE correspondiente para que el instrumento Virtual cambie de prescripción cada determinado número de semillas.

3.4.6 Configuración del vínculo (.udl) para lectura de la tabla de prescripciones.

Para que el instrumento virtual pueda leer la tabla de prescripciones hay que generar un archivo que haga este vínculo, el cual es generado con un archivo .txt al cual solo debemos de cambiarle la extensión a (.udl), esta extensión es la que reconoce el VI para poder leer la base de datos y poder cambiar de prescripción independientemente. (Ver Anexo E).

3.4.7 Configuración del variador de frecuencia.

Para poder echan andar el motorreductor se utilizó un variador de frecuencia el cual permite por medio de la lectura de la base de datos y la tarjeta de adquisición de datos el cambio de voltaje automático, el cual es re-direccionado a motor y esto es lo que permite el cambio de velocidad en el motorreductor.

3.4.8 Acoplamiento de todos los componentes y verificación del funcionamiento.

Después de tener la tarjeta electrónica con todos los componentes correctamente soldados y los Pic correspondientes ya programados, se verifica que estén funcionando correctamente para posteriormente montarlos y acoplarles las señales provenientes de los sensores de la semilla real e ideal. (Ver anexo B)

3.4.9 Repeticiones a diferentes voltajes e intervalos de semillas.

Para la obtención de datos confiables se realizaron repeticiones en laboratorio a diferentes voltajes y a diferentes intervalos o grupos de semillas los cuales consistieron en lo siguiente: (Ver Anexo H).

- 5 repeticiones de 1000 semillas (ideales), cada repetición a 6 rangos diferentes de voltaje (2.0v – 290sem/min), (2.6v – 395sem/min), (3.2v – 460sem/min), (3.8v – 570sem/min), (4.4v – 750sem/min) y (5.0v – 860sem/min) en 9 diferentes grupos, (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 y 100 semillas).

3.4.10 Obtención de datos para su análisis en software Minitab.

Ya que se realizaron todas las repeticiones y se organizaron los datos, se usó el software Minitab en el cual se obtendrá el análisis de varianza, el contraste de media, desviación estándar, coeficiente de variación, máximo y mínimo. Lo cual es necesario para el análisis del comportamiento del simulador en función de la eficiencia de uniformidad de dosificación. En el siguiente cuadro se muestran las velocidades del dosificador empleadas durante la evaluación. Mismas que fueron determinadas por Pérez (2013).

Cuadro 3.1 Velocidades del dosificador neumático.

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

IV. RESULTADOS

Los Elementos que componen el sistema de evaluación se muestran en la figura (4.1) el cual está integrado primordialmente por:

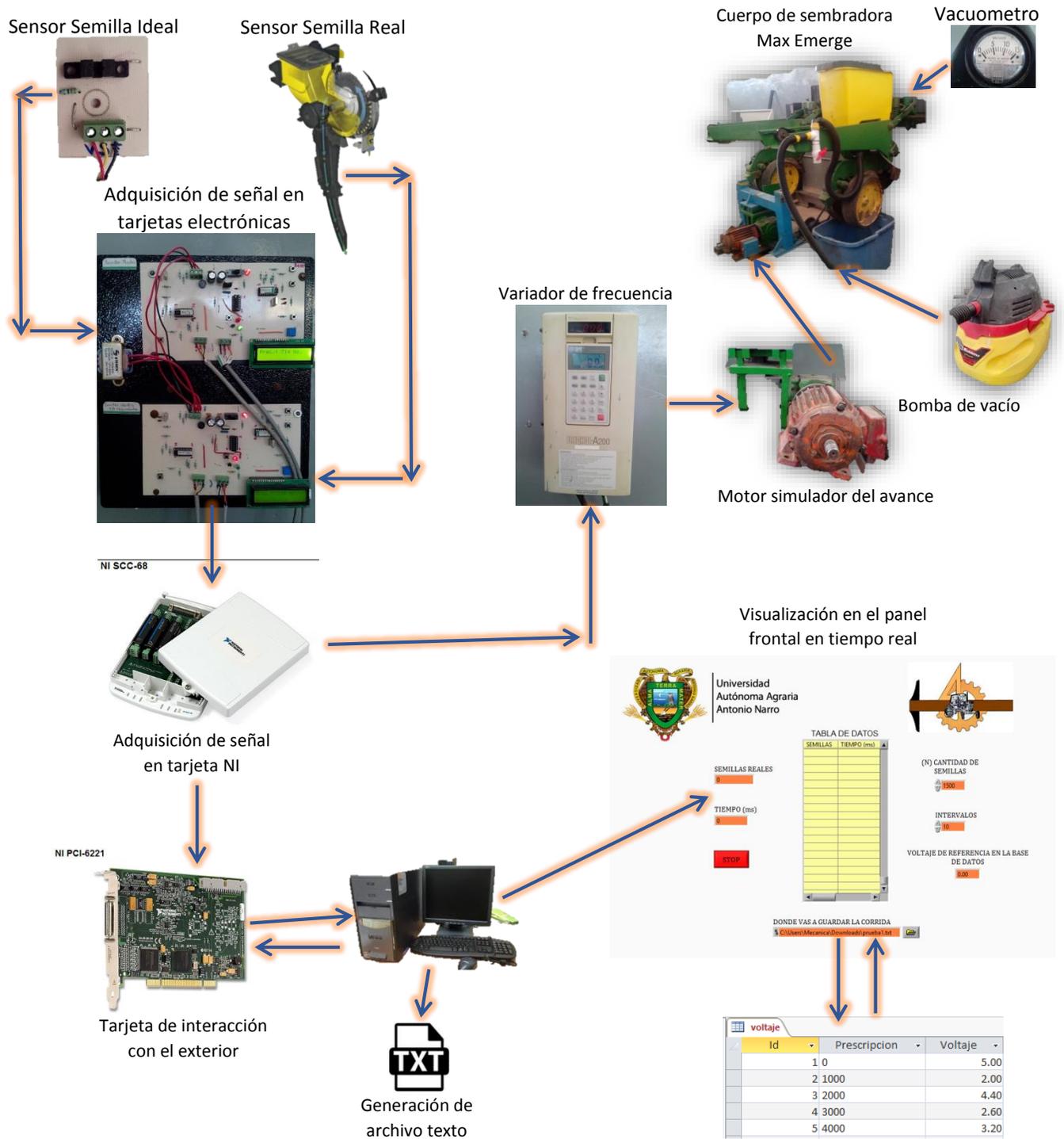


Figura 4.1 Elementos que componen el sistema.

Lectura de la base de datos y envío de voltaje correspondiente a la prescripción

para una parcela y los diferentes voltajes a los cuales corresponden esas prescripciones para simular el avance de la máquina y poder cambiar de voltaje por medio de un variador de frecuencia conectado al motor y a la tarjeta de adquisición de datos.

Se puede visualizar en el panel del programa desarrollado el **voltaje de referencia** en la base de datos que se están trabajando y así poder verificar que sea correcto.

Por último el programa nos muestra una **ruta (Path)** el cual nos indica el archivo en (.txt) **donde se guardaran los datos** una vez que se haya terminado la corrida correspondiente.

A continuación en la figura (4.3) se muestra la lógica del programa:

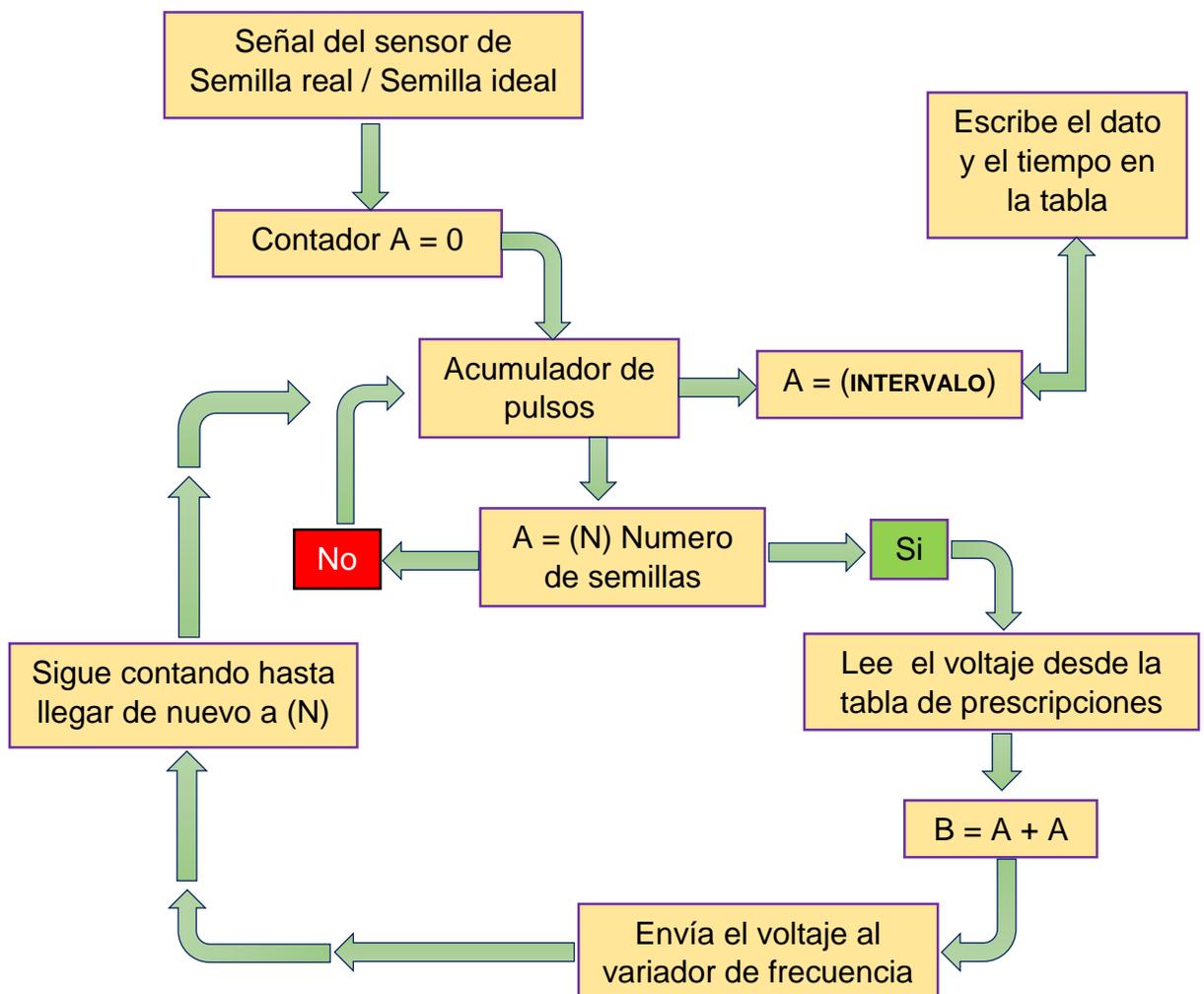


Figura 4.3 Lógica del programa en LabVIEW.

