

124-3.



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

BIBLIOTECA
Campus Ciudad de México

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Ciudad de México

División de Ingeniería y Arquitectura

Ingeniería en Mecatrónica

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Adquisición de datos y control agrícola

Autores:	Fernando Aldasoro Carrancá	971140
	Mario Humberto del Vecchy Tenorio	970714
	Helmut Solares Alcalde	923458
Asesor:	M.C. Marco Paz	
Profesor:	Artemio Portes Gil	

México D.F. Mayo, 2006

EGIA - PROYE
SB494.5.03
A54
2006
ej. 2

yn b 10714376

Índice

I. Introducción	3
I.1 Objetivos y Metas	4
I.2 Estado del arte	4
II. Teoría.....	7
II.1 Ecología	7
II.1.1 Microclima.....	7
II.1.2 Las plantas y el agua.....	8
II.1.3 Respuesta a la temperatura	8
II.1.4 Fresa, características y parámetros de cultivo	9
II.2 Sensores	16
II.2.1 Sensores de humedad.....	16
II.2.2 Sensores de iluminación	18
II.2.3 Sensores de temperatura (LM35).....	19
II.3 Adquisición y manejo de datos	20
II.3.1 Principios de LabVIEW.....	20
II.3.2 Tarjeta de adquisición de datos.....	21
II.3.3 Funciones.....	23
II.4 Lógica difusa	24
II.4.1 Introducción a la lógica difusa.....	25
II.4.2 Historia	25
II.4.3 Conceptos básicos de lógica difusa	26
II.4.4 Funcionamiento de la lógica difusa	28
II.5 Control de posición	32
III. Resultados	36
III.1 Diseño de los sensores	36
III.1.1 Sensor de temperatura	36
III.1.2 Sensor de iluminación	37
III.1.3 Sensor de humedad.....	38
III.2 Programación y control	40
III.2.1 Circuito de operadores amplificacionales	40
III.2.2 Control de los motores	42
III.3 Maqueta	58
III.4 Propuesta de mecanismo para la adquisición de datos	59
III.5 Instrumentos virtuales	60
III.6 Integración de las partes del proyecto	61
IV. Conclusiones	65
V. Anexos.....	66
Anexo I. Desarrollo histórico de la fresa.....	66
Anexo II Superficies de respuestas	68
Anexo III Poster	69
VI. Referencias.....	70

I. Introducción

La agricultura en México se encuentra en un nivel con posibilidad de desarrollado en comparación con países de primer mundo. No sería correcto ignorar dicha situación puesto que es una importante fuente de exportaciones. El presente proyecto ofrece una opción económica que permitiría modernizar por medio de la automatización el control de los cultivos, permitiendo obtener productos de mejor calidad que se puedan vender mejor.

Con el presente trabajo se busca tener un acercamiento al desarrollo de un cultivo, conociendo las características propias del mismo, así como las condiciones necesarias para su desarrollo; para poder tener un conocimiento y control en el tiempo de las variables relevantes para el desarrollo y de esta manera poder tomar acciones correctivas, traduciéndose en un producto de consumo presumiblemente de mejor calidad.

Se contempla tener un medio que permita la obtención de las variables climáticas en el cultivo, analizarlas por medio de lógica difusa y en base al resultado poder controlar actuadores que mantengan a la cosecha dentro de estado de desarrollo positivos. Con un conocimiento más profundo y local de las condiciones presentes en las áreas de cultivo, se tiene la posibilidad de contar con un control de las condiciones a partir de las acciones que mantengan las condiciones más favorables posibles para el desarrollo de cada uno de los cultivos. Con la simulación del proceso de crecimiento se busca poder observar el resultado de la calidad del producto ante diferentes condiciones, las cuales pueden ser dadas o medidas del medio.

El proceso de adquisición de datos y control agrícola contemplado, presentado en la figura 1 el diagrama de bloques, incluye la adquisición de datos referentes al crecimiento, los cuales pueden ser de forma real o simulado; los datos obtenidos son enviados hacia una computadora para ser almacenados y procesados a partir de sistemas difusos, con los cuales se realizan los envíos de señal a los actuadores para llevar a cabo las acciones correctivas, en caso de ser necesarias.

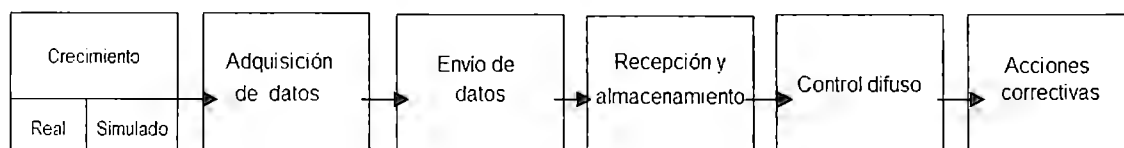


Figura 1. Diagrama de bloques del proyecto

I.1 Objetivos y Metas

- Realizar la adquisición de datos relevantes dentro de un cultivo de fresas, los cuales puedan ser utilizados para tomar acciones correctivas con el fin de obtener mejores productos.
- Conocer el programa de adquisición y control LabVIEW, el cual permite manejar los datos mencionados; el alcance del mismo permite tener la adquisición, el control y envío de las señales dentro de una misma plataforma.
- Conocer los principios y características del control difuso, para aplicarlo al control en el sistema; así como para poder simular el desarrollo de las fresas, permitiendo un análisis acelerado del producto obtenido bajo diferentes condiciones.
- Conocer los principios de la adquisición de datos, mediante tarjetas de NI, así como la configuración y utilización general de LabVIEW.
- Conocer los patrones y necesidades de las fresas para el desarrollo óptimo de la planta, conociendo las características agro-climáticas y de cultivo pertinentes.

I.2 Estado del arte

Existen en la actualidad proyectos relacionados con el control automático de campos de cultivo. De manera general se han desarrollado por grupos interdisciplinarios, entre los que se incluyen ingenieros en electrónica, comunicaciones, control y también agricultura [8]. El desarrollo de proyectos presenta el decremento en el costo de la tecnología necesaria para llevar a cabo el control, en conjunto con el posible aumento en la producción producto de las condiciones de eficiencia logradas.

Considerando el factor de que los campos de cultivo por lo general se encuentran en zonas alejadas, se han desarrollado sistemas de comunicación inalámbrica por medio de radiofrecuencia, como el desarrollado por Serôdio C. y otros [9], en los cuales existen múltiples sensores a lo largo del campo y cada uno de ellos puede enviar una señal al control. Posteriormente en la unidad de control se toman decisiones y se activan los actuadores de riego, iluminación, etc., la figura 2 muestra el sistema utilizado.

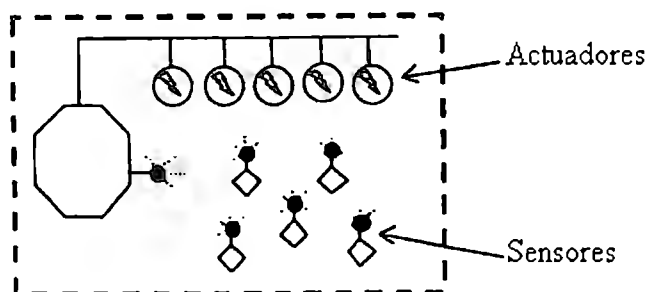


Figura 2. Diseño de un sistema de comunicación y control

La comunicación también se podría lograr por medio de Ethernet, lo importante es contar con un protocolo adecuado. El proyecto no tuvo el éxito que se esperaba, el principal problema fue que las modificaciones no eran muy sencillas de realizar, se requería de la presencia de un técnico de forma constante para que aplicara las correcciones, generando un gran aumento en los costos.

Una característica que comparten muchos de los trabajos es el uso de la lógica difusa para el control y toma de decisiones. Se tienen varias ventajas con el manejo de dicha técnica, como el razonamiento en términos humanos y la posibilidad de aproximar funciones no lineales con modelos sencillos. Sin embargo no siempre se considera la simplificación de los modelos de lógica difusa y se pone más atención en la precisión, generando modelos demasiado complicados donde las fallas son extremadamente difíciles de detectar. El proyecto de Morimoto T. y otros [10] se realiza sobre esa línea, proponiendo un método que agrupa en sistemas y subsistemas a los elementos de la lógica difusa para mejorar la organización e incluso disminuir tiempos en el control, ya que incluso para la computadora resulta más sencillo el manejo de la información.

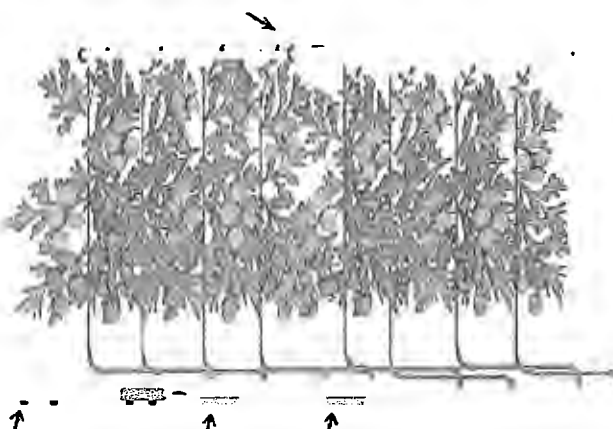


Figura 3. Diseño de proceso y distribución de sensores

El proyecto de Helmer T. y otros [11] presenta las consideraciones del lugar donde deben de colocarse los sensores, el diagrama del cual se presenta en la figura 3, en donde las flechas indican su posición. Es importante encontrar posiciones

representativas del sistema si se pretende disminuir la cantidad de sensores, además de que el crecimiento de las plantas puede provocar una necesidad de reposicionamiento de los mismos.

El *software* por supuesto juega un papel importante, puesto que con el se desarrolla el proceso de adquisición de datos, interpretación por lógica difusa y envío de las salidas. Se habla sobre el desarrollo de programas especiales por medio de herramientas de programación, como Visual Basic [11][12] que trabaja en un sistema operativo común, incluso se comercializa para ese propósito. El desarrollo del presente trabajo incluye la programación de las funciones a través de LabView para la adquisición de los datos que servirá para el control, la simulación y la intercomunicación, utilizando protocolos establecidos.

A pesar de la existencia de trabajos de investigación y desarrollo sobre temas similares al de nuestro proyecto, no encontramos ninguno que fuera igual aunque muchos de los principios son similares. La forma de control utilizada en los casos es la lógica difusa, ampliándolo en casos con redes neuronales y algoritmos genéticos [10]. Los proyectos parecen ser viables si se mantiene un enfoque en la flexibilidad y facilidad de manejo. Las características del campo y de los diferentes cultivos cambian considerablemente y se debe poder adaptarse a esas variaciones sin mucho problema. La tecnología es económica pero la asistencia técnica puede llegar a ser de un costo elevado, debe crearse un proyecto que pueda manejar una persona sin conocimientos profundos de la parte técnica. Algo interesante es que han pasado 20 años desde que se comenzaron a realizar intentos de automatizar el trabajo agrícola y el trabajo continúa, puesto que se ha comprobado que un buen control de los factores que afectan a las cosechas tiene una gran remuneración económica por la calidad de los productos.

II. Teoría

La adquisición de las características climáticas presentes en el cultivo se contempla a partir del desarrollo de una terminal externa básica, la cual sea capaz de realizar la recolección de los datos relevantes y trabajar de manera conjunta con los programas realizados, que tienen la capacidad de simular la calidad resultante del producto y llevar a cabo la adquisición de los datos, el almacenamiento, la evaluación y control de los dispositivos para mantener las condiciones necesarios de desarrollo, es decir, la terminal permitirá la adquisición por medio de sensores de la información presente en la zona de cultivo, para posteriormente transmitirla de forma inalámbrica a una computadora. La computadora con la recepción de los datos, los almacenará en memoria; a los datos adquiridos se les aplicará un proceso de lógica difusa para tomar acciones de control y poder llevar acciones correctivas dentro de las instalaciones y así poder regular las condiciones necesarias para las plantas.

La elección del cultivo hacia el cual se realiza el proceso se realizó en base a la observación de variables de desarrollo, disponibilidad y crecimiento de la plantas, eligiendo cultivos de fresas; en el desarrollo de la terminal influyen las dimensiones, la perspectiva de crecimiento, el gasto y la variabilidad de los datos, todo esto para realizar la elección final de distribución y componentes. Al haber realizado la elección de la fresa como cultivo para el desarrollo del proyecto, se realizó una investigación de las necesidades básicas de desarrollo e interrelación de las plantas y las características propias y necesarias de ella. Se comienza con conceptos base para conocer los efectos del proyecto.

II.1 Ecología

La ecología, como base para el conocimiento de las características de desarrollo, es el estudio de las interacciones entre los organismos y su ambiente. Existen dos componentes del ambiente: el físico, en el cual intervienen aspectos como la temperatura, disponibilidad de agua, velocidad del viento y la acidez del suelo y el ambiente biótico, el cual se relaciona con influencias de otros organismos como la competencia, prelación y parasitismo.

Dentro de las variaciones en el ambiente se pueden distinguir dos factores; el primero son las condiciones, las cuales son características del ambiente no consumidas, como la temperatura o la acidez. El segundo tipo son los recursos, elementos consumibles como el agua y la luz.

II.1.1 Microclima

Los mapas globales de temperatura, viento y lluvia varían mucho en cada área. De igual forma en una menor escala existe una gran variación micro climática. Por

ejemplo, el descenso de aire denso y frío en el fondo de un valle de noche puede reducir la temperatura del aire en 30°C comparado con la temperatura del aire a 100m de altura del valle. En una escala aún menor, el aire junto a la superficie de una planta puede ser hasta 20°C mayor que el aire a 0.3m por encima de la planta.

El suelo constituye el mejor depósito de calor, actuando como un acumulador de energía durante el día y como una fuente de ésta durante la noche. La conductividad térmica del suelo depende de su porosidad y humedad. El agua permite absorber mejor la energía solar además de que mejora la conductividad.

II.1.2 Las plantas y el agua

Para las plantas terrestres la fuente principal de agua es el suelo. El agua se conserva en el suelo gracias a la porosidad de éste. Existe una máxima cantidad de agua que puede contener el suelo en contra de la fuerza de gravedad que tiende a drenarla, la cual se denomina "capacidad del campo". De igual forma existe un mínimo de humedad en el suelo que depende de las plantas, ya que si se rebasa ya no tendrán capacidad de absorber el agua de los poros más pequeños, se denomina "punto permanente". Si no se respeta la planta se secará sin poder recuperarse. Existe una relación directa entre la productividad de las plantas y su irrigación, que de forma general se puede relacionar con la zona donde se encuentre la planta; en la tabla 1 se puede observar la relaciones. El agua es esencial para como constituyente de las células y también en el proceso de fotosíntesis. Una característica común de áreas de baja productividad es que la pérdida de agua excede a las precipitaciones.

Tabla 1. Productividad en diferentes ecosistemas cuyo nivel de humedad es distinto.

Sitio	Productividad por área unitaria
Desierto	90
Bosque templado	1200
Bosque de coníferas	1300
Pradera	600

II.1.3 Respuesta a la temperatura

La temperatura puede ser también un estímulo, determinando si un organismo puede desarrollarse. Para muchas plantas un periodo de muy alta temperatura o de enfriamiento es necesario antes de germinar.

Cuando las hojas interceptan energía radiante ésta puede ser absorbida, reflejada o transmitida. Una parte sirve como combustible para la fotosíntesis, en dónde se convierte el agua y el CO₂ en azúcares. Sólo un espectro de la luz solar es útil

para la fotosíntesis, el cual va de 380nm a 710nm. Las plantas rara vez alcanzan su máximo potencial fotosintético, debido a falta de agua y a variaciones en la intensidad de luz, esto debido a los cambios durante el día y el año, en la figura 4 se muestra entre la intensidad de luz y el aprovechamiento de CO₂.

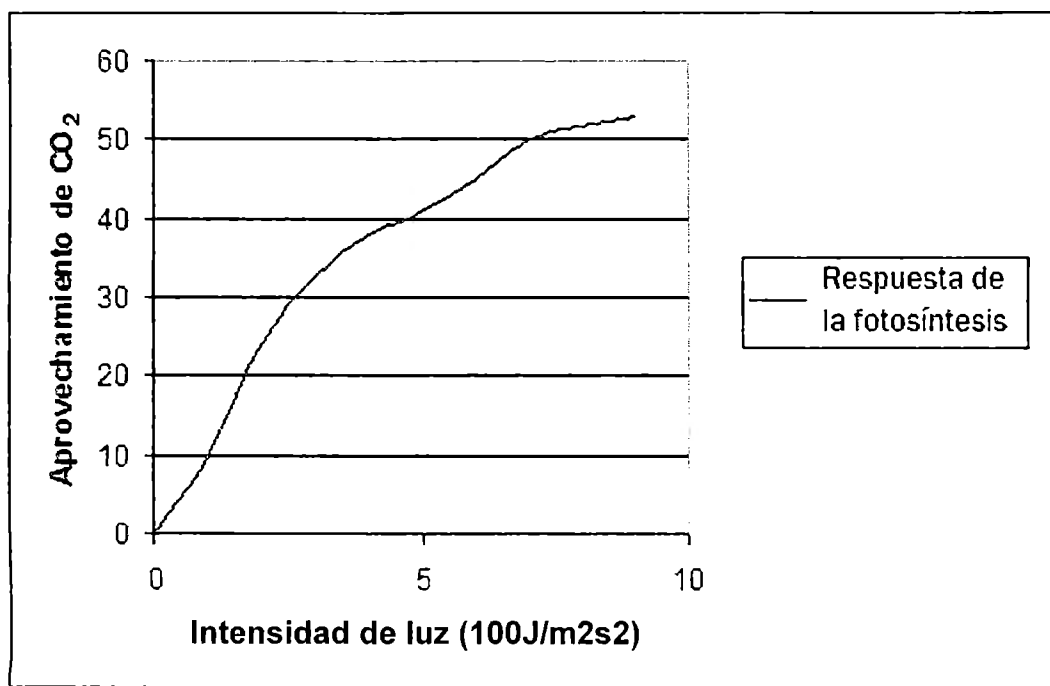


Figura 4. Respuesta de la fotosíntesis a la intensidad de luz medida con concentración de CO₂.