4.3 Evaluación del sistema dosificador neumático

En el cuadro (4.1) se muestran los resultados obtenidos en términos de su coeficiente de variación (CV), (el detalle de las réplicas de los datos se encuentran contenidas en el Anexo H), de las diferentes corridas realizadas en el dosificador en función de 6 rangos de voltajes (velocidades de dosificación) versus 9 agrupaciones de conteos de semillas.

Cuadro 4.1 Medias de los coeficientes de variación producto de la velocidad de dosificación y grupos de conteo

GRUPO DE SEMILLAS	MEDIAS DEL COEFICIENTE DE VARIACION					
	2.0 VOLT	2.6 VOLT	3.2 VOLT	3.8 VOLT	4.4 VOLT	5.0 VOLT
CADA 5	16.47	15.758	15.156	17.158	18.158	19.61
CADA 10	11.39	13.078	11.998	12.806	13.926	14.978
CADA 15	9.226	8.866	8.996	9.56	10.73	11.404
CADA 20	8.25	8.592	8.814	8.558	10.224	10.984
CADA 25	5.804	7.736	6.91	7.798	7.946	10.114
CADA 30	7.118	9.142	7.53	8.57	7.62	8.112
CADA 40	6.038	6.252	5.32	6.676	7.608	8.502
CADA 50	4.48	7.038	5.012	5.386	7.802	6.152
CADA 100	9.456	6.272	4.988	4.73	5.698	7.154

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las diferentes corridas realizadas en el dosificador, los datos fueron analizados estadísticamente en el software Minitab.

La figura (4.4) muestra el análisis de varianza de las variables velocidad de dosificación (V), agrupación de semillas (AS) y su interacción (V x AS). El ANOVA indica que hay diferencia altamente significativa para el factor (AS) y una diferencia significativa para el factor (V). No habiendo diferencia para la interacción (AS x V).

ANOVA de dos factores: CV vs. GRUPO DE SEMILLAS, VOLTS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
GRUPO DE SEMILLAS	8	3135.82	391.978	58.31	0.000
VOLTS	5	183.55	36.710	5.46	0.000
Interacción	40	195.97	4.899	0.73	0.884
Error	216	1452.04	6.722		
Total	269	4967.39			

S = 2.593 R-cuad. = 70.77% R-cuad. (ajustado) = 63.60%

Figura 4.4 ANOVA de los factores (AS) y (V) para la evaluación de la confiabilidad y de calidad del sistema de dosificación de semilla.

La figura (4.5) muestra el contraste de medias del factor agrupación de semillas (AS). Indicando diferencia en el tamaño de la selección de la agrupación de semillas para realizar el análisis del (CV) del comportamiento del dosificador.

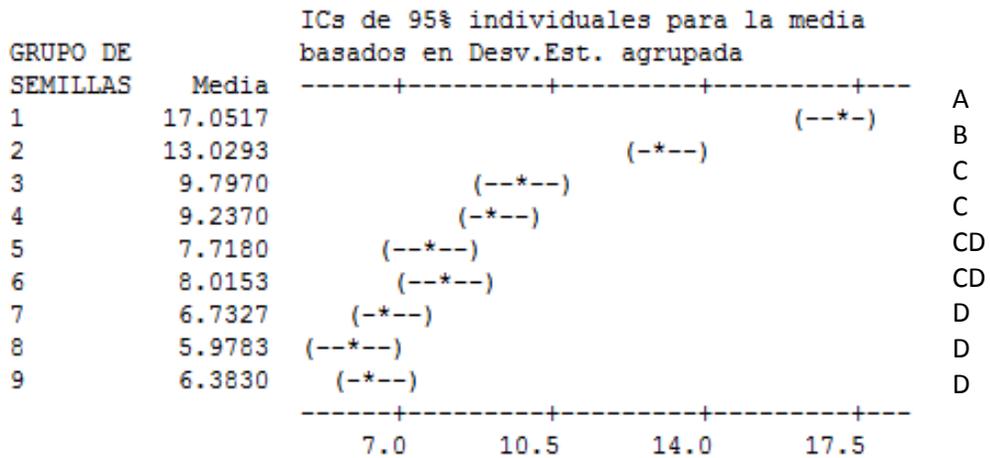


Figura 4.5 Contraste de medias en agrupaciones.

La figura (4.6) muestra el contraste de medias, indicando que existe diferencia significativa en la calidad de dosificación por efecto de la velocidad de siembra. Indica que la variabilidad de (CV) se ve afectada a partir de la velocidad 6 equivalentes a 860 semillas por minuto.

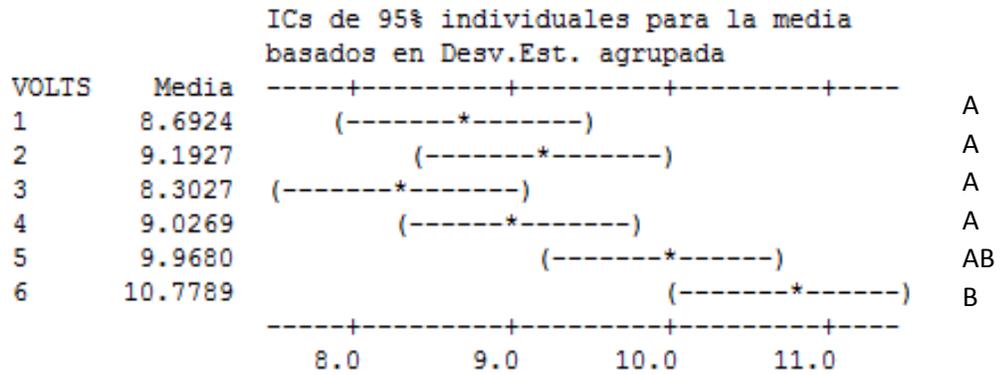


Figura 4.6 Contraste de medias en la velocidad.

En la figura (4.7) se muestra la distribución de los datos de cada uno los factores evaluados y su interacción. Mostrando que no hay diferencia para la interacción entre los factores (V x AS). No así para los factores (V) y (AS) como se mostró en el ANOVA y en el contraste de sus medias.

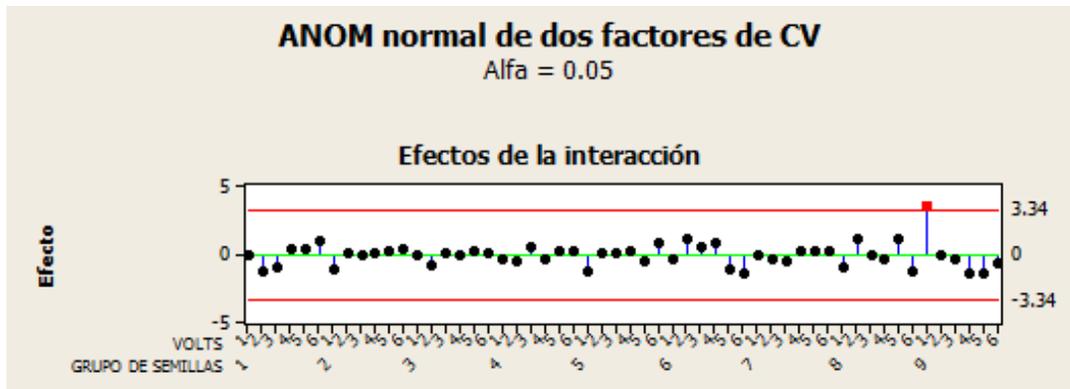


Figura 4.7 (a) Distribución de datos y su interacción.

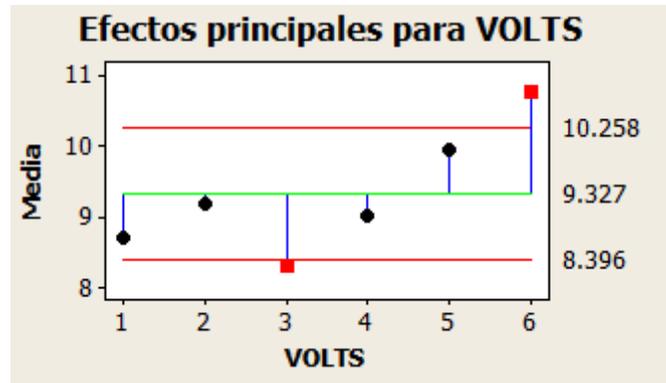


Figura 4.7 (b) Efectos principales para los grupos de semillas.



Figura 4.7 (c) Efectos principales para la velocidad.

La figura (4.8) muestra la dispersión de los datos obtenidos para las semillas ideales (SI) menor al 0.4%, sin diferencia significativa en el conteo de (SI) lo cual indica que el sistema tiene un excelente registro de este factor para ser aplicado en la evaluación del funcionamiento de dosificadores de semillas.

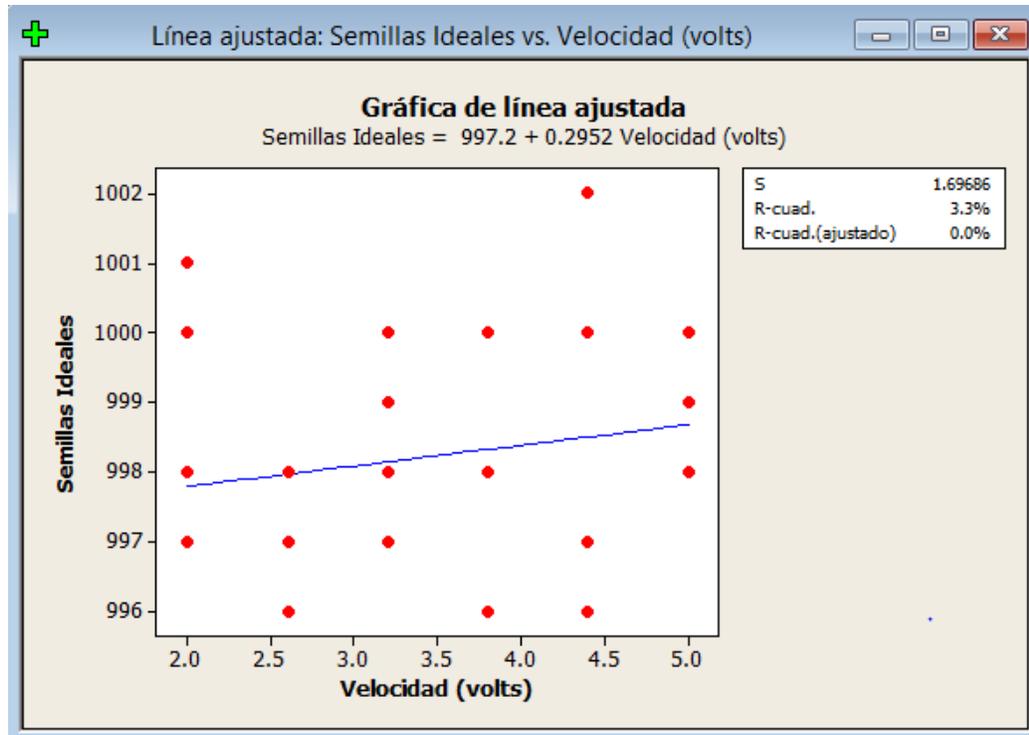


Figura 4.8 Grafica de línea ajustada (SI & V).

Análisis de regresión: Semillas Ideales vs. Velocidad (volts)

La ecuación de regresión es
Semillas Ideales = 997.2 + 0.2952 Velocidad (volts)

S = 1.69686 R-cuad. = 3.3% R-cuad. (ajustado) = 0.0%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	2.7457	2.74571	0.95	0.337
Error	28	80.6210	2.87932		
Total	29	83.3667			

Figura 4.8.1 Análisis de varianza (SI & V).

La figura (4.9) muestra la curva de comportamiento del dosificador de “Precision Planting” en términos de semillas reales por cada 1000 semillas ideales. Apreciándose un decremento del 12% a las velocidades 5 y 6 de evaluación. Para las 3 primeras velocidades de evaluación el (CV) fue menor al 5% incrementándose al 8% para la 4 velocidad.

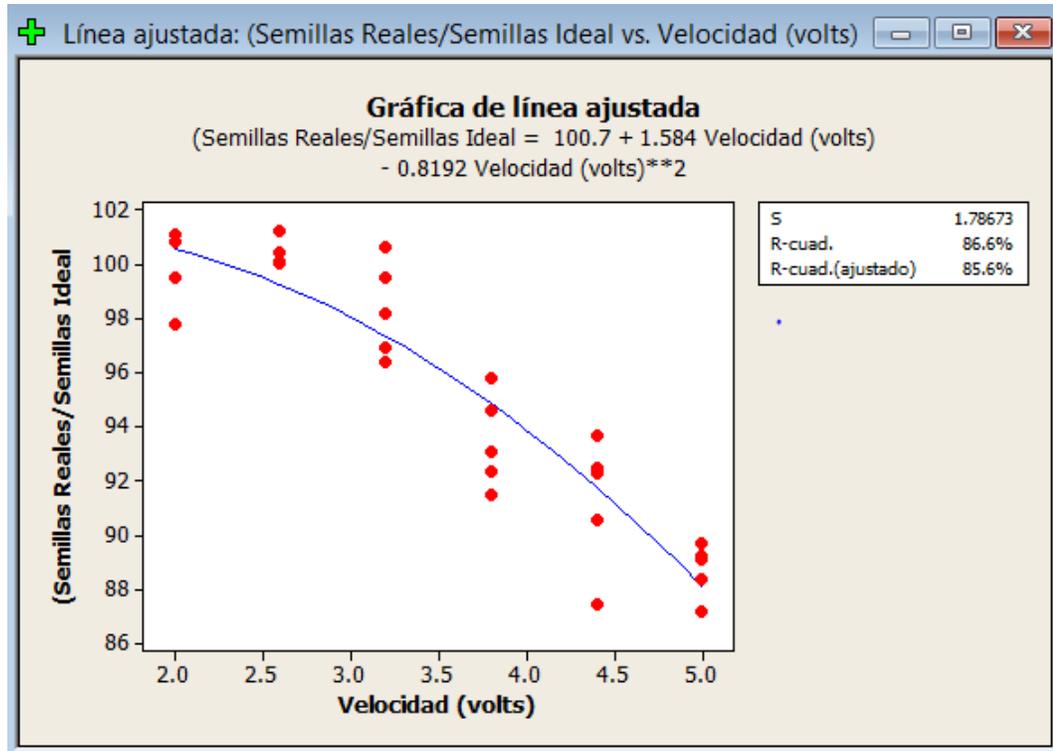


Figura 4.9 Grafica de línea ajustada (llenado de celdas & velocidad).

Análisis de regresión polinomial: (Semillas Reales vs. Velocidad (volts

La ecuación de regresión es

$$\text{(Semillas Reales/Semillas Ideal)} = 100.7 + 1.584 \text{ Velocidad (volts)} - 0.8192 \text{ Velocidad (volts)**2}$$

S = 1.78673 R-cuad. = 86.6% R-cuad.(ajustado) = 85.6%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	558.906	279.453	87.54	0.000
Error	27	86.195	3.192		
Total	29	645.101			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	542.673	148.35	0.000
Cuadrática	1	16.234	5.09	0.032

Figura 4.9.1 Análisis de varianza (llenado de celdas & velocidad).

v. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema desarrollado con IV's permite el control automático de la velocidad de dosificación en base una tabla de prescripción predefinida.

La velocidad de dosificación muestra un efecto menor al 0.4% en el registro de las semillas ideales lo cual implica una alta confiabilidad en el sistema de evaluación.

El sistema de registro de datos, numero de semillas ideales y reales, desarrollado permite en forma eficiente determinar la calidad de funcionamiento de un dosificador y recomendar su pertinencia a ser empleado en agricultura de precisión

Para el caso del dosificador "Precision Planting" empleado .en la validación del sistema de simulación de dosis variable, podemos concluir que para dosificaciones menores a 570 semillas por minuto puede ser recomendada para AP dado que a esta dosificación tiene CV menores al 5%.

VI. REFERENCIAS

- 1.- Lago-Gonzales, C., J. C. Sepúlveda-Peña, R. Barroso-Abreu, F. O. Fernández-Peña, F. Maciá-Pérez. 2011. System for the automatic generation of yield mapping with application in precision farming. *Idesia* 29: 59-69.
- 2.- 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.
- 3.- Medina-Vásquez, J., A. Aguilera-Alvear, L. M. Landinez. 2010. Ejercicio EAD-Agricultura de Precisión. pp.8-10. Universidad del Valle. Santiago de Cali.
- 4.- Maroni, J.R. 2007. Agricultura de precisión: avances para realizar aplicaciones de dosis variables mediante máquinas pulverizadoras. *Agromensajes* 23: 1-3.
- 5.- Borghi, M. I. 2014. Tecnología de precisión: un crecimiento sin techo. pp. 1-2. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- 6.- Economía, A. 2012. Argentina se ubica entre los países con mayor agricultura de precisión. *Agronoticias América Latina y el Caribe*. pp. 1-2. Argentina.
7. - Norton, and Scott M. S., George W. 2000. Precision Agriculture: Global Prospects and Environmental Implications.
8. - Dávila, R. 2010. La agricultura de precisión, la innovación en el campo. *Journalmex periodistas de México*.

9. – Kepner, R. A., E. C. Barger. 1978. Principles of farm machinery. Third edition, The AVI Publishing Company, Inc. Connecticut, USA.
- 10.- Ortiz-Cañavate J., Hernenz J. I. 1989. Técnica de la mecanización agraria. Edición Mundi-prensa, Madrid.
- 11.- 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, Guanajuato; Gto., México.
- 12.- Colombino A. A., J. C. Pollacino.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.
- 13.- 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.
- 14.- Jaramillo, D. F. (2011) El suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 553 p.
- 15.- Fiez, T. E., W. L. Pan., B. C. Miller. 1995. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1666-1671.
16. - Srinivasan, A. 2006. Handbook of precision agriculture principles and applications. New York. pp. 3-15.
- 17.- Rodríguez, J., A. M. González., 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.
18. - 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.