II.1.4 Fresa, características y parámetros de cultivo

Como se mencionó anteriormente las condiciones de suelo, clima, así como la disponibilidad de agua de buena calidad, pueden provocar una expansión en el volumen y consecuente ganancias obtenidas de un cultivo. Para lograrlo ha ido siendo necesario buscar un grado de tecnicidad elevado, así como estructuras de distribución y dinamismo comercial. Para poder desarrollar e implementar estas mejoras es necesario tener un conocimiento de las variables que afectan el desarrollo del producto; para poder medir y controlar posteriormente estos parámetros. La fresa, cuya imagen se muestra en la figura 5, desde el punto de vista de la botánica se ubica y clasifica en:

- Familia: Rosáceas
- Subfamilia: Rosídeas
- Tribu: Potentilea
- Género: Fragaria



Figura 5. Planta de fresa

La fresa es un vegetal del tipo vivaz que puede vivir varios años, sin embargo dura dos años en producción económica, las de mayor edad se muestran manifiestamente más débiles, con bajo rendimiento y frutas de menor calidad debido a una mayor incidencia de plagas y enfermedades. Se ha realizado experimentación para la obtención de variedades, la historia general del desarrollo que se ha llevado se muestra en el Anexo I.

Estructura y crecimiento

La planta es de tipo herbáceo y perenne, cuya organografía se muestra en la figura 6. El sistema radicular es fasciculado, se compone de raíces y raicillas. Las primeras presentan cambium vascular y suberoso, mientras que las segundas carecen de éste, son de color más claro y tienen un periodo de vida corto, de algunos días o semanas, en tanto que las raíces son perennes. Un 80% ó más de ellas se ubica en los primeros 15cm del suelo, los suelos para el cultivo de fresa no tienen que ser muy profundos; deben ser livianos, preferiblemente arenosos y con muy buen drenaje, con un pH situado entre 5,5 a 6,5.

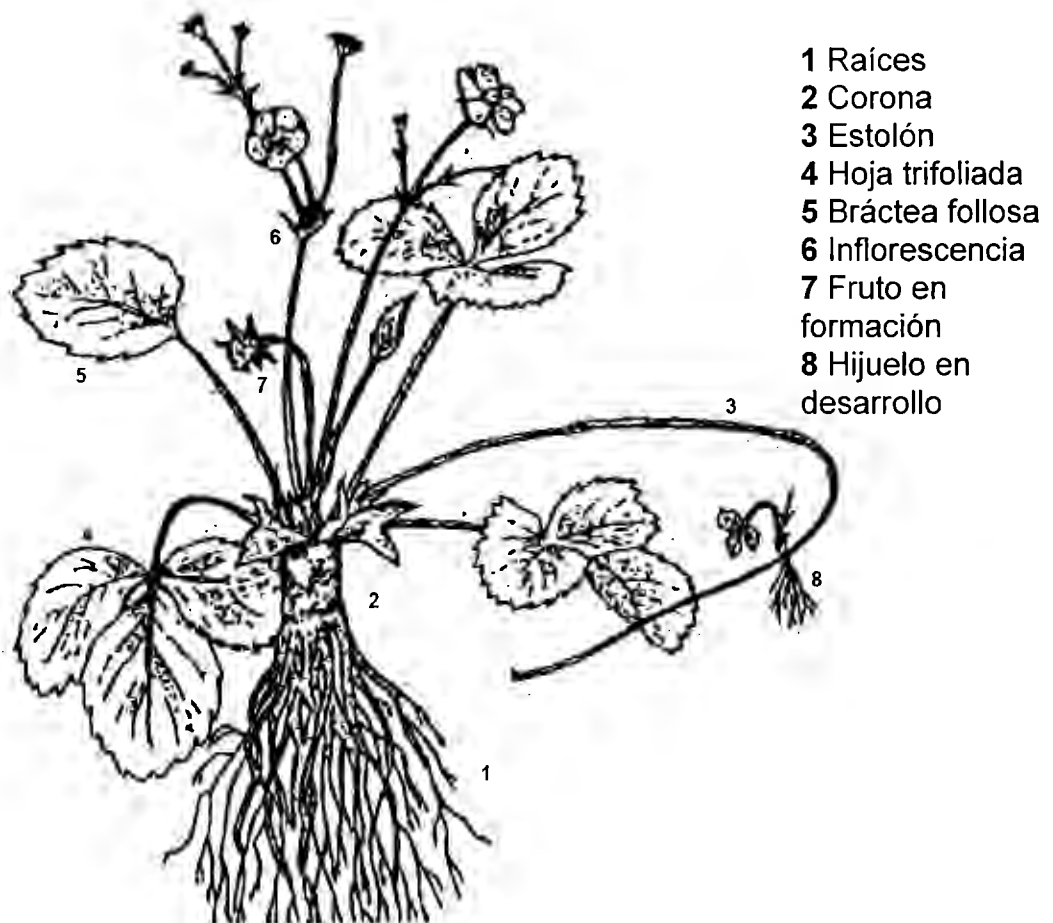


Figura 6. Organografía de la fresa

El tallo está constituido por un eje corto de forma cónica llamado "corona", en el que se observan numerosas escamas foliares. Las hojas aparecen en roseta y se insertan en la corona. Son largamente pecioladas y provistas de dos estípulas rojizas. Su limbo está dividido en tres folíolos pediculados, de bordes aserrados, tienen un gran número de estomas (300-400/mm²), por lo que pueden perder gran cantidad de agua por transpiración; 10 hojas le permite transpirar más o menos medio litro de agua en un día caluroso.

Las inflorescencias se pueden desarrollar a partir de una yema terminal de la corona, o de yemas axilares de las hojas. La flor tiene 5-6 pétalos, de 20 a 35 estambres y varios cientos de pistilos sobre un receptáculo carnoso, en la figura 7 se muestra un conjunto de ellas. Cada óvulo fecundado da lugar a un fruto de tipo aquenio. Si la polinización no es completa y quedan pistilos sin polinizar, el fruto resultará deformado. El desarrollo de los aquenios, distribuidos por la superficie del receptáculo carnoso, estimula el crecimiento y la coloración de éste. Una fresa mediana suele tener de 150 a 200 aquenios, pudiendo llegar hasta 400 en las de gran tamaño.

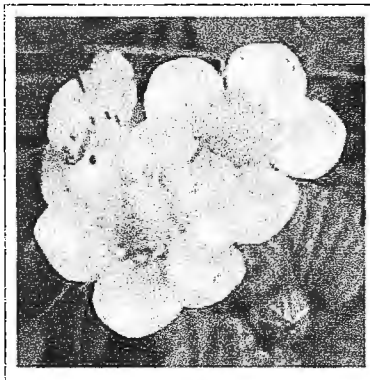


Figura 7. Flores presentes en una planta de fresa

Los estolones son brotes delgados, que se forman a partir de las yemas axilares de las hojas situadas en la base de la corona, se desarrollan en gran cantidad en épocas de alta temperatura. Los estolones constituyen el método más fácil de propagación de plantas.

Desde un punto de vista agronómico las fresas se pueden clasificar en tres grupos: reflorecientes o de día largo, no reflorecientes o de día corto, y remontantes o de día neutro. La floración en los dos primeros casos se induce por un determinado fotoperiodo, mientras que este factor no interviene en el tercero. En cualquier caso, no sólo influye el fotoperiodo, sino las temperaturas u horas de frío que soporta la planta.

Fases de desarrollo de la fresa

Las fases de desarrollo de las fresas se pueden determinar por sus características físicas diferenciadas de los cultivos; de manera general las fases con sus características básicas son:

- A. Fase de reposo vegetativo. Las hojas aparecen rojizas y secas y con poco crecimiento.
- B. Fase de iniciación a la actividad vegetativa. Comienzan a aparecer brotes verdes y a formarse hojas en estado rudimentario.
- C. Fase de botones verdes. Entre las hojas anteriores comienzan a aparecer botones verdes.
- D. Fase de botones blancos. Se observan perfectamente los botones blancos aunque los pétalos aun no se hayan desplegado.
- E. Fase de iniciación a la floración. Comienza esta fase a partir del momento en que se observan 3 ó 5 flores abiertas por planta.
- F. Fase de plena floración. Cuando un 50% de las flores están abiertas.
- G. Fase de fin de la floración. Determinada por la caída de pétalos y el inicio de cuajado de los frutos.
- H. Fase de fructificación. Cuando ya se pueden apreciar los frutos verdes

Propagación

Por ser una planta híbrida, no se utilizan de manera general sus semillas para propagarla. Su sistema de crecimiento y formación de nueva coronas y estolones, permite una propagación vegetativa rápida y segura. Si se utilizan las coronas, se arrancan plantas de 6 meses o más y se dividen en secciones. De una sola planta se puede obtener entre 5 y 6 plantas hijas y se debe procurar que cada sección tenga sus propias raíces.

La forma más corriente de propagar este cultivo es por medio de estolones. Utilizando este sistema, con un buen material como planta madre y sembrando en la época adecuada, de una sola planta se pueden obtener hasta 100 plantas hijas. Se está utilizando a su vez el sistema de micropropagación, es el sistema en el que se utilizan plantas criadas en laboratorios, con lo que se busca tener un mejor control y uniformidad de la cosecha.

Siembra y cultivo

Las plantaciones de fresa se efectúan de diferentes formas según el medio ambiente y el tipo de suelo, destino de la producción, tamaño de la explotación y grado de mecanización. Los sistemas más utilizados por los productores son sin cobertura de suelo, con cobertura de suelo, con protecciones para forzado (en todas ellas utilizando eras o lomillos simples, de doble o cuatro hileras), sistemas hidropónicos y sistemas ornamentales.

La cobertura del suelo además impedir que la fruta tenga contacto directo con el suelo, cumple otras funciones importantes como evitar el crecimiento de malezas y aumentar la temperatura del suelo. La impermeabilidad del material evita la evaporación del agua del suelo lo que le convierte en un buen regulador hídrico y economizador de agua. El sistema contribuye a incrementar la precocidad de la cosecha y la temperatura media de la zona donde se sitúan las raíces de la planta.

De igual manera, es posible realizar cubiertas aéreas para conseguir la precocidad en la producción; así se tiene un sistema de protección complementario al acolchado que viene a ejercer las funciones de invernadero. Se utilizan de manera general los túneles o microtúneles y los macrotúneles, mostrados en la figura 8, los primeros de los cuales cubren una sola era, constan de una estructura formada por arquillos de 6-8 mm de diámetro, en hierro galvanizado, y de unos 2 m de longitud. La otra estructura, el macrotúnel, llega a cubrir de 7 a 9 eras, los arcos son ahora de 6 a 7 m de longitud y casi 3 de altura. Ofrece un espacio de trabajo cómodo y una mejor protección.

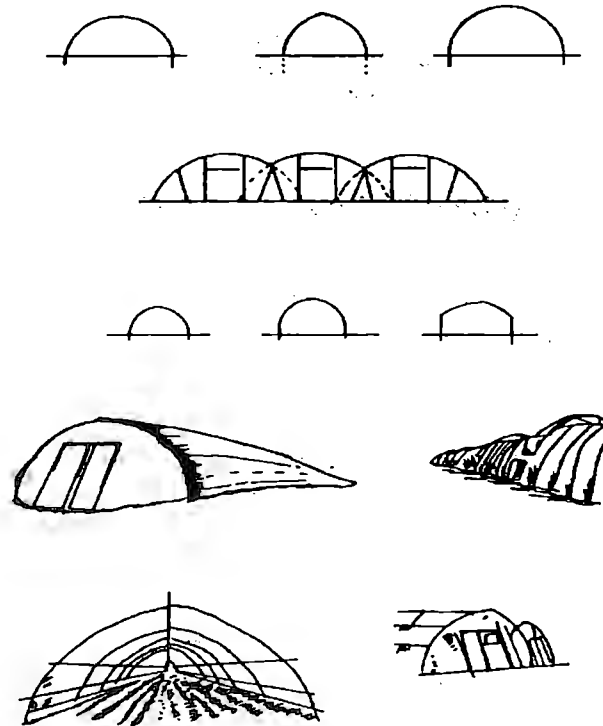


Figura 8. Diferentes tipos de cubiertas con túneles

Cosecha y recolección

Las fresas están listas para la recolección después de los 30 a 40 días de la floración. La recolección se realiza cuando el fruto ha adquirido el color típico de la variedad, al menos en 2/3 a 3/4 de la superficie, dependiendo del destino o mercado, de tal manera que pueda resistir el transporte. La cosecha se efectúa en numerosas pasadas por la plantación. Se arrancan los frutos de acuerdo al mercado, en fresco o en congelado. Para el primer caso se realiza con cuidados especiales, lo que le hace más costoso. Los frutos tienen que conservar el cáliz y una pequeña parte del pedúnculo. Para el segundo caso, es decir para procesamiento, es menos delicado y la fruta queda sin el cáliz. La cosecha no se debe cortar después de que se riega, sino un día después o antes.

Debido a que la fruta es altamente perecedera, debe cosecharse cada tres días y manejarse con mucho cuidado. Una fruta de fresa cosechada en plena maduración y mantenida a temperatura ambiente, se deteriora en un 80% en sólo 8 horas, debido a lo cual debe de ponerse lo más rápidamente posible en cámaras frías, 0 a -20C, dependiendo la finalidad del producto. En la figura 9 se muestra una producción de fresones positiva.

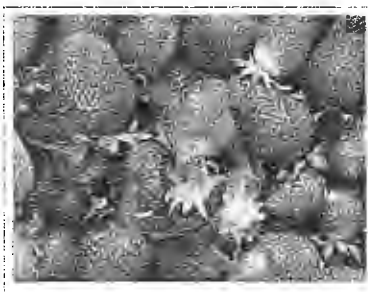


Figura 9. Producción de fresas

Clima

La planta de fresa es termo y fotoperiódica, o sea que su crecimiento depende de las condiciones de luz y temperatura. Las altas temperaturas y los días largos (más de doce horas de luz) provocan crecimiento vegetativo excesivo; las bajas temperaturas y días cortos inducen floración.

La planta necesita acumular una serie de horas frío, con temperaturas por debajo de 7°C, para dar una vegetación y fructificación abundante. Debido a que insuficiente cantidad del mismo origina un desarrollo débil de las plantas, que dan frutos blandos y de vida comercial reducida. Un exceso de frío acumulado, por otra parte, da lugar a producciones más bajas, con gran crecimiento vegetativo, floración y aparición de estolones prematuros. Los valores óptimos para una fructificación adecuada se sitúan en torno a los 10-20°C de media anual (la temperatura máxima nocturna es menor al rango, debido a las características climáticas y la radiación del suelo, permitiendo la acumulación de las horas frío necesarias), con una temperatura óptima con promedio de 14°C, en condiciones, donde todos los días tiene menos de 12 horas de luz. Por lo que de forma general se cultiva en zonas desde 1,200 hasta 2,500 msnm.

Agua

Se trata de un cultivo exigente en agua, siendo de vital importancia el mantenimiento de una correcta humedad en el terreno. Sin embargo es muy sensible a los encharcamientos, por lo que asegurar un buen drenaje y realizar un manejo técnico del riego son actuaciones indispensables. Debido a eso se hace uso de coberturas de suelo y sólo se utilizan los sistemas de riego por aspersión o por goteo. Cuando es por aspersión, se prefieren aspersores pequeños y de gota fina para no afectar la floración. El sistema de riego por goteo ha dado mejores resultados, utilizando una manguera con doble pared y con salidas de agua cada 25cm. Con este sistema basta una sola manguera por cada era de 70cm de ancho.

El cultivo de la fresa requiere de agua, muy repartida y suficiente a lo largo del cultivo. En un año con pluviometría del orden de 500 ó 600 mm, se estima que son

necesarios aplicar unos 350 mm, repartidos en un centenar de riegos. Se puede llegar a tener una pluviometría del orden de 2000mm.

La fresa es un cultivo muy exigente en agua, una buena disponibilidad de este recurso representa la base necesaria para un cultivo rentable. La humedad relativa más o menos adecuada es de 60 y 75%, cuando es excesiva permite la presencia de enfermedades causadas por hongos, por el contrario, cuando es deficiente, las plantas sufren daños fisiológicos que repercuten en la producción, en casos extremos las plantas pueden morir[4].

II.2 Sensores

Para poder realizar un control de los parámetros y las características presentes en el cultivo de fresas es necesario tener instrumentos capaces de determinar el valor que presentan en el tiempo cada una de las variables, por lo cual es necesario la implementación de sensores dentro del desarrollo del proyecto, los cuales sean capaces de realizar las mediciones pertinentes. En la mayoría de los casos la lectura de un sensor se apoya en la resistencia existente en el instrumento. Dicha resistencia se puede usar para obtener un voltaje y un equivalente en la unidad que se pretende medir.

II.2.1 Sensores de humedad

El principio del que parten estos sensores es que la conductividad del suelo mejora si la humedad aumenta. Se puede calcular la humedad del suelo si se tiene un medidor de resistencia y se insertan dos puntas en la tierra, sirviendo ésta para cerrar el circuito.

Profesionalmente los sensores de humedad, figura 10, están hechos con dos electrodos concéntricos empotrados en un conglomerado especial sujetado por una membrana sintética y encapsulado en una funda de acero inoxidable, como se presenta en al figura 11. El medidor se conecta a los electrodos y percibe en un instante la resistencia entre estos, luego traduce dicha lectura a la tensión de extracción de humedad del suelo expresada en centíbares.