- 19.- Kaspar, T.C., Pulido, D.J., Fenton, T.E., Colvin, T.S., Karlen, D.L., Jaynes, D.L., Meek, D.W. 2004. Relationship of corn and soybean yield to soil and terrain properties. *Agron, J.* 95:483-495.
20. - Mckinion, J.M., Willers, J.L., Jenkins, J.N. 2010. Spatial analyses to evaluate multi-crop field stability for a field. *Computers and Electronics in Agriculture* 70, 187-198.
21. - 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.
- 22.- Lago, G. C., J.C. Sepúlveda., R. B. Abreu., F. O. Fernández., F. M. Pérez. 2011. Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. *Idesia.* 29, 10-15.
23. - Ortega, R., Santibañez, O. 2007. Agronomic evaluation of three zoning methods based on soil fertility in corn crops (*Zea maize L.*). *Computers and Electronics in Agriculture* 58 (1):49-59.
24. - 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.
- 25.- Bragachini, M. A. 2004. Tecnología Disponible para Aplicaciones de Insumos Sitio Específico.
- 26.- Angulo, J. Ma. E Ignacio, A. 1997. Microcontroladores PIC, Diseño práctico de aplicaciones, Editorial McGraw Hill.

ANEXOS

Anexo B

B1.- Construcción de tarjetas electrónicas.

Para la construcción de las tarjetas se requiere que el circuito que tenemos en ARES sea impreso en una maya para serigrafía, y esta maya será la que nos permita la impresión ya en la placa con cobre, para esto requerimos de tinta para serigrafía, un acondicionador y espray adhesivo, ya que tenemos impresa la tarjeta obtenemos lo siguiente:

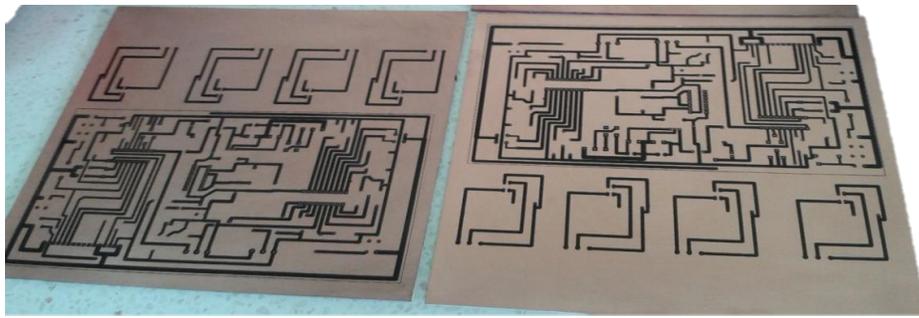


Figura B1 Circuito impreso en la placa de cobre.

Posteriormente la placa se sumerge en ácido férrico para eliminar el cobre sobrante y solo queden las líneas del circuito impreso.

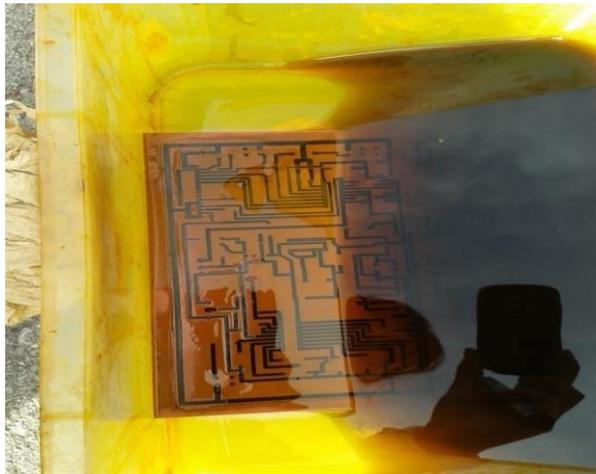


Figura B2 Placa del circuito en ácido férrico.

Después de que se elimina todo el cobre se limpia el exceso de ácido con agua y posteriormente se retira la pintura con tiner para que solo queden las pistas de cobre.

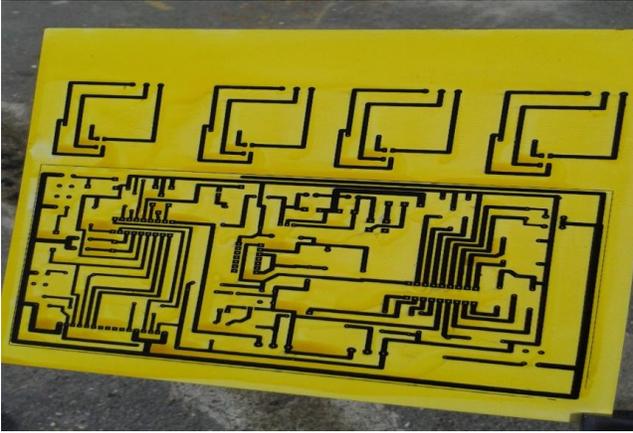


Figura B3 Placa con residuos de ácido.

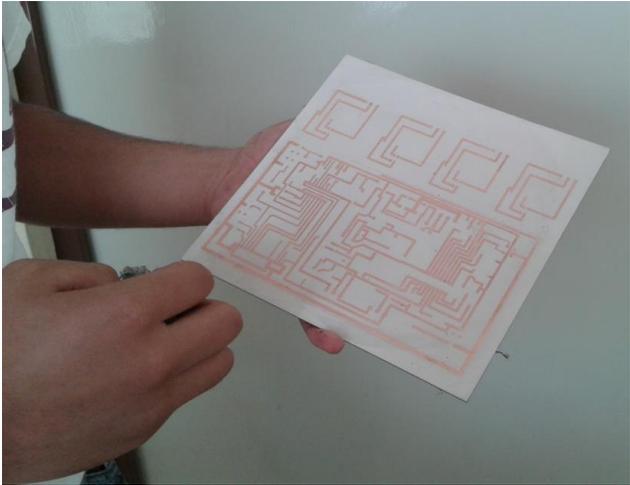


Figura B4 Placa con pistas libres de residuos.

A continuación se cortó a las medidas exactas y se continuó con el perforado para después montarle todos los componentes a la tarjeta.



Figura B5 Perforado de la tarjeta electrónica.

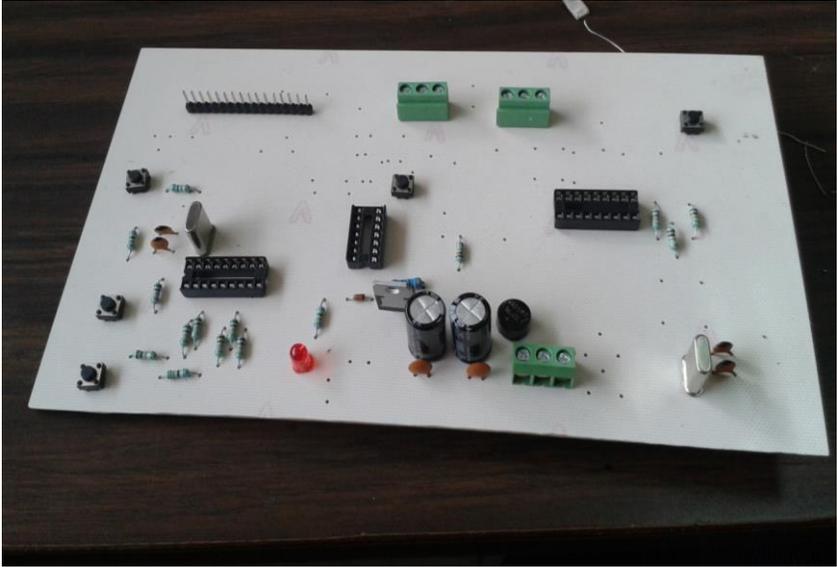


Figura B6 Tarjeta perforada y con algunos componentes.

Ya que se soldaron todos los componentes, se continuó con la verificación del correcto funcionamiento de la tarjeta, para esto se conectó cada una de las tarjetas y se revisó el voltaje de 4.2v en la alimentación de los microcontroladores, la pantalla LCD, en la compuerta lógica y en las clemas. También se revisó los microcontroladores funcionen perfectamente al recibir y mandar señal antes de montar y conectar los sensores en la tarjeta de adquisición de datos.

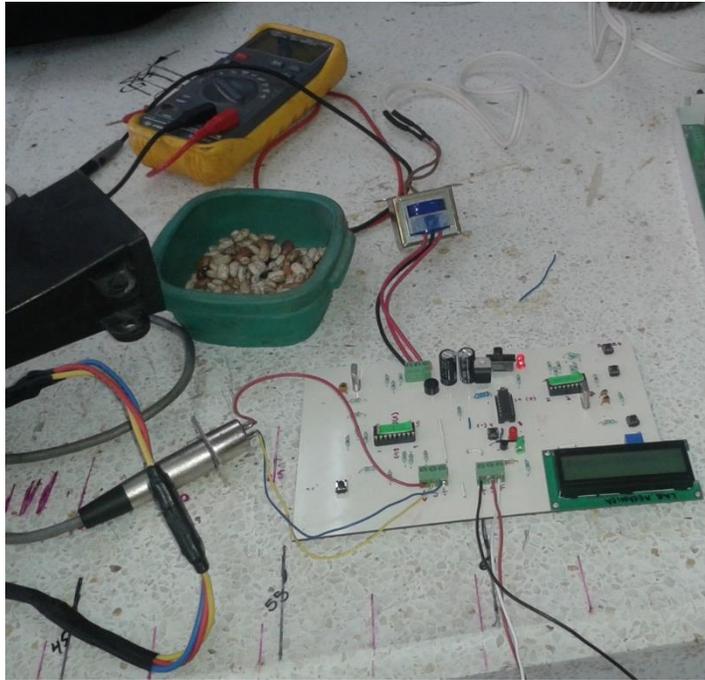


Figura B7 Verificación de funcionamiento de tarjeta electrónica.

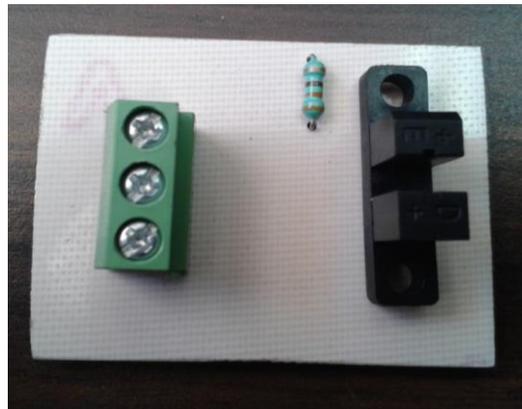


Figura B8 Tarjeta del sensor semilla ideal terminada.

También se probaron las tarjetas de semilla ideal a la cual se le agrego una pared de caucho como aislante esto para evita pequeñas descargas y reduce la probabilidad de errores en los pulsos generados por ruidos.

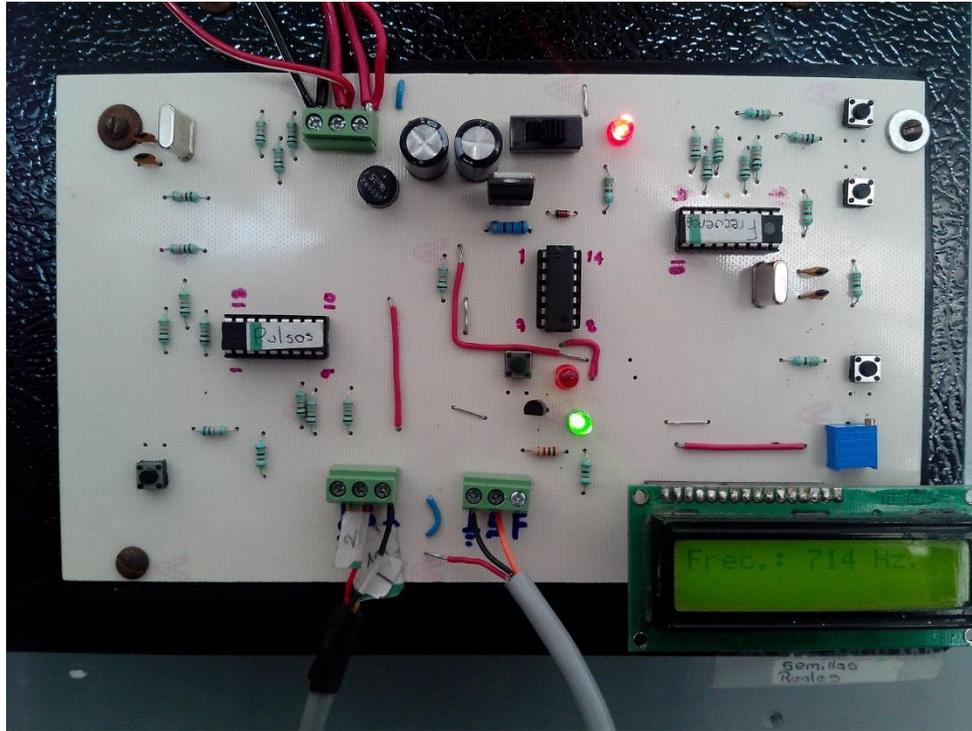


Figura B9 Tarjeta electrónica montada y en funcionamiento.

Anexo C

C1.- Elaboración del programa cambio de prescripción automático.

Abrir el icono LabVIEW 2009 y seleccionar la opción de un nuevo Blank VI, a continuación se muestran dos ventanas, una es el Front Panel y la otra el Block Diagram.

En el Block Diagram se configura el Daq Assistant el cual permitirá establecer comunicación con la tarjeta de adquisición de datos y poder adquirir las señales externas.

Para su configuración dar clic derecho en el Block Diagram y seleccionar la opción de Express – Input – DAQ Assistant.

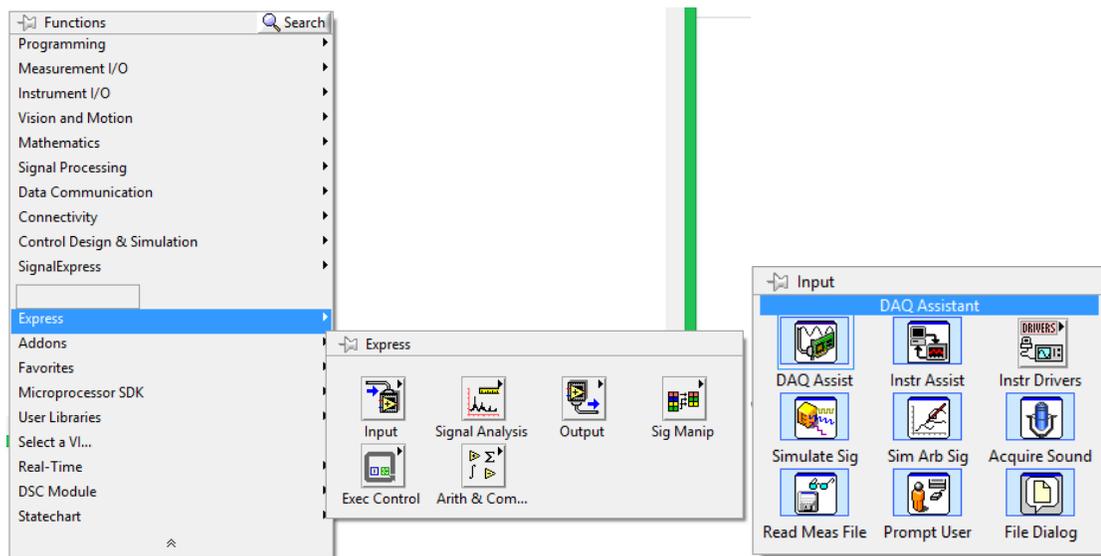


Figura C1 Selección del DAQ Assistant.

A continuación aparecerá la ventana para su configuración donde se seleccionara Acquire signals – Counter input – Edge count.

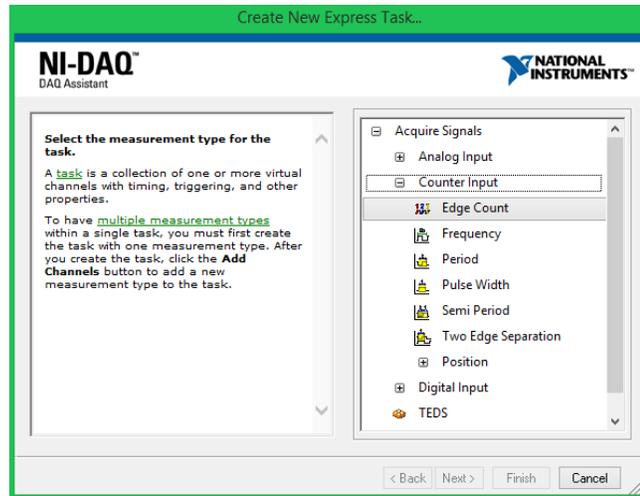


Figura C2 Selección Counter Input

Y mostrara la ventana de propiedades del canal nuevo que hemos creado además de indicar en que puerto de la tarjeta de adquisición de datos se debe de conectar la señal, por último se debe indicar que esa señal que se va a adquirir será automáticamente sin necesidad de llamarla, para esta orden se seleccionara la opción de 1 Sample (On Demand).

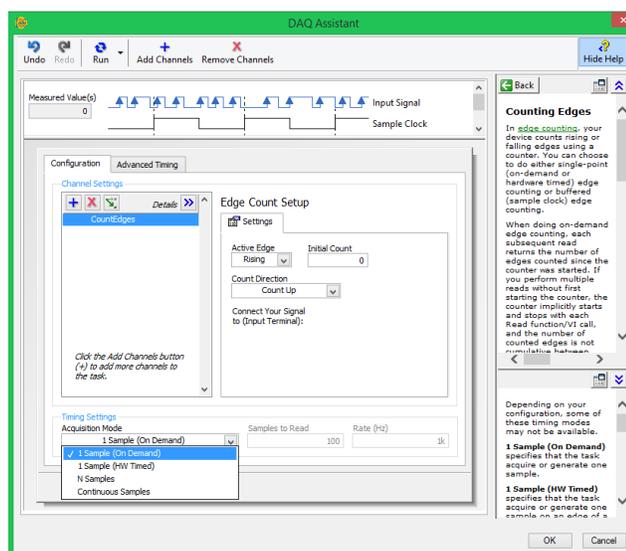


Figura C3 Selección Sample on demand

Por último se selecciona ok para que se genere por completo el Daq Assistant el cual automáticamente generara una estructura While Loop la cual es necesaria para que opere el Daq.

Para que el programa pueda contabilizar la semilla y pueda acumular los pulsos y agruparlos en INTERVALOS para mostrar el dato en un tabla, se debe generar un acumulador el cual consiste en recibir la señal del Daq Assistant introducirla en una estructura de división la cual será dividida entre el INTERVALO (Número de pulsos/semillas que está formado el intervalo) y si el residuo de esa división es igual a cero pasa a una compuerta AND para decidir si esa señal es diferente del dato que ya se tiene en un shift register entonces esa señal puede ser escrita en la tabla la cual se mostrara en el Panel Frontal.

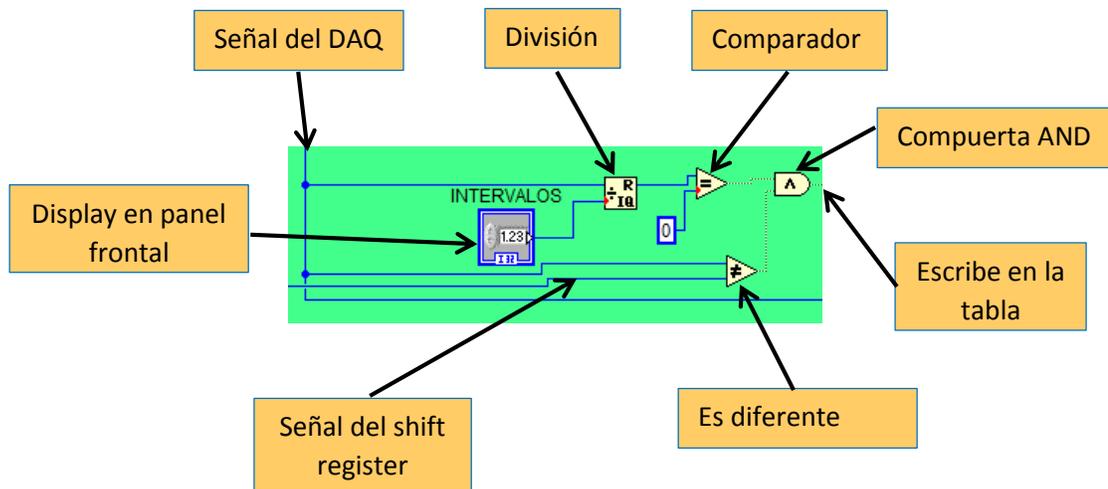


Figura C4 Acumulador de pulsos

Al final se mostrara completo el diagrama de bloques para la visualización correcta de todas las conexiones.