Figura 10. Sensor profesional de humedad

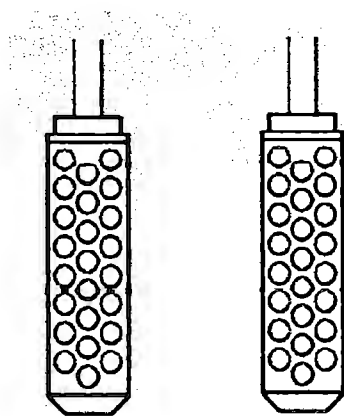


Figura 11. Electrodo que se insertan en la tierra

A continuación se muestra una referencia general que relaciona la necesidad de irrigación con la medición en centíbares.

- 0-10 centíbares: suelo saturado
- 10-30 centíbares: suelo con suficiente humedad
- 30-60 centíbares: margen normal para comenzar el riego, excepto en suelos muy arcillosos
- 60-80 centíbares: margen normal para iniciar riego en suelos arcillosos
- 80+ centíbares: el suelo se está secando peligrosamente

Las características buscadas, de manera general, en un sensor de humedad se presentan en la siguiente relación:

- Poder reflejar tensiones de 10 a 100 centíbares.
- Que no requieran mantenimiento, poder permanecer por temporadas enteras en el suelo.
- Compensación por variaciones de salinidad que falsifican las lecturas.
- Calibración y ajuste no necesarios.

Medición de la humedad en centíbares

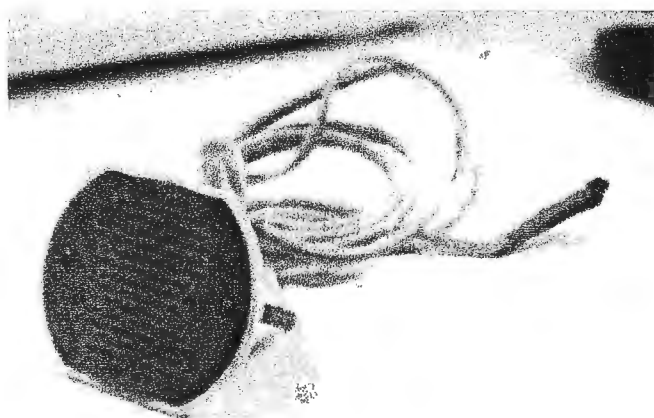
Originalmente los sensores de humedad eran tensiómetros, instrumentos que miden la tensión con que el agua está agarrada por el suelo. Las raíces tienen que superar esta tensión para extraer el agua agarrada por las partículas del suelo y tomar el agua con los nutrientes. Lecturas bajas de tensión indican condiciones húmedas, con agua disponible y fácil para las plantas de extraer. Cuando el suelo se seca, el agua restante está agarrada aún con más fuerza. Las lecturas del tensiómetro se suben, y las raíces tienen más dificultad para extraer agua y mantener el crecimiento óptimo. A cierto punto, es necesario regar para mantener el crecimiento y calidad, y evitar dañar al cultivo. En la tabla 2 se presenta una relación de valores de tensión recomendados para diferentes cultivos.

Tabla 2. Distintos productos con sus tensiones recomendadas

Cultivo	Punta de Riego (tensión, cb)
Alfalfa	70 – 80
Aguacate	40 – 50
Brócoli	25
Cítricos	50 – 70
Maíz	50 – 80
Árboles frutales	20 – 40
Uvas	30 – 60
Lechuga	34 – 50
Papas	30 – 50
Cereales	70 – 80
Fresa	10 – 30
Tomate	45 – 70

II.2.2 Sensores de iluminación

Los más comunes sensores de iluminación son las fotorresistencias. Básicamente son resistencias que cambian su valor cuando varía la intensidad de luz; este tipo de sensores, un ejemplo de los cuales se presenta en la figura 12, se utilizan para determinar la presencia de la iluminación en la planta.


Figura 12. Fotorresistencia

II.2.3 Sensores de temperatura (LM35)

Utilizar termopares se dejó de lado debido a que al utilizarlos a temperaturas cercanas al ambiente la respuesta del sistema no es lineal y en el rango es posible el uso de sensores de estado sólido, que además no necesitan la compensación de punta fría para su funcionamiento. Debido a esto se contempla utilizar sensores LM35.

Las series LM35 son sensores de temperatura precisión, su voltaje de la salida es lineal proporcional a la temperatura centígrada. El LM35 no requiere ninguna calibración o ajuste externo para proporcionar exactitudes típicas de $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ en la temperatura ambiente, la respuesta del sensor se presenta en la figura 13. La gama de temperaturas va de -55°C hasta $+150^{\circ}\text{C}$. El bajo costo es otro factor favorable. La impedancia baja de la salida de los LM35, la salida lineal, y la calibración exacta hacen la interconexión a la lectura o controlar el trazado de circuito especialmente fácil. Existen diferentes configuraciones y empaques los cuales incluyen empaques herméticos con contorno de montaje de superficie.

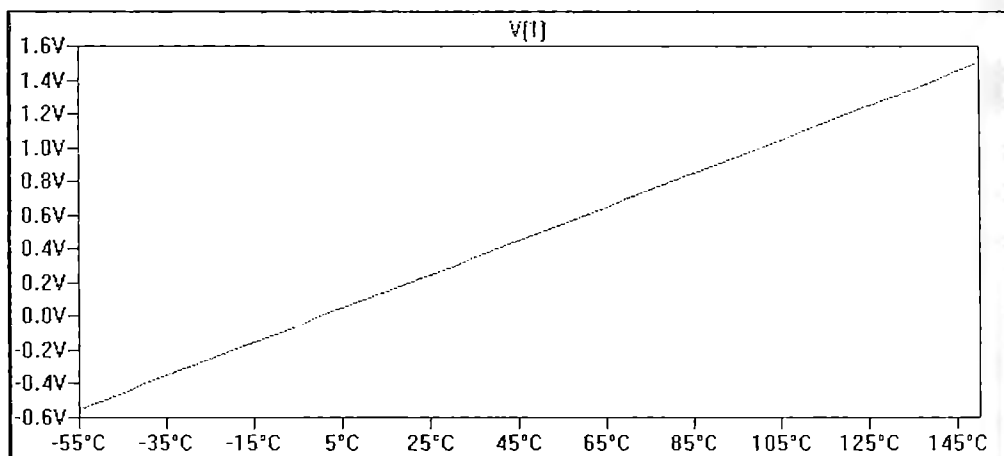


Figura 13. Gráfica de salida de voltaje contra temperatura

Las características que presentan estos sensores se listan a continuación.

- Salida de voltaje proporcionalmente lineal a la temperatura en $^{\circ}\text{C}$.
- $+10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.
- Rango de -55°C a 150°C .
- Auto-calentamiento menor a 0.1°C .
- Sensibilidad de $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$.
- Alimentación de 4V a 30V.

La configuración que se utilizan con el LM35 es la básica, la cual mide 2°C - 150°C , y la de rango completo, cuyas características de operación son $R1 = -V_s/50\mu\text{A}$, $V_{\text{out}} = 1500\text{mV}$ a 150°C y $V_{\text{out}} = -550\text{mV}$ a -55°C , los diagramas de conexión se

presentan en la figura 14. En la gráfica se presente el comportamiento del LM35, donde se grafica la salida del voltaje contra la temperatura.

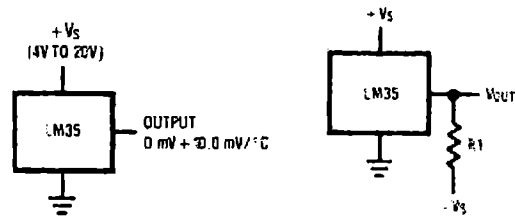


Figura 14. Configuración básica y de rango completo

II.3 Adquisición y manejo de datos

Parte importante de nuestro proyecto es poder manipular la información obtenida por medio de los sensores. El manejo de dicha información se realiza con la ayuda de LabVIEW, *software* diseñado entre otras cosas para facilitar la adquisición de datos externos, además de que sirve para crear instrumentos virtuales.

II.3.1 Principios de LabVIEW

Los parámetros obtenidos de cada una de esas variables además de ser sensados necesitan ser adquiridos por la computadora para poder realizar el proceso de la lógica difusa, para lo cual se utiliza el *software* LabVIEW. Para poder llevar a cabo el proceso fue necesario conocer el programa desde el inicio.

Los trabajos de reconocimiento y familiarización con el *software* abordaron el desarrollo de aplicaciones sencillas, que permitieron simular variables de entrada teóricas en el proceso, permitiendo observar la reacción del sistema a diferencias valores de las variables de medición. En la figura 15 se presenta una visualización de los parámetros de entradas básicas, además de los controladores necesarios para realizar la variación de esas entradas. Con esto ha ido siendo posible conocer las características básicas de LabVIEW, así como el potencial del mismo.

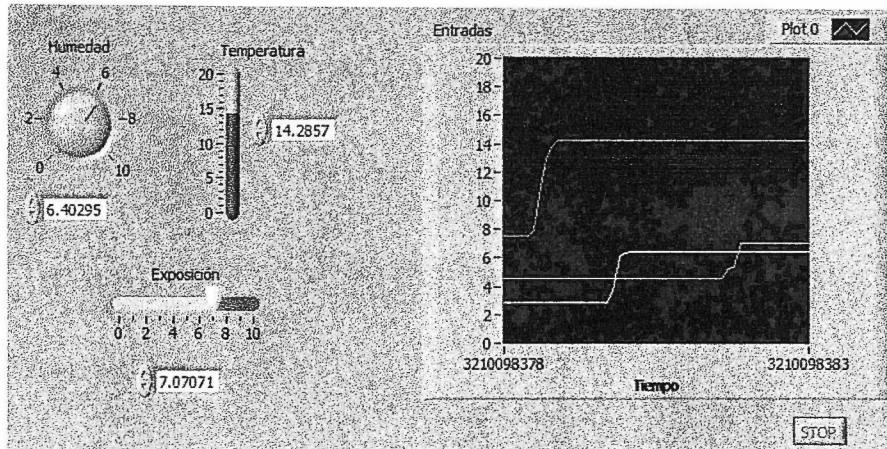


Figura 15. Visualización parámetros de control con LabVIEW

II.3.2 Tarjeta de adquisición de datos

Se ha utilizado la tarjeta de adquisición de datos con entradas y salidas tanto analógicas como digitales. La tarjeta que se ha utilizado es una tarjeta para estudiantes la NI6008, la cual se puede observar en la figura 16; para utilizarla es necesario contar con el software especializado de NI, el cual permite conocer si la conexión que se ha hecho se realizó de manera correcta, así como la intercomunicación entre la computadora y la tarjeta, determinando valores de entrada y salida para diferentes pruebas.

Para utilizar las entradas analógicas de tarjetas de adquisición de National Instruments, es necesario hacer uso de los bloques de adquisición en LabVIEW, los cuales se configuran según el número de dispositivo que es la tarjeta, así como los canales de entrada-salida, el número de muestras y el período de muestreo y actualización de la información. La configuración con los bloques de adquisición y de salida de señal para interactuar con tarjetas, se muestran en la figura 16, en la que es posible observar la manera en que se encuentran especifican las características de cada una de ellas.

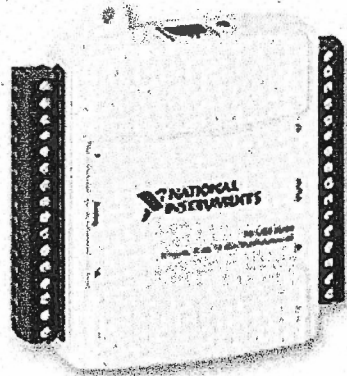


Figura 16. Tarjeta de adquisición de datos para estudiantes NI6008.

En la configuración de módulos de adquisición de datos se puede observar que se toman 1000 muestras por segundo, el dispositivo está marcado como el 2, se está utilizando la entrada 0, además de ser posible configurar, en figura se utiliza un control numérico, para elegir el número de muestras. En la elección de los parámetros del módulo de salida de señal de la computadora hacia la tarjeta se eligieron como actualización de señal 1000 muestras por segundo, utilizando el dispositivo el 2 y canal de salida 0, el cual se realiza en base a la conexión que se utilice físicamente en la tarjeta.

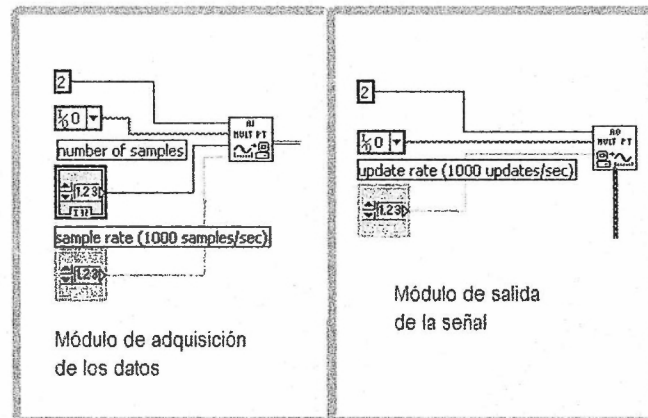


Figura 17. Configuración de los módulos de adquisición y salida de datos en LabVIEW

En la figuras 18 se presenta un programa en el que se hace uso de las configuración de las entradas y salidas analógicas, en la figura se presentan señales de entrada y salida de la tarjeta de adquisición de datos para el control de posición de un motor; en la gráfica superior se observan una señal de referencia, la cual es generada con un *Dial* del programa de LabVIEW, la señal de entrada al programa, la cual está representada de forma punteada debido a las muestras y el tiempo utilizado, esta señal viene de la retroalimentación de la planta. En la gráfica inferior es posible observar como se comporta la señal de salida de la

computadora a la tarjeta de adquisición, las variaciones que presenta se deben a la manera en que se realizó el control sobre la señal.

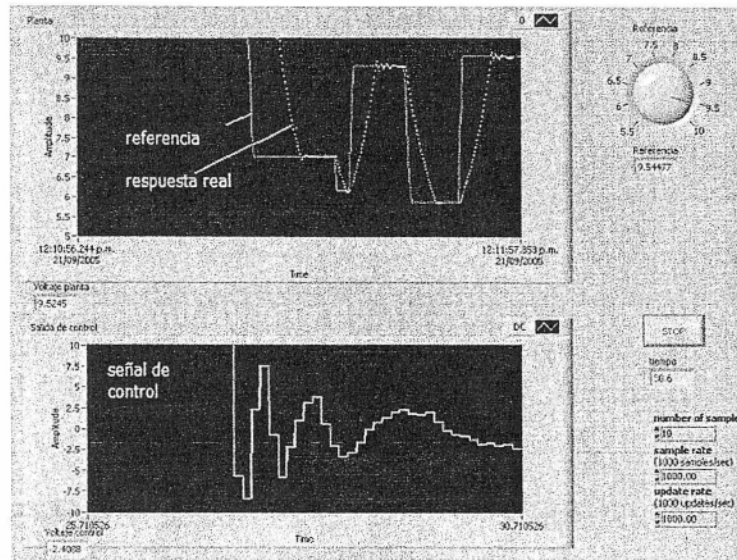


Figura 18. Señales de entrada y salida de la tarjeta

Se realizaron las configuraciones iniciales que permitan correr los programas en tiempo real que se realizan en LabVIEW con la tarjeta de adquisición NI6008. En el trabajo que se realiza para tal actividad es necesario realizar la selección del dispositivo, realizar la configuración de la entrada o salida del puerto y el tipo de señal que se utiliza o mandar, esta forma de uso es para los pines que cuentan con entradas-salidas analógicas, las que se considera de gran utilidad debido a que las salidas de los sensores son analógicas.

Es posible conocer el estado y tipo de cada pata utilizando la ruta de acceso al diagrama de pines, el cual está disponible en el programa de configuración, reconocimiento y prueba de NI, con lo cual se facilita realizar el cableado necesario al momento de hacer el control y la adquisición de los datos. LabVIEW tiene la capacidad de realizar la adquisición de los datos y el control de las señales de entrada y de salida, para la transmisión de datos de manera inalámbrica, cuyo proceso se realiza, pero no se implementa en su conjunto.

II.3.3 Funciones

LabVIEW también puede ser utilizado para configurar funciones y programarlas, de las cuales es posible realizar la gráfica correspondiente, con lo cual es posible realizar corridas y llevar a cabo evaluaciones puntuales, para poder tener el resultado y por consiguiente la gráfica que lo represente. En la figura 19 se muestra el diagrama a bloques del programa para evaluar una función de distribución normal estandarizada, cuyo panel frontal, en donde se especifican los valores de entrada de cada una de las variables se presenta en la figura 20, junto

con la ecuación de la función. Para realizar esta operación se utiliza un ciclo *for*, en donde las iteraciones es el número de veces que se va a entrar el valor a ser evaluado, con la mitad de la corrida con números negativos y la mitad con positivos.

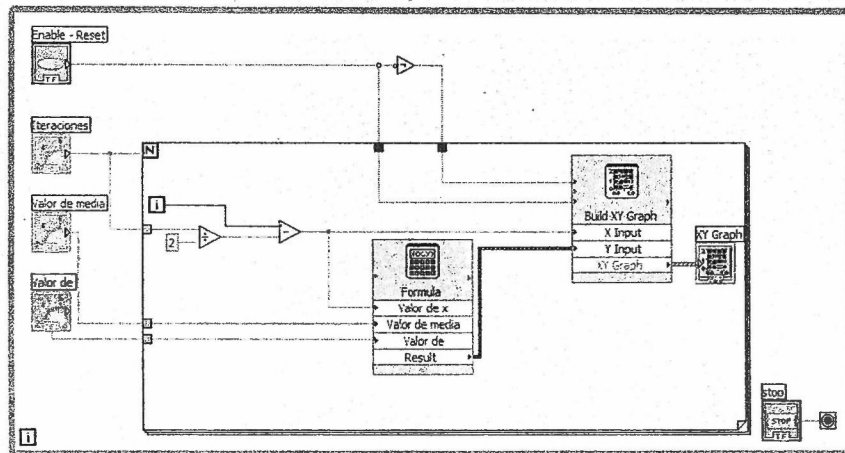


Figura 19. Diagrama a bloques para evaluación y graficación

El botón de Enable-Reset se utiliza para detener el bloque construye la gráfica, de tipo X-Y, borrando lo que tenga desplegado en ella y no permitiendo escribir cuando se encuentra desconectado; se puede observar la presencia de un negador en el diagrama a bloques, esto se debe a la forma en que se necesita estar configurada esta entrada binaria para el constructor de la gráfica.

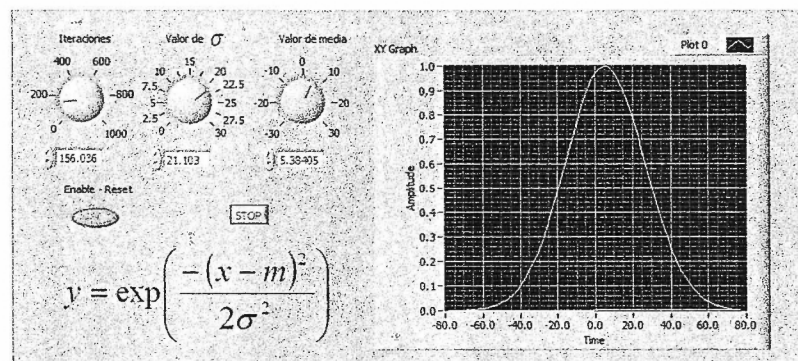


Figura 20. Panel frontal de ecuación normal

II.4 Lógica difusa

Para llevar acabo el análisis de la información recurrimos a la lógica difusa. La razón de ello es que no contamos con ecuaciones matemáticas que puedan relacionar las entradas sensadas con las salidas necesarias en los actuadores. La lógica difusa nos permite usar las reglas lingüísticas que declaran los expertos.

II.4.1 Introducción a la lógica difusa

La lógica borrosa o difusa es una rama de la inteligencia artificial que se funda en el concepto "Todo es cuestión de grado", lo cual permite manejar información vaga o de difícil especificación si quisiéramos hacer cambiar con esta información el funcionamiento o el estado de un sistema específico. Es entonces posible con la lógica borrosa gobernar un sistema por medio de reglas de 'sentido común' las cuales se refieren a cantidades indefinidas.

Las reglas involucradas en un sistema borroso o difuso, pueden ser aprendidas con sistemas adaptativos que aprenden al 'observar' como operan las personas los dispositivos reales, o estas reglas pueden también ser formuladas por un experto humano. En general la lógica borrosa se aplica tanto a sistemas de control como para modelar cualquier sistema continuo de ingeniería, física, biología o economía. La lógica borrosa es entonces definida como un sistema matemático que modela funciones no lineales, que convierte unas entradas en salidas acordes con los planteamientos lógicos que usan el razonamiento aproximado.

Se fundamenta en los denominados conjuntos difusos y un sistema de inferencia difuso basado en reglas de la forma " Si....., entonces..... ", donde los valores lingüísticos de la premisa y el consecuente están definidos por conjuntos difusos, es así como las reglas siempre convierten un conjunto difuso en otro.

II.4.2 Historia

Los conjuntos difusos fueron introducidos por primera vez en 1965; la creciente disciplina de la lógica difusa provee por sí misma un medio para acoplar estas tareas. En cierto nivel, la lógica difusa puede ser vista como un lenguaje que permite trasladar sentencias sofisticadas en lenguaje natural a un lenguaje matemático formal. Mientras la motivación original fue ayudar a manejar aspectos imprecisos del mundo real, la práctica temprana de la lógica difusa permitió el desarrollo de aplicaciones prácticas. Aparecieron numerosas publicaciones que presentaban los fundamentos básicos con aplicaciones potenciales. Esta fase marcó una fuerte necesidad de distinguir la lógica difusa de la teoría de probabilidad. Tal como la entendemos ahora, la teoría de conjuntos difusos y la teoría de probabilidad tienen diferentes tipos de incertidumbre.

En 1994, la teoría de la lógica difusa se encontraba en la cumbre, pero esta idea no es nueva, para muchos, estuvo bajo el nombre de lógica difusa durante 25 años, pero sus orígenes se remontan hasta 2,500 años. Aún Aristóteles consideraba que existían ciertos grados de veracidad y falsedad. Platón había considerado ya grados de pertenencia.

En el siglo XVIII el filósofo y obispo anglicano Irlandés, George Berkeley y David Hume describieron que el núcleo de un concepto atrae conceptos similares. Hume

en particular, creía en la lógica del sentido común, el razonamiento basado en el conocimiento que la gente adquiere en forma ordinaria mediante vivencias en el mundo. En Alemania, Immanuel Kant, consideraba que solo los matemáticos podían proveer definiciones claras, y muchos principios contradictorios no tenían solución. Por ejemplo la materia podía ser dividida infinitamente y al mismo tiempo no podía ser dividida infinitamente. Particularmente la escuela americana de la filosofía llamada pragmatismo fundada a principios de siglo por Charles Sanders Peirce, cuyas ideas se fundamentaron en estos conceptos, fue el primero en considerar "vaguedades", más que falso o verdadero, como forma de acercamiento al mundo y a la forma en que la gente funciona.

La idea de que la lógica produce contradicciones fue popularizada por el filósofo y matemático británico Bertrand Russell, a principios del siglo XX. Estudio las vaguedades del lenguaje, concluyendo con precisión que la vaguedad es un grado. El filósofo austriaco Ludwig Wittgenstein estudió las formas en las que una palabra puede ser empleada para muchas cosas que tienen algo en común. La primera lógica de vaguedades fue desarrollada en 1920 por el filósofo Jan Lukasiewicz, visualizó los conjuntos con un posible grado de pertenencia con valores de 0 y 1, después los extendió a un número infinito de valores entre 0 y 1. En los años sesentas, Lofti Zadeh inventó la lógica difusa, que combina los conceptos de la lógica y de los conjuntos de Lukasiewicz mediante la definición de grados de pertenencia.

II.4.3 Conceptos básicos de lógica difusa

Conjuntos difusos

La mayoría de los fenómenos que encontramos cada día son imprecisos, es decir, tienen implícito un cierto grado de difusidad en la descripción de su naturaleza. Esta imprecisión puede estar asociada con su forma, posición, momento, color, textura, o incluso en la semántica que describe lo que son. En muchos casos el mismo concepto puede tener diferentes grados de imprecisión en diferentes contextos o tiempo. Un día cálido en invierno no es exactamente lo mismo que un día cálido en primavera. La definición exacta de cuando la temperatura va de templada a caliente es imprecisa -no podemos identificar un punto simple de templado, así que emigramos a un simple grado, la temperatura es ahora considerada caliente. Este tipo de imprecisión o difusidad asociado continuamente a los fenómenos es común en todos los campos de estudio: sociología, física, biología, finanzas, ingeniería, oceanografía, psicología, etc.

Un conjunto difuso tiene muchas propiedades intrínsecas que afectan la forma del conjunto, su uso y como participa en un modelo. Las propiedades más importantes de un conjunto difuso son las concernientes a las dimensiones verticales del conjunto difuso (altura y normalización) y las dimensiones horizontales

("universo"). La altura de un conjunto difuso es como máximo un grado de pertenencia y es una cota cercana al concepto de normalización. La superficie de la región de un conjunto difuso es el universo de valores.

Es decir un conjunto difuso A se considera como un conjunto de pares ordenados, en los que el primer componente es un número en el rango $[0,1]$ que denota el grado de pertenencia de un elemento u de U en A , y el segundo componente especifica precisamente quién es ése elemento de u . En general los grados de pertenencia son subjetivos en el sentido de que su especificación es una cuestión objetiva. Se debe aclarar que aunque puede interpretarse como el grado de verdad de que la expresión " $u \in A$ " sea cierta, es más natural considerarlo simplemente como un grado de pertenencia.

En la lógica *booleana* tradicional, los conjuntos son considerados como sistemas bivalentes con sus estados alternando entre inclusión y exclusión. La característica de la función discriminante refleja este espacio bivaluado.

Esto indica que la función de pertenencia para el conjunto A es cero si x no es un elemento en A y la función de pertenencia es si x es un elemento en A . Dado que existen solamente dos estados, la transición entre estos dos estados es siempre inmediata. La pertenencia de estos conjuntos está siempre totalmente categorizada y no existe ambigüedad o dicotomía acerca de la pertenencia. Existen 4 operaciones básicas de conjuntos en esta lógica: unión, intersección, complemento y unión exclusiva.

Al igual que en los conjuntos convencionales, existen definiciones específicas para combinar y especificar nuevos conjuntos difusos. Este conjunto de funciones teóricas provee las herramientas fundamentales de la lógica. En el caso usual, con las operaciones comunes de intersección, unión y complemento, el conjunto de conjuntos de U forman un álgebra *booleana*, es decir, se cumplen las condiciones de asociatividad, conmutatividad, elementos neutros, ídem potencia, absorción, distributividad, complemento y las leyes de Morgan.

Las tres operaciones mencionadas se pueden extender de varias formas a conjuntos difusos, de modo que al restringirlas a los conjuntos usuales, coincidan con las comunes. Estas extensiones resultantes satisfacen en forma general sólo a algunas de las condiciones listadas anteriormente, y para mantener la vigencia de alguna, será obligatorio sacrificar a otras.

Las etiquetas lingüísticas y operadores

El centro de las técnicas de modelado difuso es la idea de variable lingüística. Desde su raíz, una variable lingüística es el nombre de un conjunto difuso. Si tenemos un conjunto difuso llamado "largo" éste es una simple variable lingüística y puede ser empleada como una regla-base en un sistema basado en la longitud

de un proyecto en particular. Una variable lingüística siempre representa un espacio difuso.

Lo importante del concepto de variable lingüística es su estimación de variable de alto orden más que una variable difusa. En el sentido de que una variable lingüística toma variables difusas como sus valores. En el campo de la semántica difusa cuantitativa al significado de un término "x" se le representa como un conjunto difuso $M(x)$ del universo de discusión. Desde este punto de vista, uno de los problemas básicos en semántica es que se desea calcular el significado de un término compuesto

La idea básica sugerida por Zadeh es que una etiqueta lingüística tal como "muy", "más o menos", "ligeramente", etc. puede considerarse como un operador que actúa sobre un conjunto difuso asociado al significado de su operando. Por ejemplo en el caso de un término compuesto "muy alto", el operador "muy" actúa en el conjunto difuso asociado al significado del operando "alto". Una representación aproximada para una etiqueta lingüística se puede lograr en términos de combinaciones o composiciones de las operaciones básicas explicadas en la sección anterior. Es importante aclarar que se hará mayor énfasis en que estas representaciones se proponen principalmente para ilustrar el enfoque, más que para proporcionar una definición exacta de las etiquetas lingüísticas. Zadeh también considera que las etiquetas lingüísticas pueden clasificarse en dos categorías que informalmente se definen como sigue:

- Tipo I. Las que pueden representarse como operadores que actúan en un conjunto difuso: "muy", "más o menos", "mucho", "ligeramente", "altamente", "bastante", etc..
- Tipo II. Las que requieren una descripción de cómo actúan en los componentes del conjunto difuso (operando): "esencialmente", "técnicamente", "estrictamente", "prácticamente", "virtualmente", etc..

II.4.4 Funcionamiento de la lógica difusa

La lógica difusa es un tipo de lógica que reconoce más que simples valores verdaderos y falsos. Con lógica difusa, las proposiciones pueden ser representadas con grados de veracidad o falsedad. Por ejemplo, la oración "hoy es un día soleado", puede ser 100% verdad si no hay nubes, 80% verdad si hay pocas nubes, 50% verdad si existe neblina y 0% si llueve todo el día.

La lógica difusa ha sido probada para ser particularmente útil en sistemas expertos y otras aplicaciones de inteligencia artificial. Es también utilizada en algunos correctores de voz para sugerir una lista de probables palabras a reemplazar en una oración incorrectamente dicha.

La lógica difusa actualmente está relacionada y fundamentada en la teoría de los conjuntos difusos. Según esta teoría, el grado de pertenencia de un elemento a un conjunto va a venir determinado por una función de pertenencia, que puede tomar todos los valores reales comprendidos en el intervalo $[0,1]$. La representación de la función de pertenencia de un elemento a un conjunto difuso se representa en la figura 21.

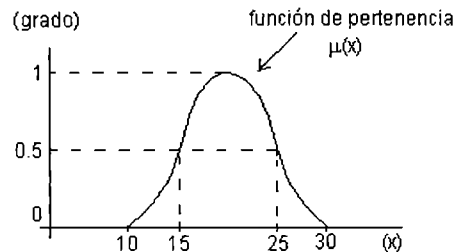


Figura 21. Función de pertenencia de una normal.

Por medio de la lógica difusa pueden formularse matemáticamente nociones como un "poco caliente" o "muy frío", para que sean procesadas por computadoras y cuantificar expresiones humanas vagas, tales como "Muy alto" o "luz brillante". De esa forma, es un intento de aplicar la forma de pensar humana a la programación de las computadoras. Permite también cuantificar aquellas descripciones imprecisas que se usan en el lenguaje y las transiciones graduales en electrodomésticos como ir de agua sucia a agua limpia en una lavadora, lo que permite ajustar los ciclos de lavado a través de sensores.

La habilidad de la lógica difusa para procesar valores parciales de verdad ha sido de gran ayuda para la ingeniería. En general, se ha aplicado a en diversas áreas y especialidades, algunos ejemplos de los cuales se presentan:

- Sistemas expertos
- Verificadores de ortografía, los cuales sugieren una lista de palabras probables para reemplazar una palabra mal escrita.
- Control de sistemas de trenes subterráneos.

Los operadores lógicos que se utilizarán en lógica difusa (*AND*, *OR*, etc.) se definen también usando tablas de verdad, pero mediante un "principio de extensión" por el cual gran parte del aparato matemático clásico existente puede ser adaptado a la manipulación de los conjuntos Difusos y, por tanto, a la de las variables lingüísticas.

La operación más importante para el desarrollo y creación de reglas lógicas es la implicación, simbolizada por " \rightarrow " que representa el "entonces" de las reglas heurísticas: Si..., entonces (\rightarrow)... .

Así, en la lógica difusa hay muchas maneras de definir la implicación. Se puede elegir una "función (matemática) de implicación" distinta en cada caso para representar a la implicación.

La última característica de los sistemas lógicos es el procedimiento de razonamiento, que permite inferir resultados lógicos a partir de una serie de antecedentes. Generalmente, el razonamiento lógico se basa en silogismos, en los que los antecedentes son por un lado las proposiciones condicionales (nuestras reglas), y las observaciones presentes por otro (serán las premisas de cada regla). Los esquemas de razonamiento utilizados son "esquemas de razonamiento aproximado", que intentan reproducir los esquemas mentales del cerebro humano en el proceso de razonamiento.

Los conjuntos difusos se suelen emplear funciones de pertenencia de varios tipos: triangular, de hombro izquierdo, hombro derecho, trapezoidal, sigmoïdal y de campana. En la figura 22 se muestran el tipo triangular y campana.

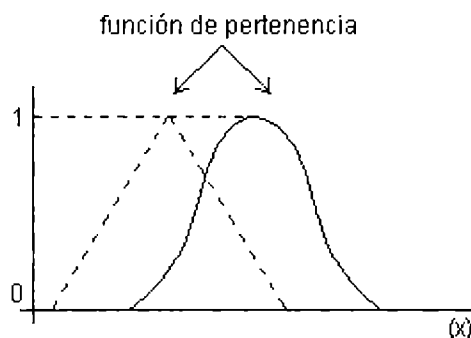


Figura 22. Funciones de pertenencia tipo triangular y campana.

Tomaremos un ejemplo clásico para ejemplificar la lógica difusa, la edad. El conjunto difuso "Joven" representa el grado de pertenencia respecto al parámetro juventud que tendrían los individuos de cada edad. Es decir, el conjunto expresa la posibilidad de que un individuo sea considerado joven. Un conjunto difuso podría ser considerado como una distribución de posibilidad, que es diferente a una distribución de probabilidad.

Se puede observar que los conjuntos difusos de la siguiente figura se superponen, por lo que un individuo x_i podría tener distintos grados de pertenencia en dos conjuntos al mismo tiempo: "Joven" y "Maduro". Esto indica que posee cualidades asociadas con ambos conjuntos. El grado de pertenencia de x en A , como ya se ha señalado anteriormente, se representa por $\mu_A(x)$. El Conjunto Difuso A es la unión de los grados de pertenencia para todos los puntos en el Universo de Discurso X , que también puede expresarse de acuerdo a la ecuación II.1

$$A = \int_x \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (II.1)$$

Bajo la notación de los conjuntos difusos, $\mu_A(x)/x$ es un elemento del conjunto A. La operación μ_x representa la unión de los elementos difusos $\mu_A(x)/x$. Los universos de discurso con elementos discretos utilizan los símbolos "+" y "∪" para representar la operación unión.

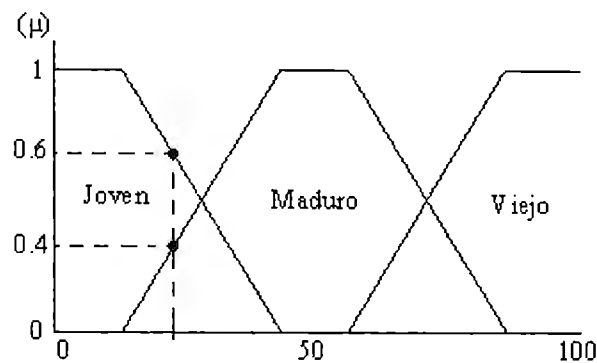


Figura 23. Ejemplo de conjuntos difusos.