Ahora para que programa muestre el tiempo en que tardo en caer determinado INTERVALO se requiere de una estructura de secuencia dentro de la cual se inserta un Tick Count (ms) el cual realiza la función de un cronometro en milisegundos, es necesario aclarar que este cronometro no comienza en cero por su naturaleza por lo cual se requiere insertar otro pero fuera de la estructura While

Loop para que el primero comience a contar el tiempo y dentro de la estructura de secuencia el otro comience a contar pero hasta que se haya cumplido la condición de contar el INTERVALO para así poder restar los tiempos y el resultado sea el tiempo verdadero en que tardaron en caer las semillas y este dato también lo escribirá en la tabla del panel frontal.

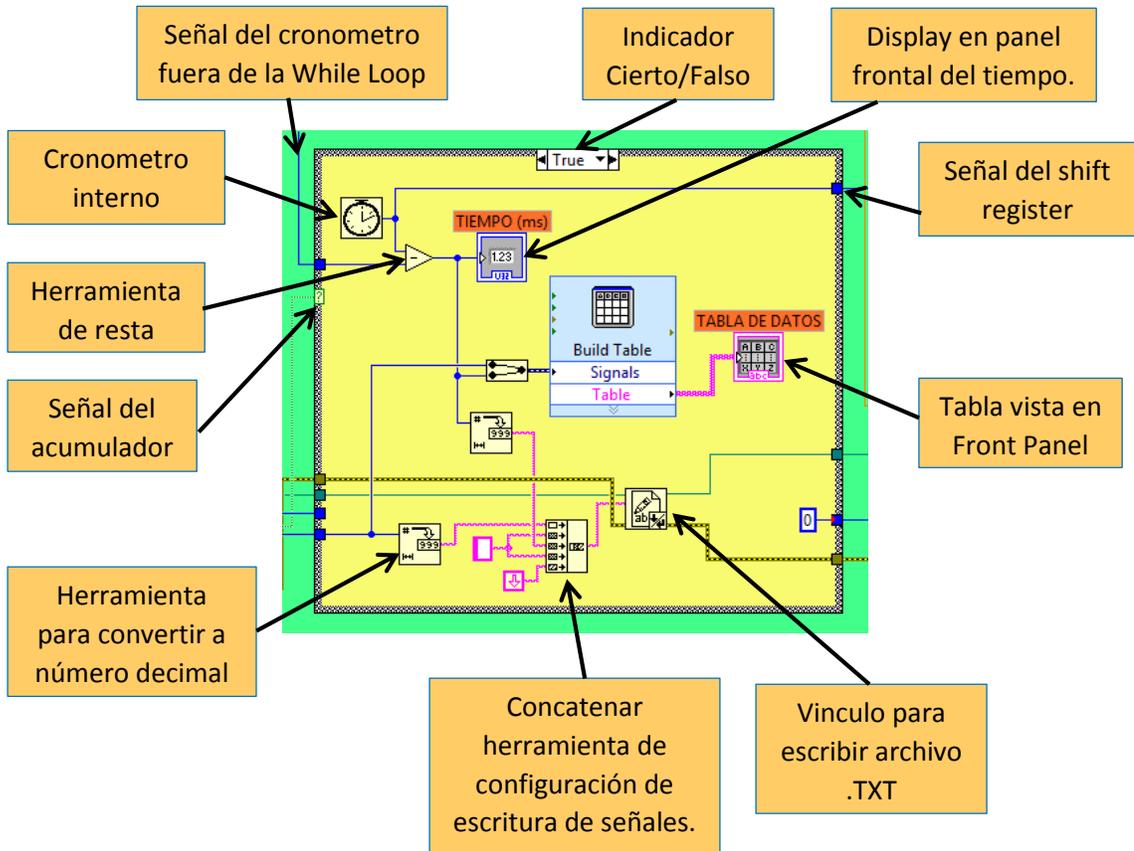


Figura C5 Herramientas del programa cambio de prescripción

El programa además de contabilizar los pulsos, acumular los pulsos en INTERVALOS determinados, dar el tiempo en que tardan en caer esos INTERVALOS, debe de cambiar de prescripción automáticamente al llegar a un cierto número de semillas (N núm. de semillas), esto indica que el motorreductor cambiará de velocidad por medio del variador de frecuencia y de una base de datos que se debe de realizar en Access donde se tendrán listas las diferentes

prescripciones a los voltajes correspondientes, el programa mandara leer esa tabla al llegar a (N núm. de semillas) y mostrara el voltaje al cual se está trabajando en un display en el Panel Frontal.

Cada (N número de semillas) va a cambiar de prescripción.

Voltaje al cual estará trabajando el motorreductor.

Id	Prescripcion	Voltaje
1	0	5.00
2	1000	2.00
3	2000	4.40
4	3000	2.60
5	4000	3.20
6	5000	3.80
7	6000	2.00
8	7000	4.40
9	8000	3.20
10	9000	5.00

Figura C6 Formato Base de datos en Microsoft Access.

Para que el programa mande leer la tabla de prescripciones se requiere de otro acumulador el cual cuando se cumpla su condición mande la señal a una case structure la cual contendrá los comandos para leer la tabla y mandar el voltaje correspondiente al variador de frecuencia.

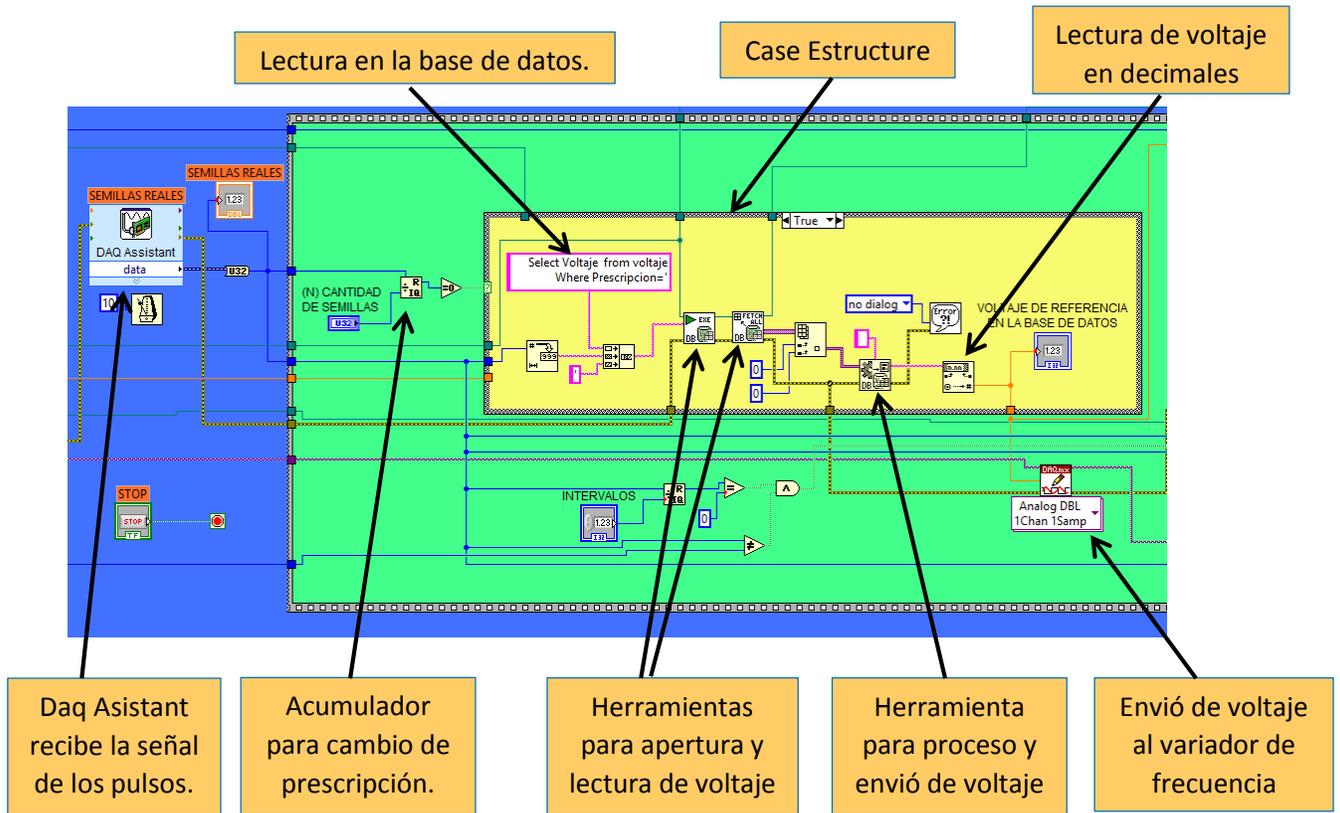


Figura C7 Configuración para la lectura de la base de datos.

Por último el programa debe de dar la opción para elegir donde se guardara la corrida, por lo que se le agrega un Path para elegir la ruta donde será guardado el archivo (.txt).