Tómese un individuo x cuya edad sea de 20 años. Como se puede observar en la figura 23, pertenece al conjunto difuso "Joven" y al conjunto difuso "Maduro". Se puede observar que posee un grado de pertenencia $\mu_A(x)$ de 0.6 para el conjunto difuso "Joven" y un grado de 0.4 para el conjunto difuso "Maduro"; también posee un grado de 0 para "Viejo". De este ejemplo se puede deducir que un elemento puede pertenecer a varios conjuntos difusos a la vez aunque con distinto grado. Así, nuestro individuo x tiene un grado de pertenencia mayor al conjunto "Joven" que al conjunto "Maduro" ($0.6 > 0.4$), pero no se puede decir, tratándose de conjuntos difusos, que x es joven o que x es maduro de manera rotunda.

La lógica difusa dentro del desarrollo del proyecto demuestra la inteligencia del sistema, puesto que tomará las decisiones. Después de realizar las mediciones requeridas el sistema compara las lecturas con gráficas difusas configuradas y programadas para determinar que tan cerca del estado ideal se encuentra. En base a lo anterior se determina las salidas de activación requeridas en los actuadores. A su vez se utiliza para poder realizar el modelado de la calidad resultado de una planta de fresa, ante diferentes condiciones en el ambiente; la configuraciones de los parámetros se base en las investigaciones realizadas y la observación directa de matas de fresa, obteniendo de manera general los parámetros que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Generalidades de condiciones de la fresa

Estado	Buen producto	Producto medio	Mal producto
Exposición	5.5-6.5 horas	5 o 7 horas	Menos de 5, más de 7
Temperatura día	10-20°C	7-10 o 20-22 °C	Menos de 7, más de 22
Temperatura noche	5-7°C	4-5 o 7-10°C	Menos de 4, más de 10

Esos valores y variables base se utilizan para el modelado y observar la forma teórica en la que se comportamiento de la calidad un cultivo de fresas ante estímulos determinados; la exposición al agua debido a la manera de medirse, sólo se cuenta con los valores obtenidos de la teoría y condiciones más subjetivas para las pruebas. Es importante mantener la base de datos actualizada, en base a las condiciones agro-climáticas y de desarrollo de cada región para contar con un sistema confiable en el área.

II.5 Control de posición

El movimiento de la terminal externa debe ser posible de controlar, para poder llevar a cabo las mediciones de los cultivos, incluso dentro de la simulación del campo. Para el control de posición se decidió implementar el método de control por asignación de polos enfoque polinomial, utilizado en aplicaciones como control de robots en planos cartesianos y bandas transportadoras. Este método tiene como objetivo obtener una ecuación que describa el comportamiento en lazo cerrado dado por un polinomio característico determinado. A continuación se da una explicación teórica del método. Se definen las siguientes ecuaciones:

- Polinomio característico en lazo cerrado, ecuación Diofantina, ecuación II.2.

$$D(z) = \alpha(z)A(z) + B(z)\beta(z) \quad \text{II.2}$$

- Descripción de la planta, ecuaciones II.3 y II.4

$$A(z) = z^n + a_1z^{n-1} + \dots + a_n \quad \text{II.3}$$

$$B(z) = b_0z^n + b_1z^{n-1} + \dots + b_n \quad \text{II.4}$$

- Ecuaciones del controlador, II.5 y II.6

$$\alpha(z) = \alpha_0z^{n-1} + \alpha_1z^{n-2} + \dots + \alpha_{n-1} \quad \text{II.5}$$

$$\beta(z) = \beta_0z^{n-1} + \beta_1z^{n-2} + \dots + \beta_{n-1} \quad \text{II.6}$$

- Polinomio deseado, para describir la respuesta del sistema, ecuación II.7

$$D(z) = d_0z^{2n-1} + d_1z^{2n-2} + \dots + d_{2n-1} \quad \text{II.7}$$

El diagrama a bloques que describe el proceso general de desarrollo se muestra en la figura 24. En él se puede observar la entrada de la referencia (r) al diagrama con un bloque de ganancia Ko ; se muestra el punto de suma, con entrada negativa de la retroalimentación, H y la salida de la planta, G , expresada como y . En el diagrama a su vez se presenta la entrada al sistema, u , la referencia por la ganancia y el error de la retroalimentación e .

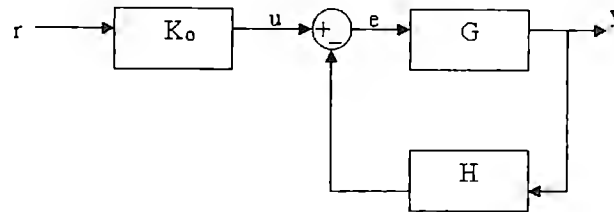


Figura 24. Proceso general de control del motor.

Para lo solución de la ecuación Diofantina, se realiza el siguiente proceso.

- Se asignan $(2n-1)$ polos con un controlador de orden $(n-1)$, donde n es el coeficiente de la función.
- Se obtienen $2n$ ecuaciones con $2n$ incógnitas. La solución es única.
- $A(z)$ es un polinomio mónico (su primer coeficiente es igual a uno).
- Se hace un algoritmo numérico con la matriz de Silvestre, E , de tamaño $2n \times 2n$.
- La planta debe ser completamente controlable y observable (no hay cancelación de polos y ceros) para que E no sea singular.

La forma general de la matriz de Sylvester se presenta en la ecuación II.8, dividida por cuadrantes para observar las relaciones de los coeficientes. Esta matriz se expresa como E .

$$E = \begin{array}{c|ccc}
 \begin{array}{ccc} a_v & 0 & 0 \\ a_{v-1} & a_v & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_1 & a_2 & \dots & a_{v-1} \end{array} & \begin{array}{ccc} h_n & 0 & 0 \\ h_{n-1} & h_n & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ h_1 & h_2 & \dots & h_v \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{ccc} 1 & a_1 & \dots & a_{v-1} \\ 0 & 1 & \dots & a_{v-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & h_n \end{array} & \begin{array}{ccc} h_0 & h_1 & \dots & h_{n-1} \\ 0 & h_0 & & h_{n-2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & & h_n \end{array}
 \end{array} \quad \text{II.8}$$

La matriz de la función de transferencia deseada tiene un tamaño de $1 \times 2n-1$, presentada en la ecuación II.9, se designa como D .

$$D = \begin{bmatrix} D_n \\ D_{n-1} \\ \vdots \\ D_{2n-1} \end{bmatrix} \quad \text{II.9}$$

La matriz M , definida como el inverso de la matriz de Sylvester multiplicada por la matriz deseada se presenta en la ecuación II.10. También se muestra su forma desarrollada, con los coeficientes obtenidos, en la ecuación II.11.

$$M = E^{-1} \cdot D \quad \text{II.10}$$

$$M = \frac{\begin{matrix} \alpha_{n-1} \\ \dots \\ \alpha_{n-1} \\ \vdots \\ \dots \\ \alpha_0 \end{matrix}}{\begin{matrix} \beta_{n-1} \\ \dots \\ \beta_{n-2} \\ \vdots \\ \dots \\ \beta_0 \end{matrix}} \quad \text{II.11}$$

Para realizar el cálculo de la constante K_0 se obtiene el cociente de la ecuación deseada, D , entre el producto del denominador de la retroalimentación, por el numerador de la planta B , todas estas ecuaciones evaluadas en uno, como se muestra en la ecuación II.12.

$$K_0 = \frac{D(1)}{\alpha(1) \cdot B(1)} \quad \text{II.12}$$

El método de control de asignación de polos con enfoque polinomial se lleva a cabo, de manera general, siguiendo la metodología que se presenta a continuación, la cual especifica los pasos a realizar para el desarrollo del control de un motor de CD[13].

1. Especificar la matriz D . Polinomio característico deseado en lazo cerrado
2. Obtener los parámetros iniciales de la planta y el controlador.
3. Identificar los parámetros de la planta y conocer el tamaño de la matriz de Sylvester.
4. Obtener la matriz E con los parámetros anteriores.
5. Obtener la matriz D con los parámetros de la función deseada.
6. Calcular la matriz M y obtener los coeficientes del controlador.
7. Obtener la ganancia K_0
8. Realizar el diagrama a bloques con los parámetros obtenidos como se muestra a en la figura 25.

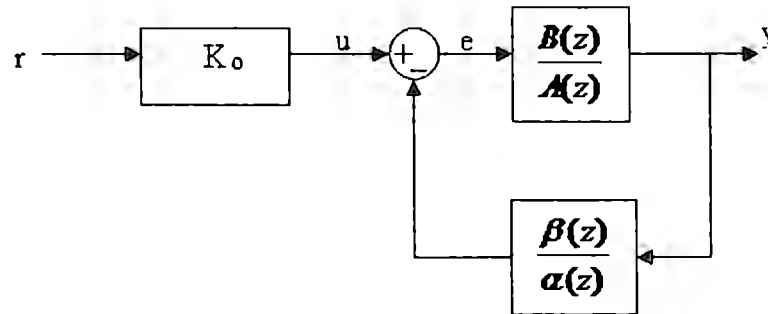


Figura 25. Diagrama de bloques implantando los parámetros obtenidos.

III. Resultados

La implementación y desarrollo del proyecto se contempla para llevarse a cabo en invernaderos dedicados al cultivo de fresas, los trabajos se dividen en etapas de acercamiento, las cuales se interrelacionan en la implementación para llevar a cabo el trabajo continuo. Las partes son las siguientes:

- Programación de software en LABVIEW.
- Maqueta simulando invernadero con control de posición.
- Propuesta de mecanismo para la adquisición de datos.
- Adquisición de datos en maceta anexa.

Esta decisión se tomo debido a que la finalidad del proyecto es realizar la comunicación entre las distintas etapas del proceso aplicando lógica difusa y control, de está manera se puede simular el invernadero, en el cuál se llevará a cabo el control de posición. Un mecanismo irá montado sobre una banda transportadora a lo largo del cultivo en el cuál se tendrán los circuitos y dispositivos que hacen la adquisición de datos. Los datos serán enviados de forma remota a la computadora central en donde se tomarán las medidas correctivas o necesarias para el buen desarrollo del cultivo. Cabe destacar que el mecanismo no será diseñado en su totalidad, solo se dará una propuesta de cómo podría ser.

III.1 Diseño de los sensores

Los sensores utilizados en el proyecto fueron construidos con elementos sencillos para reducir el costo final. Se elaboraron sensores de iluminación, temperatura y humedad con características suficientes para el nivel de calidad que buscamos.

III.1.1 Sensor de temperatura

Como se mencionó previamente se decidió utilizar el LM35 como sensor de humedad. Existen múltiples configuraciones dependiendo del fin que se persiga con el sensor. Nosotros escogimos la configuración mostrada en la figura 26, diseñada para medir la temperatura ambiental. El diseño no presenta ningún problema con la tarjeta, ya que la salida del LM35 se encuentra en una escala muy baja de voltaje; difícilmente llega a 1V, por lo que no existe posibilidad de que dañe la tarjeta que tiene capacidad de 10V.

circuito es la misma que la del sensor de temperatura para evitar la necesidad de varias fuentes.

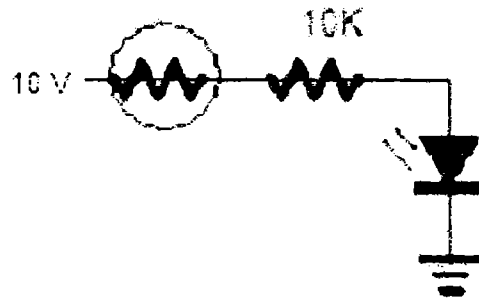


Figura 28. Circuito del sensor de iluminación del modelo

Para realizar la integración del sensor con los programas de lógica difusa se hizo un muestreo del voltaje que presentaba la fotorresistencia dentro del circuito con distintas iluminaciones. El rango de salida se ha normalizado para poder contar con valores numéricos de evaluación comunes y no valores de voltaje en la entrada, se presenta la relación en la figura 29. Dichos valores se utilizan para la evaluación en el proceso difuso y son equivalentes a las entradas de niveles de iluminación que se utilizan para las simulaciones.

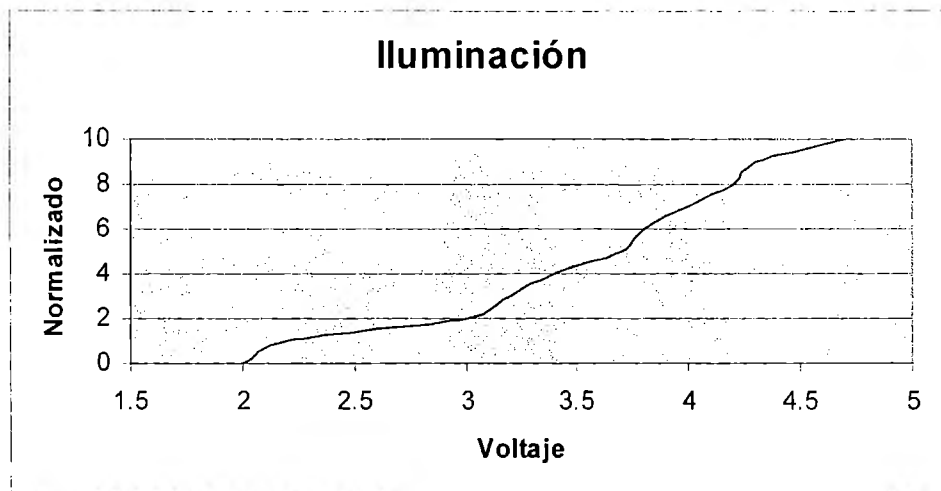


Figura 29. Relación normalizada de la entrada de iluminación.

III.1 3 Sensor de humedad

Tanto para los sensores de humedad como para los demás se había mencionado que existe la posibilidad de adquirir equipo profesional. La figura 30 muestra un sensor de humedad diseñado especialmente para permanecer en el campo. La construcción de los sensores de temperatura e iluminación es simple debido a que

ya existen elementos para hacerlo, pero ese no es el caso con los sensores de humedad. Es necesario entonces diseñar todos los elementos del sensor.

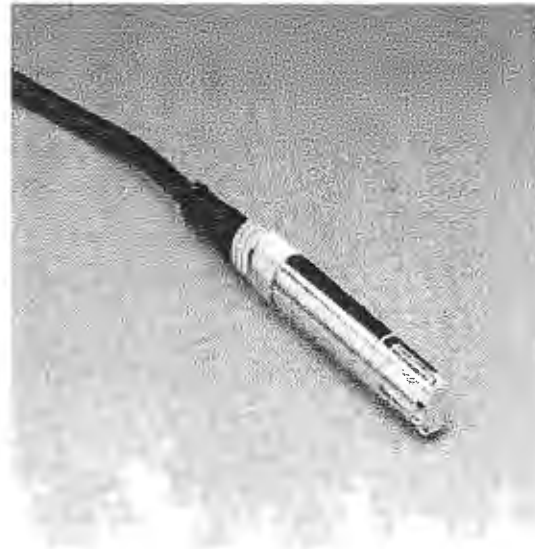


Figura 30. Sensor de humedad profesional

Basándonos en el principio de la variación de la resistencia de la tierra con la humedad se diseñaron las partes del sistema, cuyo diagrama a bloques se presenta en la figura 31. Unas puntas de cobre se insertan en la tierra donde se quiere medir la humedad. Las puntas son parte de un circuito en donde funcionan como una resistencia variable, permitiendo obtener diferentes voltajes en los elementos resistivos del circuito dependiendo de la humedad presente en la tierra.

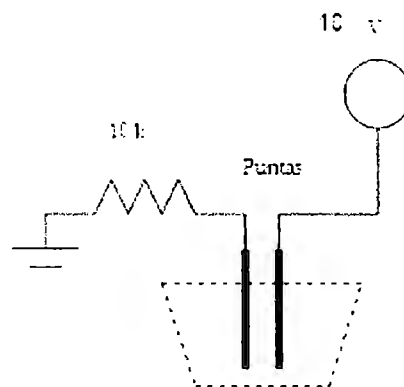


Figura 31. Circuito del sensor de humedad

Los valores de voltaje son la entrada para el análisis difuso, los cuales son normalizados de manera análoga a los obtenidos con el sensor de iluminación, se muestran en la figura 32; los rangos y valores de voltajes obtenidos son en base a mediciones experimentales realizadas con las conexiones de las puntas a tierra.

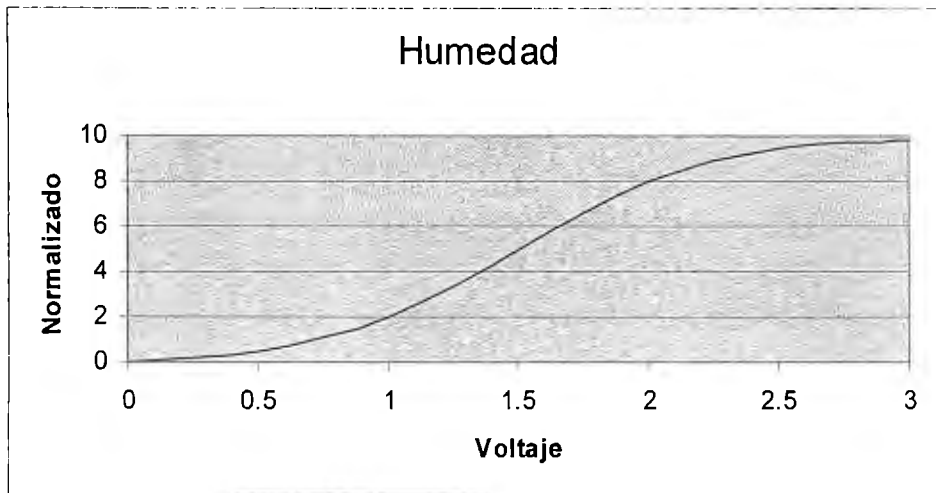


Figura 32. Relación normalizada de la entrada de humedad.

III.2 Programación y control

La programación general del proceso se llevó a cabo en LabView; se incluye la adquisición de datos y su almacenaje, el control de las salidas temporales de los actuadores y el proceso de lógica difusa realizado para llevar a cabo la evaluación de las salidas deseadas.

III.2.1 Circuito de operadores amplificacionales

Para realizar la conexión entre la tarjeta de adquisición y los motores fue necesario implementar elementos extra. Esto es debido a que la tarjeta solamente puede dar un voltaje en su salida de 0V a 5V. Se utiliza una alimentación de 10V para los motores, los cuales se activan con movimientos en sentido horario y anti-horario; para cambiar su sentido es necesario tener un voltaje negativo. Para contar con esas características se implementaron circuitos con amplificadores operacionales, los cuales permiten convertir un rango de 0 a 5V en uno de -10 a 10V. La forma general del funcionamiento que se tiene en el circuito permite la obtención del voltaje necesario para los motores como el producto del voltaje de salida de la tarjeta menos un voltaje de 2.5V por cuatro, ecuación III.1

$$V_m = 4(V_i - 2.5) \quad \text{III.1}$$

De esta manera es posible convertir, por ejemplo 0V se convierten en -10V. En base a esas relaciones se realizaron las configuraciones de los *op-amps*, buscando las ganancias que permitieran las salidas deseadas, utilizando dos configuraciones con los amplificadores: sumador y un inversor. El diagrama del primero se presenta en la figura 32.

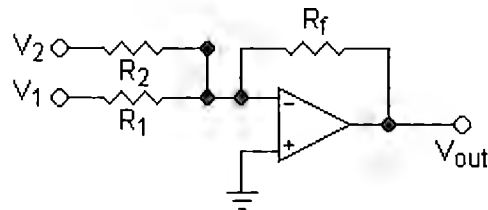


Figura 322. Configuración se sumador de un *op-amp*.

La configuración permite sumar niveles de voltajes en la entrada y añadirles ganancias, la relación de los cuales se presenta en la ecuación III.2

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right) \quad \text{III.2}$$

Como un primer paso y para aprovechar la alimentación que necesitan los motores y no usar fuentes extra, se utiliza un voltaje de entrada de -10V. El valor de R_f y de R_2 es el mismo, 10k Ω . Esto debido a que consideramos a V_2 como la entrada proveniente de la tarjeta. Para poder restarle los 2.5V tomamos a V_1 como -10V y en R_1 usamos una resistencia de 40 k Ω . Con lo anterior y aplicando la fórmula los -10V se verían reducidos a una cuarta parte, y después se le suman a la entrada proveniente de la tarjeta. Hasta ese punto se tiene la primera operación, pero el resultado está invertido. Dentro del siguiente paso la señal de salida es invertida y multiplicada por 4, lo que se realiza con un amplificador en configuración de inversor, el cual se muestra en la figura 33.

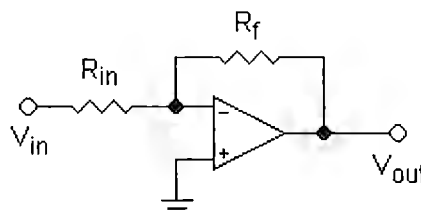


Figura 33. Configuración de inversor.

Se puede observar que la configuración de un inversor es simplemente un sumador con una sola entrada. La entrada se amplifica en una cantidad dada por la división entre R_f y R_{in} . Para obtener la multiplicación necesaria utilizamos una R_f de 40 k Ω y una R_{in} de 10 k Ω . Los *op-amps* necesitan de un voltaje positivo y otro negativo de alimentación. Mantuvimos eso con los mismos 10V y -10V, puesto que es suficiente para obtener las salidas necesarias.

Se utilizan resistencias de valores elevados en los circuitos de los *op-amps*, de no menos de 10K. La razón de ello es que se requiere de una alta impedancia, puesto que de lo contrario se pueden perder el voltaje de la salida de un operador cuando se conecta con otro. En la figura 34 se muestra el circuito final utilizado para modificar el voltaje.

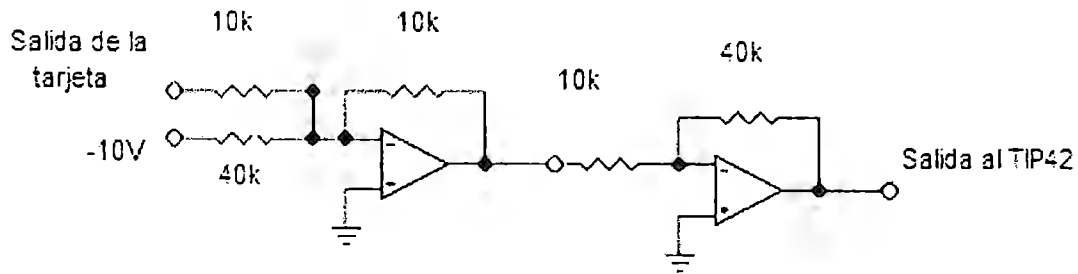


Figura 34. Configuración final para habilitar conexión entre la tarjeta y los motores.

III.2.2 Control de los motores

Para realizar el control de los motores se utilizó el método de asignación de polos con enfoque polinomial, para el cual es necesario definir las entradas y salidas. Cada motor se encuentra acoplado por medio de una banda con un potenciómetro multi-vueltas. El potenciómetro a su vez está conectado al circuito de un divisor de voltaje, la configuración del cual se muestra en la figura 35.

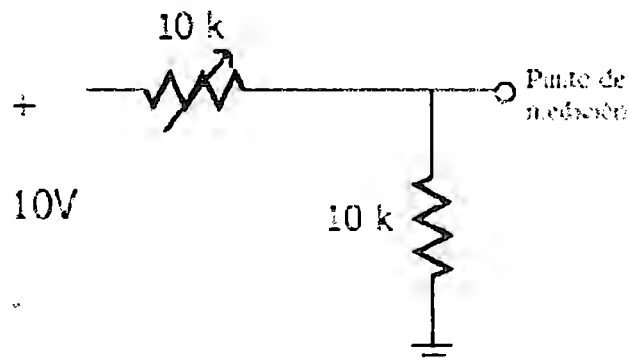


Figura 35. Circuito del potenciómetro utilizado como referencia del motor.

El motor se alimenta con 3V, mientras que el punto de medición del potenciómetro se conecta a un osciloscopio. La medición entrega un valor de voltaje aprox. de 5 a 10 V, de acuerdo con el arreglo de resistencias. El valor real obtenido en este punto se muestra en la figura 36, en la que se puede observar la medición de la entrada escalón de 3V con una respuesta continua y la gráfica de salida de la retroalimentación, que permite conocer la curva característica del motor. El crecimiento es debido al cambio de la resistencia que presenta el potenciómetro en la red. La caída de voltaje final se debe a la desconexión de la alimentación al final de la carrera de la resistencia variable. La respuesta se encuentra dentro de los valores de voltaje esperados, según se observa en la gráfica y con un tiempo de crecimiento de 37 segundos. Se observa que la respuesta no es lineal, como se considera para el desarrollo del control, por lo que se presentan variaciones al momento de obtener las repuestas.

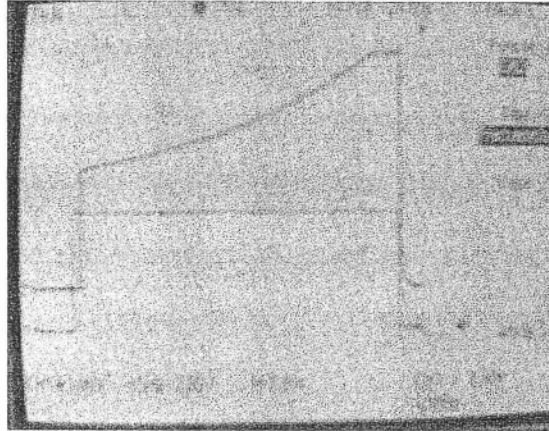


Figura 36. Señal de entrada y de la señal de transición que genera el motor, medida en la retroalimentación del sistema motor-banda.

Con la obtención de estas gráficas en escalas conocidas de tiempo y amplitud, se obtiene el valor de la pendiente presente en la gráfica del motor, a través de dos puntos para hacer una aproximación lineal del proceso de estabilización; para realizar este proceso se utilizan las ecuaciones ecuaciones III.3-III.6

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad \text{III.3}$$

$$K = \frac{m}{k_1} \quad \text{III.4}$$

$$G(s) = \frac{K}{s} \quad \text{III.5}$$

$$G(z) = \frac{Kd}{z-1} \quad \text{III.6}$$

Los puntos que se utilizaron de la curva característica del motor para la linealización del proceso son: $x_1= 0$, $x_2= 37$, $y_1= 5$, $y_2= 1$; con los cuales se obtiene una pendiente de 0.1351354. El valor de k_1 corresponde al valor de voltaje con que se alimentó el motor al momento de realizar la gráfica, por lo que toma un valor de 3V. De la ecuación III.4 se obtiene el valor de K, de 0.04504505.

Conociendo el valor de esta constante y utilizando la ecuación III.5 es posible obtener la función de transferencia $G(s)$ del motor, la cual se presenta en la ecuación III.7. Esta función fue discretizada, con el apoyo de MatLab, con un ZOH y un periodo de discretización T de 0.1, con lo que se obtiene la función de transferencia discreta $G(z)$, la cual se presenta en la ecuación III.8

$$G(s) = \frac{K}{s} = \frac{0.04504505}{s} \quad \text{III.7}$$

$$G(z) = \frac{0.004505}{z-1} \quad \text{III.8}$$

Se conoce por definición que τ es 0.634 de la respuesta y se estudia la respuesta total del sistema, por lo que se obtiene el valor de τ 23.31 segundos. Se considera utilizar una constante de tiempo menor para determinar el establecimiento, determinando una $\tau_{\text{propuesta}}$ de 10 segundos. Por lo tanto en la respuesta deseada en nuestro sistema el denominador se presenta en la ecuación III.9. Al discretizarla con el mismo periodo, $T= 0.1$, la respuesta obtenida es la presentada en la ecuación III.10.

$$G(s)=10s+1 \quad \text{III.9}$$

$$G(z)= z-0.99 \quad \text{III.10}$$

Con los parámetros obtenidos se realizó la ubicación de polos, obteniendo los valores de $M[\alpha,\beta]$ y el valor de Ko para nuestro sistema de control. Los resultados obtenidos se muestran en las ecuaciones III.11 y III.12 respectivamente.

$$M=[1 , 22.1976] = [\alpha_0,\beta_0] \quad \text{III.11}$$

$$Ko = \frac{1 - 0.99}{1(0.0004504505)} = 22.1975 \quad \text{III.12}$$

El diagrama de bloques del sistema de control digital, con los valores obtenidos para cada uno de los parámetros a partir del uso del método de asignación de polos enfoque polinomial y las mediciones realizadas se presenta en la figura 37.

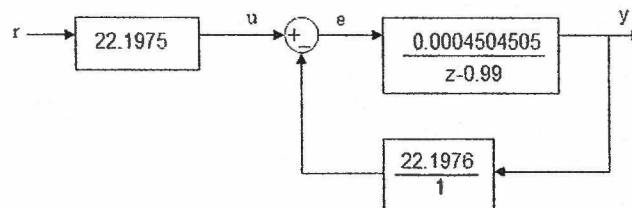


Figura 37. Diagrama de bloques de control

Para realizar la implementación de la función de transferencia que se obtuvo en LabVIEW es necesario expresarla como una ecuación en diferencias, despejando $y(z)$ y dejándola en función de $u(z)$ y valores de entrada anteriores de ella misma; la función se pasa del tiempo discreto al tiempo continuo, el resultado de lo cual se presenta en la ecuación III.13.

$$y(t) = \left(0.0004505 \cdot r \cdot 22.1975 - \left(\frac{22.1975}{1} \right) \right) \cdot y(t-1) + y(t-1) \quad \text{III.13}$$

El diagrama a bloques de la figura 38 presenta el programa realizado para observar el comportamiento del motor ante referencias dadas; el motor está

representado en simulación en forma de ecuación en diferencias. En ella se puede observar secciones diferentes presentes en el control. La sección "A" representa el controlador. Se muestra la ganancia y el *Dial* gráfico. La señal del controlador contribuye para la salida de control.

La sección "B" representa la ecuación de diferencias generada con el método de asignación de polos, con enfoque polinomial. Al utilizar respuestas anteriores en el tiempo se utiliza la función *Shift Register* para poder tener acceso a esos valores. Los elementos de "Waveform Chart" fueron utilizados para mostrar gráficamente la salida del voltaje de la señal de control y de la señal de la planta.

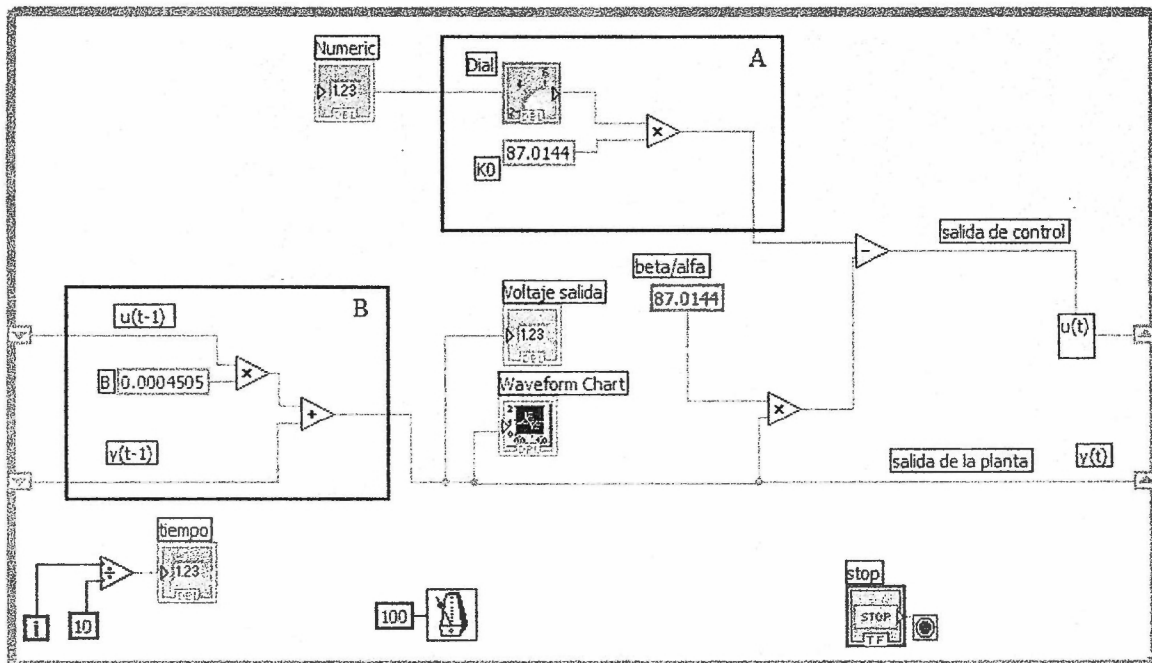


Figura 38. Diagrama a bloques del sistema de control, realizado en LabVIEW

Los resultados de los parámetros obtenidos utilizando el método de asignación de polos, se utilizaron para realizar el programa en LabVIEW, donde es posible observar la respuesta del controlador a diferentes señales de referencia, así como el tiempo y tipo de respuesta que se obtiene. En la figura 39 se muestra el panel frontal del programa realizado en LabVIEW con las características especificadas, se puede observar la respuesta del controlador en la gráfica. Es posible ver la respuesta subamortiguada que se obtiene así como se estabiliza después de un tiempo.

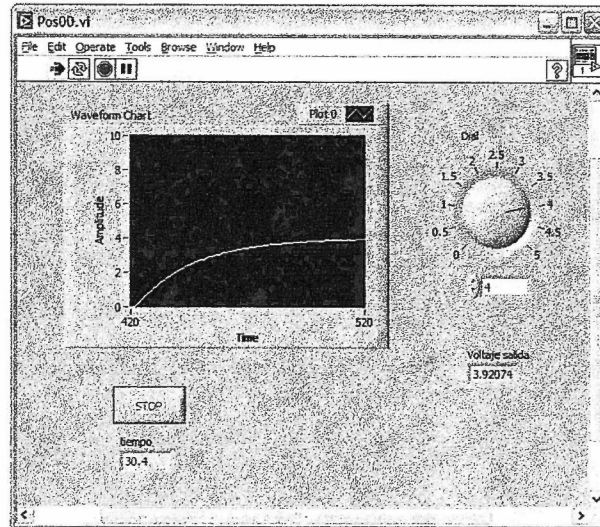


Figura 38. Panel frontal del programa para el control de posición

Para llevar a cabo el control de posición de los motores con la tarjeta, la señal de control se envía del programa a un circuito con TIP 41 y 42, cuya configuración se muestra en la figura 40. Los motores que se utilizan demandan mucha corriente, por lo que es peligroso e ineficiente obtener su alimentación directamente de la computadora. Los TIP son transistores que permiten obtener la alimentación de otras fuentes, la señal se utiliza para activar los transistores y permitirles que transmitan dicho voltaje. Se alimentan directamente de la fuente de voltaje con -10V y 10V, de donde se obtiene la corriente necesaria para el motor, según la entrada.

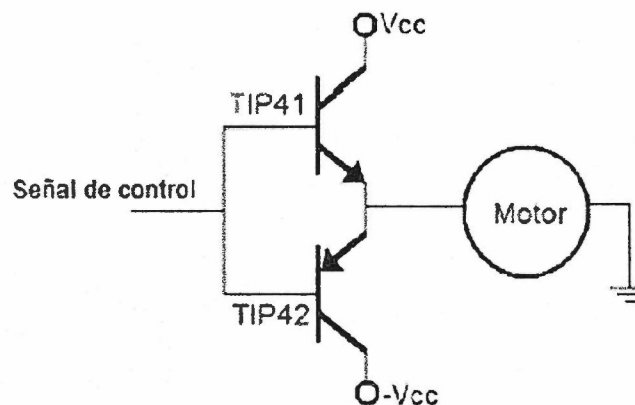


Figura 39. Circuito con los TIP 41 y 42 para proteger la tarjeta.