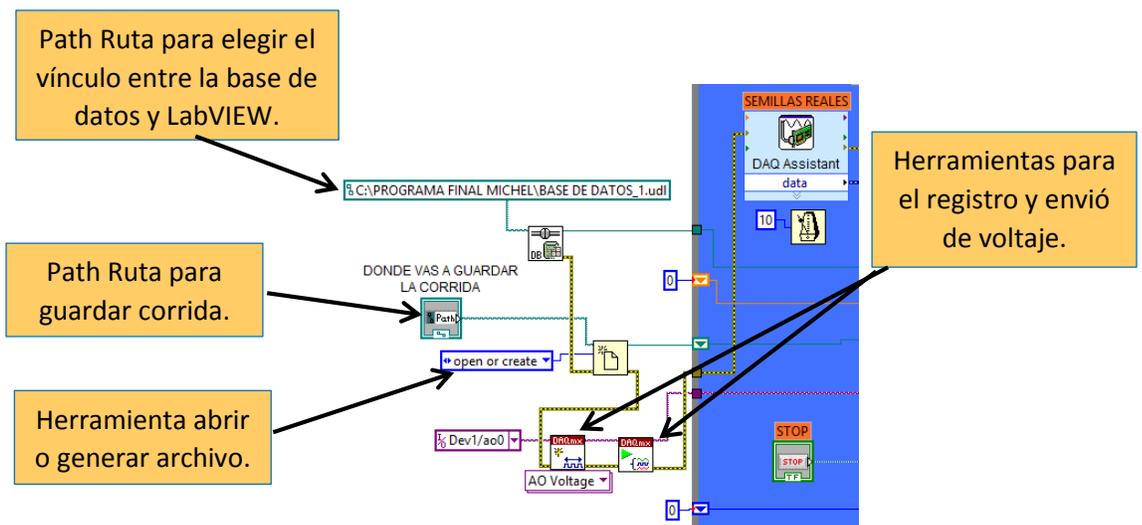


Figura C8 Configuración de la ruta para guardar la corrida.

A continuación se muestran el Block Diagram y el Panel Frontal completos.

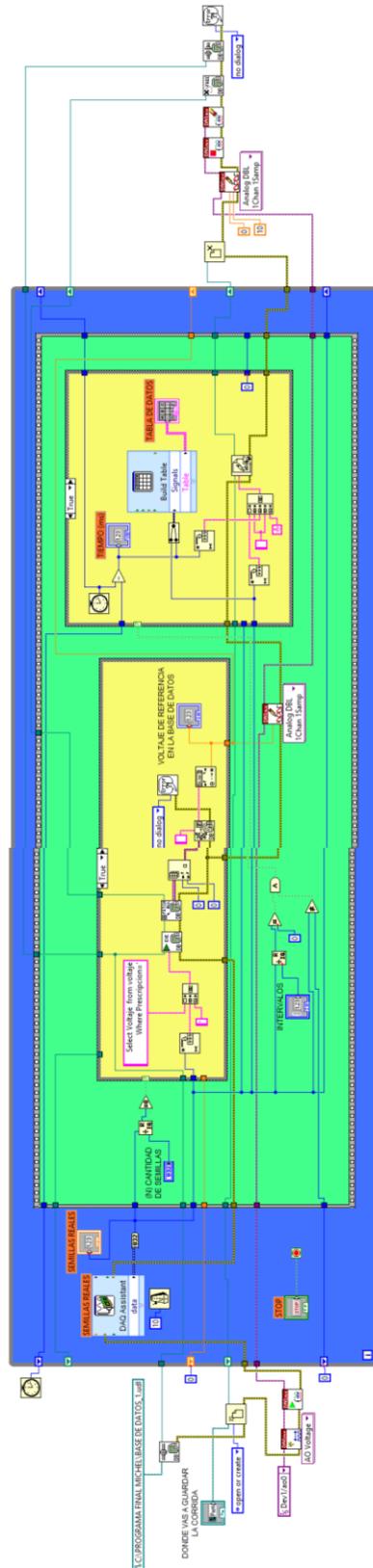


Figura C9 Diagrama de bloques completo del programa (Cambio de prescripción automático).

Anexo D

D1 configuración del archivo (.txt)

Para generar un archivo (.txt) se deben seguir los siguientes pasos:

- Generar una carpeta en el ordenador donde se requiera guardar los datos.
- Clic derecho dentro de la carpeta y seleccionar nuevo archivo de texto.
- Asignar el nombre deseado.

Ya que se creó el archivo con el Path (donde vas a guardar la corrida) se ubica este archivo (.txt) y es donde se guardaran los datos de la corrida.

NOTA:

Es muy importante saber que para cada corrida hay que generar un archivo de texto nuevo ya que de lo contrario si siempre se selecciona el mismo archivo de texto el programa borrara los datos anteriormente guardados y escribirá los nuevos, pero los que ya se tenían antes se perderán, por lo que se recomienda generar un archivo de texto individual para cada corrida.

Anexo E

E1.- Configuración del archivo (.udl)

Para generar un archivo (.udl) se debe de generar primero un archivo (.txt) para esto se debe de ir a la carpeta donde se tienen los archivos, dar clic derecho y seleccionar la opción nuevo archivo de texto, como se ilustra en la siguiente imagen:

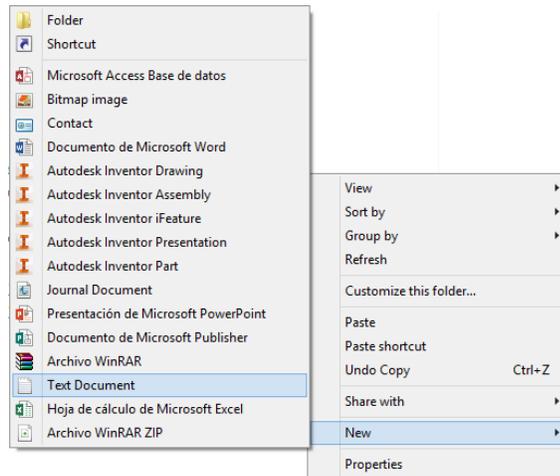


Figura E1 Selección Nuevo Archivo de texto

Al cual le se le asignara un nombre y se le cambiara la extensión a (.udl), a continuación nos mostrara un recuadro en el cual se nos pregunta si estamos seguros de cambiar la extensión y se seleccionara ok como se muestra:

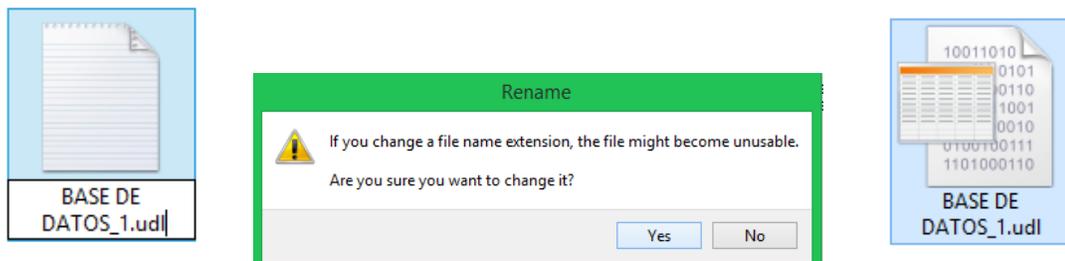


Figura E2 Configuración archivo de texto

Para su configuración y vinculación con la base de datos en Access se debe de seguir los siguientes pasos:

- Clic derecho y seleccionar abrir.
- En la pestaña Proveedor seleccionar Microsoft Jet 4.0 OLE DB Provider.
- En la pestaña conexión seleccionar la ruta para seleccionar el archivo en Microsoft Access (Es la base de datos) y dar clic en guardar.
- En el apartado de “Nombre del usuario” escribir (Admin).
- En la casilla de contraseña seleccionar la opción de dejar en blanco.
- En la pestaña de Avanzadas hay que revisar que la casilla de Permisos de Acceso, este palomeada la opción de (RED).
- A continuación dar clic en la pestaña de conexión y dar clic en (Probar conexión).
- Debe de aparecer una pantalla comunicando que la conexión fue exitosa.
- Por ultimo seleccionar aceptar.

Anexo F

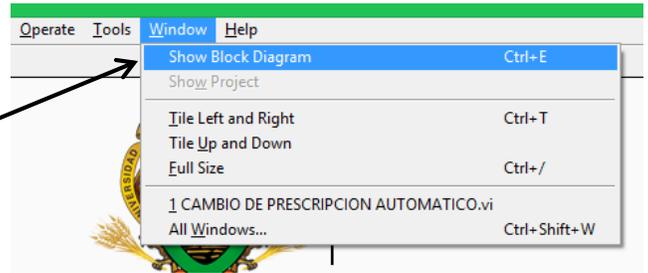
F1.- Como poner en marcha el programa CAMBIO DE PRESCRIPCION AUTOMATICO.