La figura 41 presenta el diagrama a bloques del programa base que se realizó para llevar a cabo el control de posición de los motores, se presenta dividido en secciones. La sección A realiza el proceso para la obtención automática de los valores de referencia deseados, lo que permitirá el movimiento autónomo, así como su detención, dentro de la representación del cultivo del carro de medición.

El tiempo dentro de cada valor de referencia es posible controlarlo mediante la entrada proveniente del tiempo y un numérico controlable desde el panel frontal.

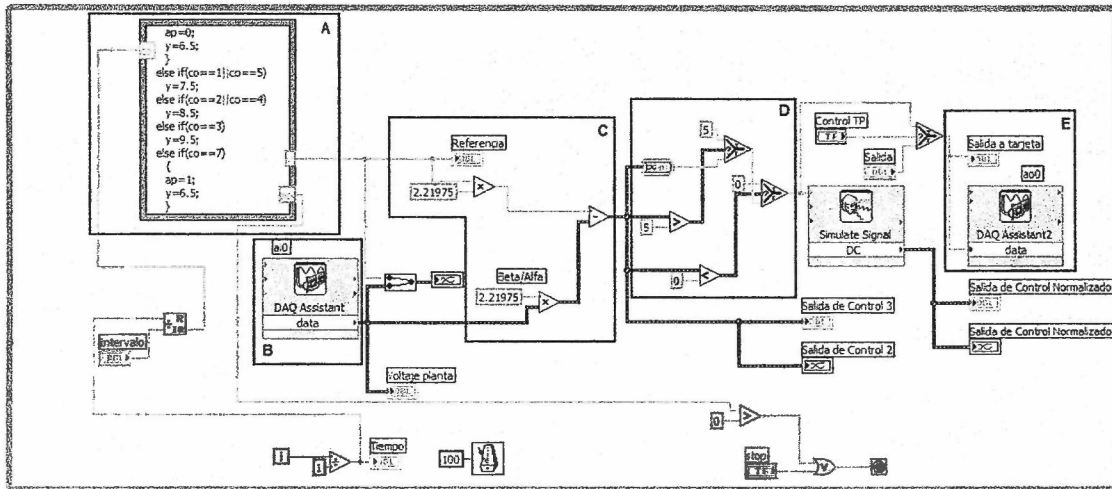


Figura 401. Diagrama a bloques del sistema de control de posición del motor.

La sección B y la E representan los bloques de comunicación con la tarjeta de adquisición de datos para la medición de la entrada y determinar el valor de la salida respectivamente, los bloques están configurados para la adquisición y generación de voltaje.

La sección C representa el control de posición del motor, cuyos coeficientes fueron obtenidos con el método de asignación de polos, con enfoque polinomial, y es consistente con los valores simulados anteriormente. La sección D del diagrama de bloques se realiza para poder manejar valores de voltaje de salida de la tarjeta dentro de los rangos permitidos por ella, que son 0 a 5 Volts. Por lo que los valores mayores o menores a dicho rango que otorgue el sistema de control son truncados dentro de esos valores.

En el panel frontal, figura 42, es posible observar ambos valores de salida, con los indicadores gráficos y numéricos inferiores. Para la gráfica de salida del control normalizado dentro de los valores de salida permitidos por la tarjeta se necesita de la generación de la señal simulada de DC, la cual se puede observar en el diagrama de bloques del programa.

Tecnológico de Monterrey y Amigos del Estado de México

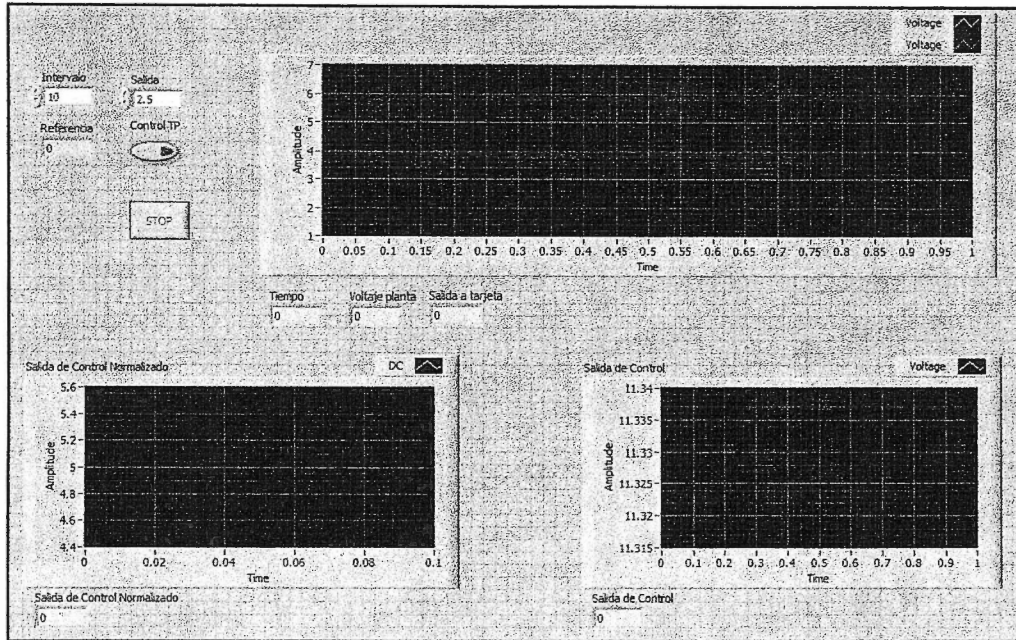


Figura 412. Panel frontal del programa de control de posición del motor.

Para llevar a cabo el control de ambos motores de modo simultaneo, se realizó el programa que mantiene la configuración mencionada para los motores. Cada uno de ellos se incluyó dentro de una etapa del *Flat Sequence*, con el cual se corren los códigos por partes. Realizando ciclos completos de cada secuencia dentro de los separadores de los cuadros de la secuencia, de esta manera es posible llevar a cabo la medición de cada una de las entradas analógicas, las cuales, debido a la configuración de la tarjeta no se pueden llevar a cabo de manera simultánea. Se presenta la secuencia en la figura 43; se puede notar que los indicadores de forma de onda han sido eliminados, manteniendo controles numéricos para la actualización automática de cada uno de los motores.

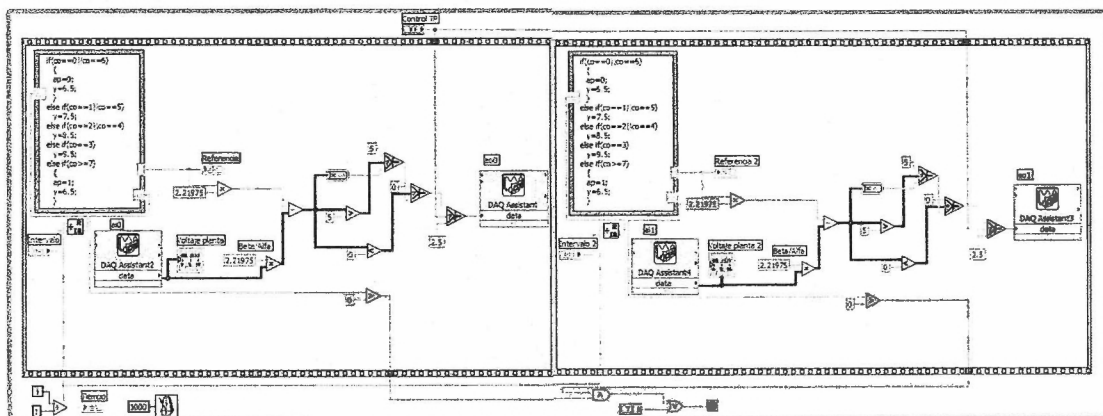


Figura 42. Diagrama a bloques, para control simultáneo de los motores.

Para conocer el estado de las condiciones físicas presentes en el medio es necesario contar con sensores, la entrada de estos valores al sistema se puede

realizar de manera real por medio de la tarjeta o mediante simulación, con lo cual es posible determinar los estados de salida de las condiciones ante condiciones dadas. Se realizaron programas para poder simular cada uno de los sensores, en la figura 44 se presenta el diagrama de bloques del sensor de humedad, en el caso de tener tierra porosa, con filtración mayor.

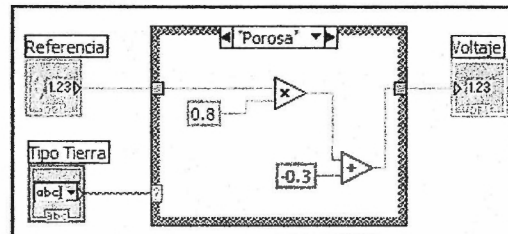


Figura 43. Diagrama de bloques del programa del sensor de humedad en caso de tierra porosa.

Se realizó un programa por cada uno de los sensores que se utilizarán, la configuración del sistema para simular cada uno de los sensores permite realizar variaciones con relativa sencillez en caso se que los valores de entrada deseados cambien en cada uno. Los valores de entrada para los sensores de humedad e iluminación, según se mencionó, se normalizaron para trabajar con valores de 0 a 10; por considerar que es más sencillo trabajar dentro de esos rangos que dentro de los valores de voltaje obtenidos de las mediciones con los sensores. El sensor de temperatura se maneja para trabajar en grados centígrados, con voltaje de salida acorde a la configuración del LM35.

Para realizar los trabajos, dentro de la simulación y la adquisición de datos, de una manera constante se escala la entrada del voltaje de la tarjeta para cada uno de los sensores, para permitir trabajar dentro de la escala dada de 0 a 10 u obtener la temperatura en grados centígrados, en lugar de trabajar con niveles recibidos de voltaje.

En la figura 44 se muestra el cuadro de dialogo para la configuración de las entradas analógicas de voltaje para el caso de la temperatura, se puede observar que se encuentra elegida el escalamiento de la entrada de Temp, escala elegida y configurada para obtener los valores reales de la temperatura en grados centígrados y no los niveles de voltaje de entrada, con la tarjeta de adquisición de datos.

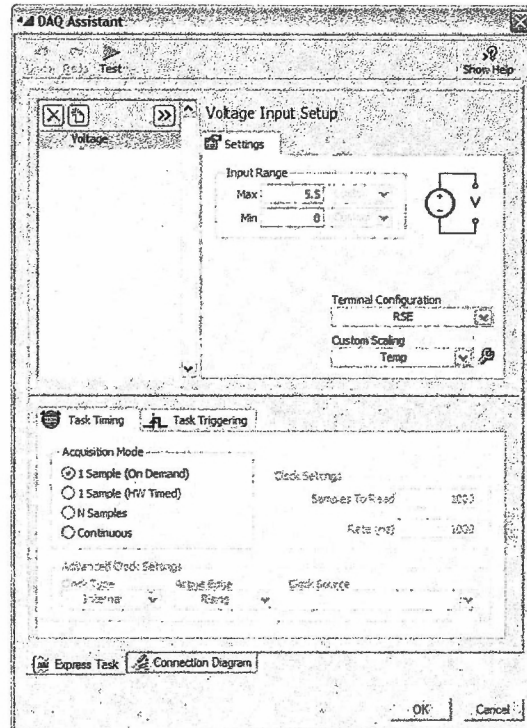


Figura 44. Cuadro de diálogo de configuración de entradas analógicas de voltaje.

La figura 45 presenta el cuadro de diálogo para crear el escalamiento de las entradas, con la condición de un escalamiento lineal; es posible realizar escalamiento de diferenciados, a partir de la inclusión de tablas o de valores de entrada y salida, con lo cual es programa interpola los puntos medios. Este es el caso que se utilizó para tener los valores de entrada escalados de la iluminación y la humedad, de acuerdo a las mediciones hechas con los sensores y presentadas gráficamente en las figuras 29 y 32.

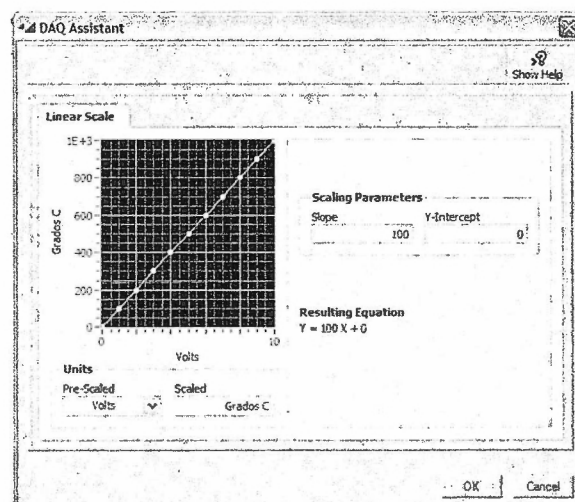


Figura 45. Cuadro de diálogo de configuración de escalamiento lineal de entrada.

Para poder realizar el proceso de evaluación difusa del sistema simulado, con el cual se busca determinar las características finales de cultivo de las fresas, así como para determinar los tiempos de acción necesarios para los diferentes actuadores, se realizaron los programas necesarios para llevar a cabo la configuración y posterior evaluación de las funciones de pertenencia.

Se realizaron los programas de las funciones hombro, izquierdo y derecho, la triangular y la trapezoidal. Los cuales se guardaron como SubVI (subprogramas o funciones que pueden ser utilizadas y llamadas), realizando el cableado de las entradas y las salidas de cada uno de ellos. La figura 46 presenta el diagrama de bloques básico utilizado para la función trapezoidal; la misma configuración básica se utiliza para realizar los programas de las demás funciones, realizando las correcciones de las entradas y valores de salida de cada uno de ellos.

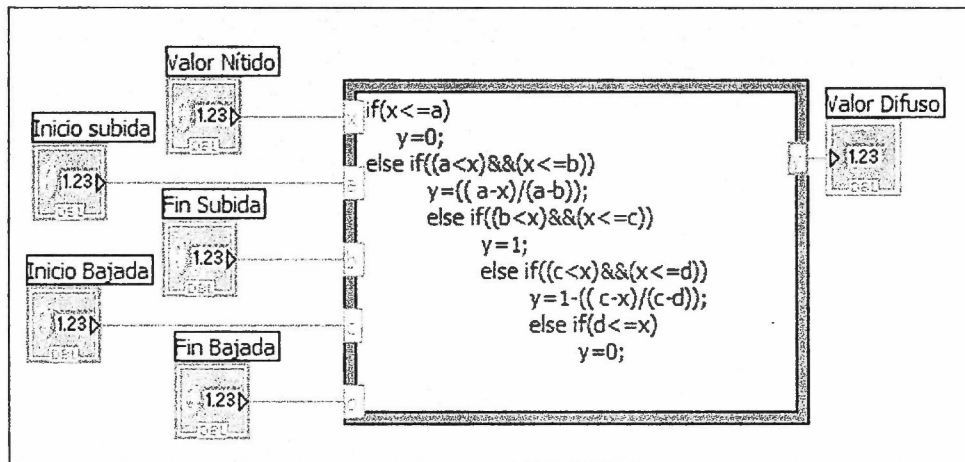


Figura 46. Diagrama de bloques de la función de pertenencia trapezoidal

El panel frontal de la misma función de pertenencia, la trapezoidal, se muestra en la figura 47; en el cual se pueden observar los valores predeterminados de los diferentes puntos que determinan la salida de la misma, así como el valor de entrada a evaluar con su respectiva salida. El icono realizado para el programa se muestra en la misma figura, con él se visualiza cuando se utiliza en otros programas.

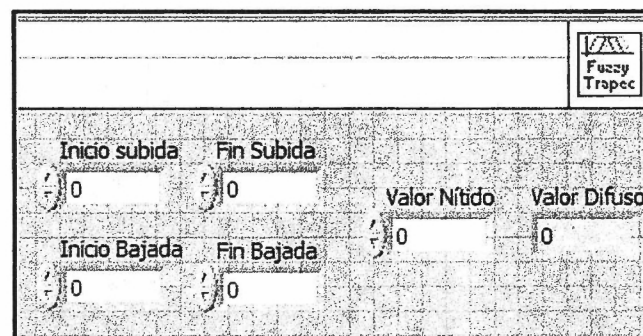


Figura 47. Panel frontal de la función de pertenencia trapezoidal

Los programas de las funciones de pertenencia realizados se utilizan para llevar a cabo la evaluación de las condiciones físicas presentes en el medio, las cuales se pueden simular para ejemplificar la salida teórica posible, o se pueden evaluar por medio de los valores reales obtenidos por medio de la tarjeta; de ambas maneras se obtiene la pertenencia a los conjuntos difusos definidos para cada una de las características.

Se decidió contar con tres funciones de pertenencia para cada una de las variables físicas a medir; las cuales están definidas con los nombres Bajo, Bueno y Alto, Determinadas dentro de las condiciones físicas necesarias para el desarrollo, los nombres de cada función están determinados de acuerdo a las condiciones de cada una de las variables; los límites de cada una de ellas se determinó en base a los valores encontrados como óptimos para el crecimiento y posterior producción de las fresas y a los valores observados en las plantas muestras con que se contaba.