En el siguiente diagrama se describe paso a paso como poner en marcha el programa desde cero:



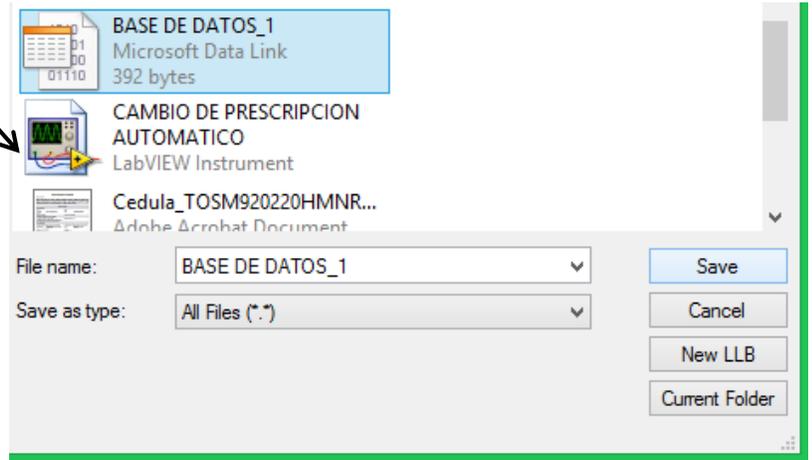
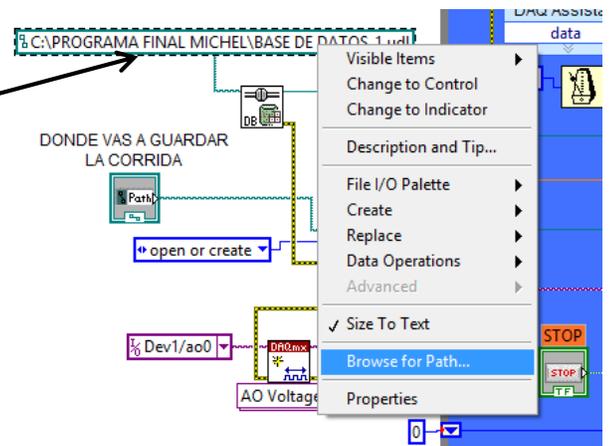
7.- A continuación se abrirá el diagrama de bloques en el cual se selecciona el vínculo (.udl) el cual permitirá leer la base de datos y esta acción se realiza por medio del Path que se muestra:

Para esto se da doble clic en la pestaña Windows y se selecciona la opción Show Block Diagram.



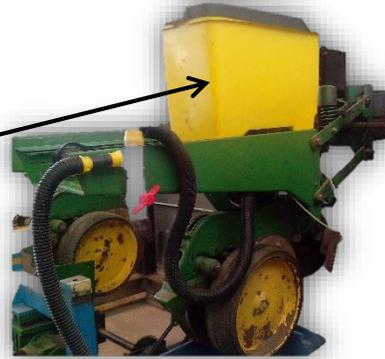
8.- Después seleccionar el path el cual se señala, y dando un clic derecho sobre el path se selecciona la opción de Browse for Path para indicar donde se encuentra el archivo (.udl).

A continuación abrirá una carpeta de búsqueda donde se seleccionara cual es el archivo vínculo y dar Save para guardar este vínculo.



9.- A continuación se debe revisar que la tolva de la sembradora tenga suficiente semillas para la corrida.

NOTA: procurar eliminar semillas rotas o basura para evitar que se tape el plato dosificador y produzca errores en los resultados.



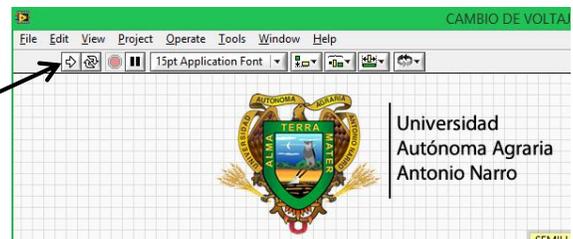
10.- Encender la bomba de vacío la cual al momento de estar trabajando debe de estar en un rango de 10 y 12 pulgadas de agua.



11.-A continuación se pone en marcha el variador de frecuencia presionando el botón de FDW el cual es para establecer interacción con el programa y pueda leer los datos enviados por la tarjeta de adquisición de datos. En dado caso que el sistema comience a girar a la contra presionaremos el botón de Reverse el cual para el sistema y girara en el sentido correcto.

NOTA: en caso de mal funcionamiento de variador de frecuencia revisar la tesis de Méndez (2012).

12.- Por ultimo esta listo para poner en marcha el programa al cual se da clic en correr como se muestra:



Anexo G

F1 COMPONENTES DE LA TARJETA ELECTRONICA

- Para la tarjeta electrónica se usó los siguientes componentes
 - ✓ 2 capacitores de 1000 μ F
 - ✓ 3 clemas de 3 vías para circuito impreso
 - ✓ 2 bases para integrados de 18 pines
 - ✓ 1 base para integrado de 14 pines
 - ✓ 5 mini switch
 - ✓ 1 mini slide switch
 - ✓ 3 led
 - ✓ 2 cristales de 4MHZ
 - ✓ Un puente rectificador
 - ✓ 1 diodo zener
 - ✓ 4 capacitores cerámicos 22
 - ✓ 1 potenciómetro 103
 - ✓ 2 capacitores cerámicos 104
 - ✓ Dos pantallas LCD
 - ✓ Resistencias de 10k Ω , 330 Ω , 100 Ω y 2.2k Ω .
 - ✓ Un transistor MPS2222A
 - ✓ Un regulador de voltaje LM7905CV.
 - ✓ 2 transformadores de 127 v a 24v.

Anexo H

H1.- Cuadros de las diferentes corridas completas.

Cuadro H1 Coeficientes de variación a una velocidad de 2.0V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.

VELOCIDADES		2.0 VOLT				
GRUPO DE SEMILLAS	VARIABLE	R1	R2	R3	R4	R5
CADA 5	CV	13.47	14.24	15.72	18.98	19.94
CADA 10	CV	5.51	13.69	10.89	13.59	13.27
CADA 15	CV	7.21	9.4	8.33	11.33	9.86
CADA 20	CV	7.25	8.94	6.36	11.17	7.53
CADA 25	CV	4.82	5.91	7.27	6	5.02
CADA 30	CV	5.2	8.22	5.23	10.98	5.96
CADA 40	CV	4.54	4.94	9.35	6.31	5.05
CADA 50	CV	3.98	4.4	4.42	4.43	5.17
CADA 100	CV	5.45	4.5	14.16	18.71	4.46

Cuadro H2 Coeficientes de variación a una velocidad de 2.6V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.

VELOCIDADES		2.6 VOLT				
GRUPO DE SEMILLAS	VARIABLE	R1	R2	R3	R4	R5
CADA 5	CV	11.88	10.89	15.49	20.31	20.22
CADA 10	CV	10.77	12.75	11.35	15.29	15.23
CADA 15	CV	5.51	9.24	9.43	9.4	10.75
CADA 20	CV	10.1	8.27	7.62	9.8	7.17
CADA 25	CV	4.7	4.29	10.56	7	12.13
CADA 30	CV	9.23	5.58	8.95	16.29	5.66
CADA 40	CV	3.79	4.78	4.5	8.91	9.28
CADA 50	CV	3.94	4.59	5.08	9.86	11.72
CADA 100	CV	5.56	4.96	5.33	11.24	4.27

Cuadro H3 Coeficientes de variación a una velocidad de 3.2V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.

VELOCIDADES		3.2 VOLT				
GRUPO DE SEMILLAS	VARIABLE	R1	R2	R3	R4	R5
CADA 5	CV	11.9	11.13	12.58	20.11	20.06
CADA 10	CV	8.6	13.36	9.67	14.87	13.49
CADA 15	CV	8.13	9.06	7.06	11.62	9.11
CADA 20	CV	10.36	6.14	9.3	10.98	7.29
CADA 25	CV	9.02	5.7	6.16	8.21	5.46
CADA 30	CV	9.12	5.08	4.53	9.62	9.3
CADA 40	CV	4.95	4.78	5.06	7.19	4.62
CADA 50	CV	5.16	4.16	4.47	4.84	6.43
CADA 100	CV	5.98	5.35	4.53	4.85	4.23

Cuadro H4 Coeficientes de variación a una velocidad de 3.8V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.

VELOCIDADES		3.8 VOLT				
GRUPO DE SEMILLAS	VARIABLE	R1	R2	R3	R4	R5
CADA 5	CV	15.37	13.41	15.35	21.17	20.49
CADA 10	CV	8.91	14.16	10.65	15.67	14.64
CADA 15	CV	8.54	8.65	9.21	10.02	11.38
CADA 20	CV	8.96	8.14	10.37	7.37	7.95
CADA 25	CV	13.91	5.21	6.02	7.18	6.67
CADA 30	CV	6.47	5.31	12.15	8.49	10.43
CADA 40	CV	5.06	7.59	9.69	5.86	5.18
CADA 50	CV	5.5	5.03	5.17	5.1	6.13
CADA 100	CV	4.94	5.64	3.83	4.54	4.7

Cuadro H5 Coeficientes de variación a una velocidad de 4.4V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.

VELOCIDADES		4.4 VOLT				
GRUPO DE SEMILLAS	VARIABLE	R1	R2	R3	R4	R5
CADA 5	CV	15.86	14.25	16.93	21.54	22.21
CADA 10	CV	11.39	15.64	10.37	17.75	14.48
CADA 15	CV	8.6	9.65	9.76	10.14	15.5
CADA 20	CV	12.82	10.55	10.01	10.22	7.52
CADA 25	CV	7.07	9.94	7.02	7.38	8.32
CADA 30	CV	9.75	6.4	5.77	7.98	8.2
CADA 40	CV	6.29	7.13	5.95	12	6.67
CADA 50	CV	6.06	5.69	11.4	5.69	10.17
CADA 100	CV	6.32	6.54	5.2	6.09	4.34

Cuadro H6 Coeficientes de variación a una velocidad de 5.0V a 9 diferentes agrupaciones de semillas.

VELOCIDADES		5.0 VOLT				
GRUPO DE SEMILLAS	VARIABLE	R1	R2	R3	R4	R5
CADA 5	CV	17.5	15.7	17.69	23.14	24.02
CADA 10	CV	13.48	15.46	11.63	16.73	17.59
CADA 15	CV	8.95	10.98	9.32	11.27	16.5
CADA 20	CV	12.27	10.32	7.85	9.81	14.67
CADA 25	CV	8.55	11.23	7.5	10.77	12.52
CADA 30	CV	7.76	7.78	9.04	7.01	8.97
CADA 40	CV	6.43	7.16	6.8	10.81	11.31
CADA 50	CV	5.72	6.08	5.63	5.98	7.35
CADA 100	CV	7.29	5.84	5.44	9.15	8.05