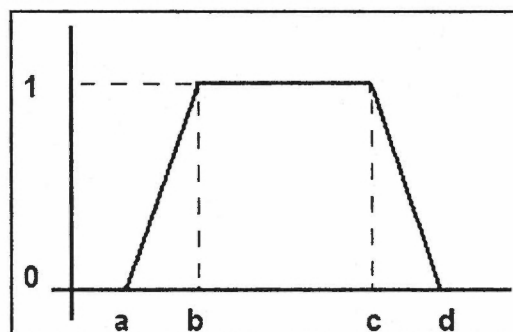


Figura 48. Base para configuración de parámetros de la función trapezoidal

Las configuraciones de las funciones de pertenencia, utilizando la convención de [a, b, c, d] para determinar los parámetros, considerando la base de funciones trapezoidales, figura 48, para cada una de las variables de medición, se muestran en la Tabla 4. Las funciones de pertenencia se encuentran agrupadas de acuerdo a salidas Altas, Bajas y Medias de las características físicas. Se consideran las funciones abiertas hasta infinito para permitir evaluar todos los rangos, si bien los valores físicos están restringidos.

Tabla 4. Configuraciones de las funciones de pertenencia

Variables	Bajas [B]	Medias [M]	Altas [A]
Humedad	$[-\infty -\infty 2 4.5]$	$[-\infty -\infty 1 2.5]$	$[-\infty -\infty -1 10]$
Iluminación	$[2 4.5 5.5 8]$	$[0.5 2.5 3.5 8]$	$[-1 10 18 25]$
Temperatura	$[5.5 8 \infty \infty]$	$[4 8 \infty \infty]$	$[18 25 \infty \infty]$

De acuerdo a dichas configuraciones y utilizando los programas de las funciones de pertenencia realizados, se programaron sistemas difusos base para cada uno

de las diferentes variables de medición. En la figura 49 se muestra el sistema difuso realizado para la obtención de las pertenencias a las funciones del sistema de humedad, el control binario inicial del diagrama de bloques permite elegir entre si se utilizará adquisición de los datos por medio del sensor de humedad simulado, o si se realizarán las mediciones de la variable física con la tarjeta de adquisición de datos, mostrada en la figura 50. En ambos casos los coeficientes que definen las funciones de pertenencia son los mismos.

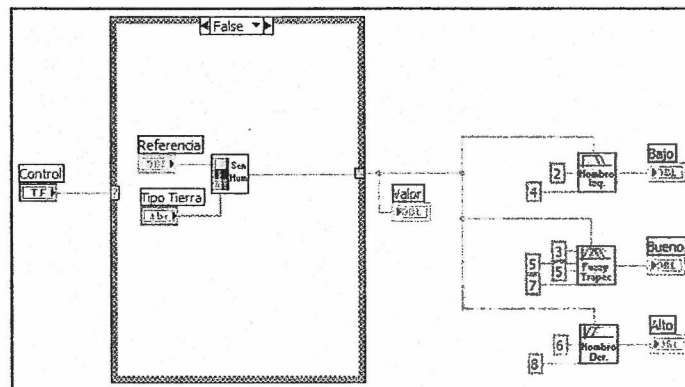


Figura 49, Sistema difuso de humedad configuración con sensor simulado.

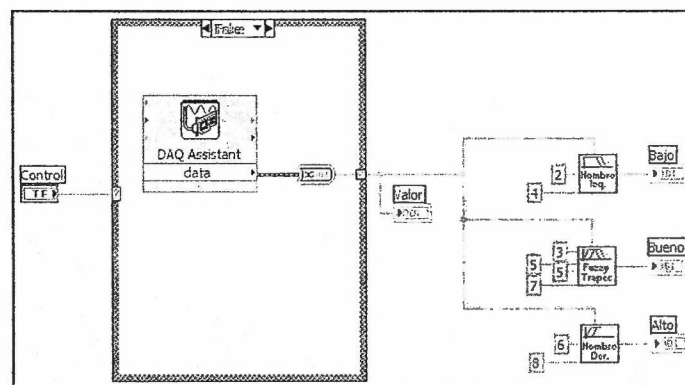


Figura 50. Sistema difuso de humedad con adquisición de datos

Con los valores difusos obtenidos se utiliza un sistema Sugeno, con salidas de orden lineal, para determinar el estado de resultante de la fresa bajo las condiciones dadas. Se realizó el programa que realiza el proceso de la evaluación Sugeno, el cual permite obtener la salida teórica de un valor calificativo de la calidad de la fresa bajo condiciones dadas, las cuales también pueden obtenerse mediante simulación o por medio de la tarjeta.

La evaluación de la calidad presenta un valor de salida comprendido entre 2 y 10, por considerar que son sistemas conocidos y estandarizados de evaluación; no se presenta valores menores de 2 por considerar que se está evaluando resultados de fresas, por lo que se evita decir que tenemos resultados nulos.

La superficie de respuesta que se obtiene de la humedad y la iluminación, manteniendo un valor de temperatura de 7, obtenida mediante el FIS Editor de MatLab donde se comprobó el funcionamiento del sistema difuso realizado se presenta en la figura 51.

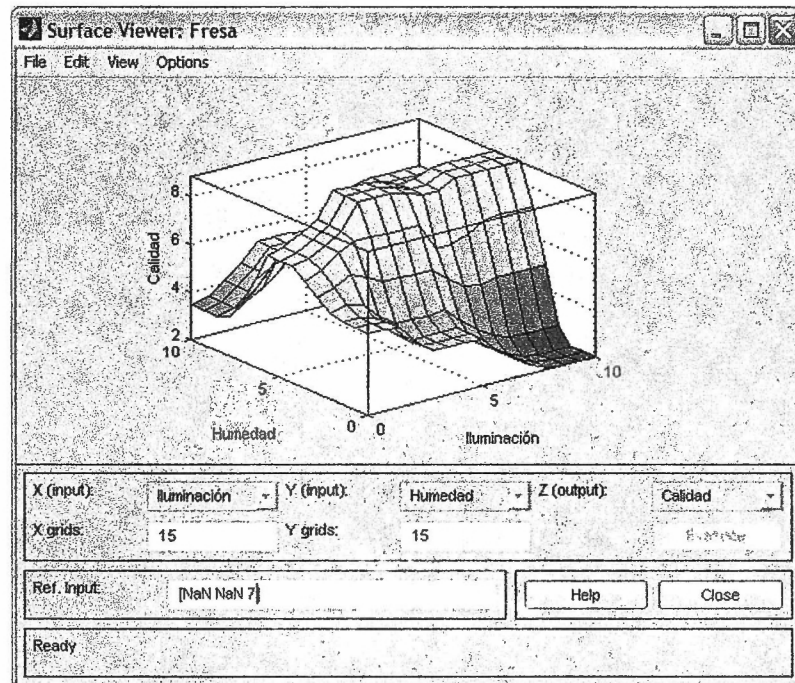


Figura 51. Superficie de respuesta, humedad-iluminación, con valor constante de temperatura de 9

Gracias a la configuración hecha con las salidas y los valores de las funciones Sugeno, los resultados de las evaluaciones deben de estar dentro de los valores de las funciones mismas, las cuales se configuraron para ser de 2 a 10 con incrementos de dos en dos. La figura 52, muestra la evaluación de los valores mínimos de las combinaciones de las funciones que permiten la salida con resultado 2 y la posterior operación del valor difuso obtenido por la constante de salida, en este caso 2, realizando en primer momento la suma de todos los valores difusos. El valor de esta salida es evaluado, mediante la suma de los valores ponderados con la función, entre los valores difusos obtenidos para obtener el valor nítido de la salida; las siglas superiores de los bloques representan la función que se está evaluando para cada caso, consideran Media, Alto y Bajo; se realizó operaciones similares para cada una de las funciones de salida. Los resultados obtenidos con ambas programas, MatLab y LabView, presentaban salidas comunes.

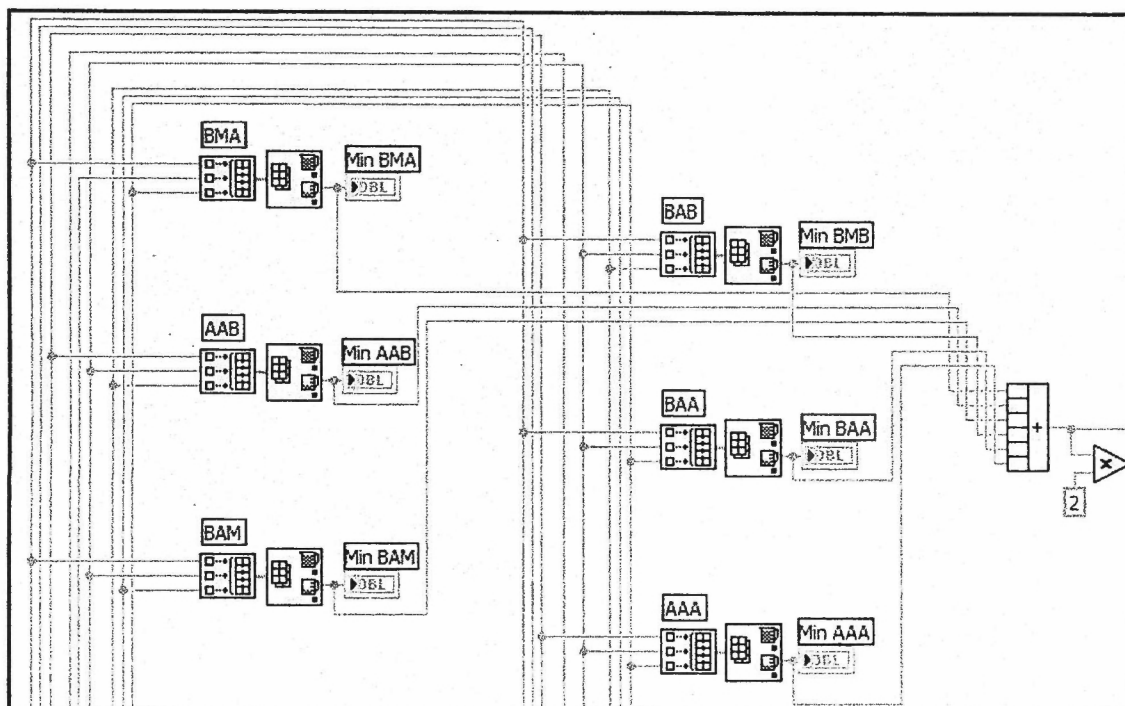


Figura 52. Implicación para las combinaciones de las salidas de la función 2

En el panel frontal que permite realizar la evaluación del sistema difuso ante condiciones dadas, mostrado en la figura 53, se puede elegir el tipo de tierra y utilizar las entradas dadas o las obtenidas por medio de la tarjeta de adquisición. Se muestra el valor real de la salida de la calidad de la fresa.

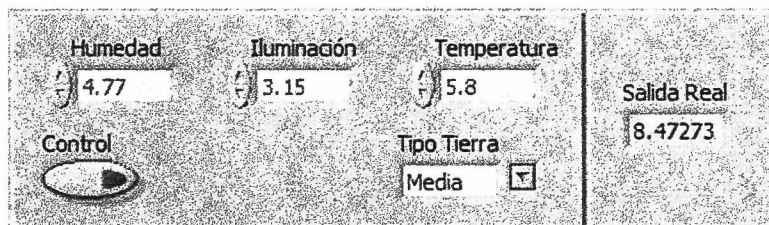


Figura 53. Panel frontal para la evaluación de la calidad de la fresa

Para llevar a cabo el accionamiento y por consiguiente la visualización de las acciones de control de los actuadores, los cuales permitan controlar las condiciones presentes en el campo de cultivo, se realizaron evaluaciones difusas de los componentes presentes en el se realiza una evaluación de las condiciones presentes y se obtiene, a partir de evaluaciones difusas, bajo las condiciones de las funciones de pertenencia mencionadas, el valor del tiempo de encendido de cada una de las actuadores. Se contemplan la activación del sistema de riego, de luminarias que permitan aumentar la incidencia de luz sobre los cultivos, así como la implementación de sistemas de calefacción y de aire acondicionado; mediante la combinación de ellas se pretende contar con las características necesarias para la obtener cultivos de alta calidad.

En la figura 54 se presenta el diagrama de bloques del actuador de los regadores, con el cual se realiza la activación en tiempo de sistema de riego en la zona. La sección A permite la adquisición de los datos, a partir de la tarjeta o de los sensores simulados; el SubVI entrega el valor difuso de cada una de las funciones de pertenencia asignadas y nombradas, equivalentes a las utilizadas (Bajo, Medio y Alto).

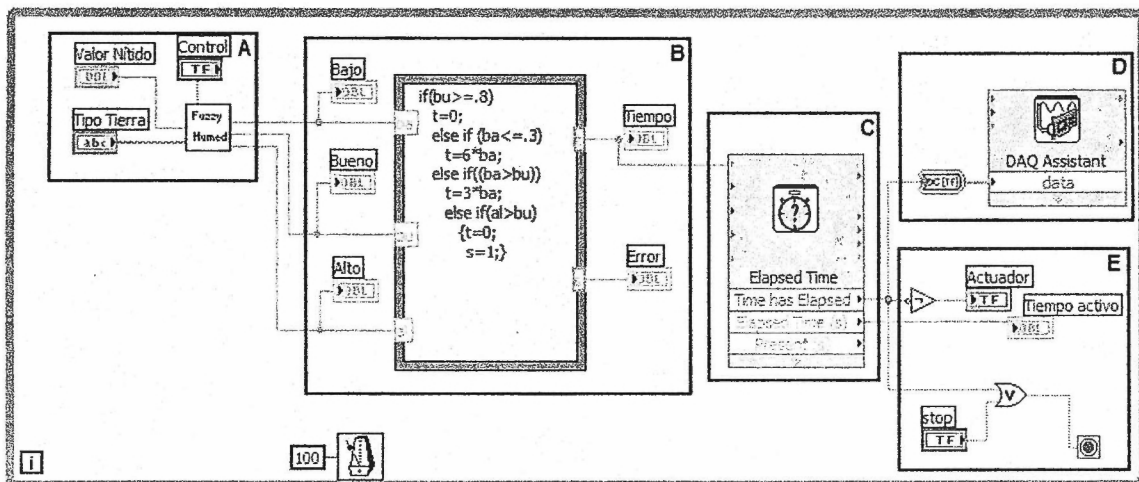


Figura 54. Diagrama a bloques del proceso de control de activación temporal del regador

Estos valores, sección B, se despliegan e introducen para la evolución del tiempo, se realizan casos diferenciados, dependiendo de las entradas al ciclo. Debido a las condiciones de cada uno decidió aplicar funciones independientes dentro de los rangos de trabajo, dejando sin activación en caso de que se tenga una medición con valor difuso mayor a 0.8 y con funciones de evaluación para casos de combinaciones. Se busca obtener evaluación de tiempos distintos ante combinaciones de circunstancias diferentes. Para al cálculo de la salida se utiliza las evaluaciones difusas, dejando de lado las entradas por la posibilidad de contar con valores iguales a cero, lo que eliminarían en el caso la acción. Permitiendo de esa manera conocer el estado y realizar la activación.

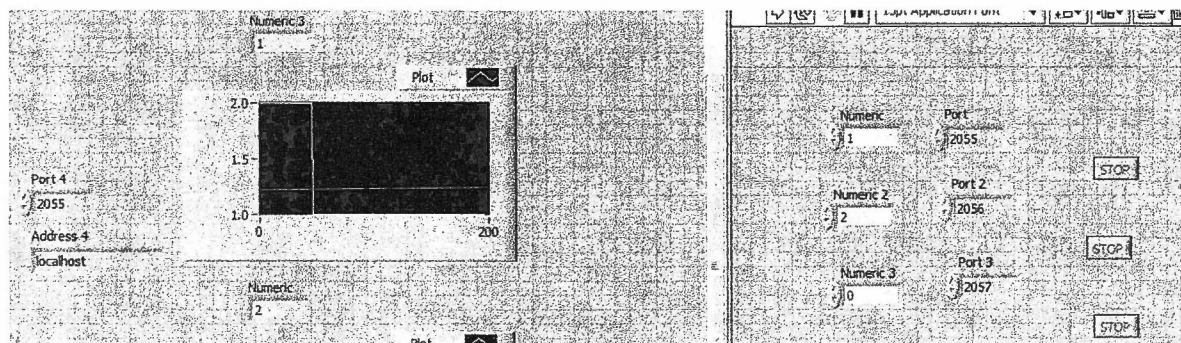
La sección C permite el cálculo del tiempo a partir de la salida calculada, permitiendo desplegar para la visualización el valor binario de la salida, así como el tiempo transcurrido. Las secciones D y E se utilizan para enviar el estado de la salida a la tarjeta y al panel frontal respectivamente. La tabla 3 presenta las asignaciones realizadas para las salidas/entradas digitales, utilizadas todas como salidas, de la tarjeta de adquisición.

Tabla 3 Configuración de entradas y salidas

Puerto	Uso
P0.0	C1 Iluminación
P0.1	C1 Riego
P0.2	C1 Aire acondicionado
P0.3	C1 Calefacción
P0.4	C2 Iluminación
P0.5	C2 Riego
P0.6	C2 Aire acondicionado
P0.7	C2 Calefacción
P1.0	C3 Iluminación
P1.1	C3 Riego
P1.2	C3 Aire acondicionado
P1.3	C3 Calefacción

Por cuestiones de costo el equipo inalámbrico implementó en el proyecto, pero se realizó la configuración de la comunicación en base a protocolo TCP. Básicamente es posible tener una conexión inalámbrica con dos elementos distintos siempre y cuando uno funcione como servidor y sea capaz de identificar la dirección del otro. La condición para llevar a cabo la comunicación es simplemente conocer la dirección del servidor y su puerto.

El programa que se muestra en la figura 55 simula la adquisición de datos por medio de TCP. Se indica simplemente el puerto y la dirección de donde se obtienen los datos y el programa los busca. Posteriormente se realiza la conexión y la información adquirida se muestra en una gráfica. Para efectos de la simulación se aplica una entrada consistente en números aleatorios enviados desde otro instrumento virtual de LabView. Cuando se maneje el sistema inalámbrico de forma real será necesario utilizar la información obtenida dentro de los análisis de lógica difusa.


Figura 55. Lectura de datos por medio de una gráfica

En la figura 56 se muestra el diagrama de bloques del instrumento virtual para la adquisición de datos.

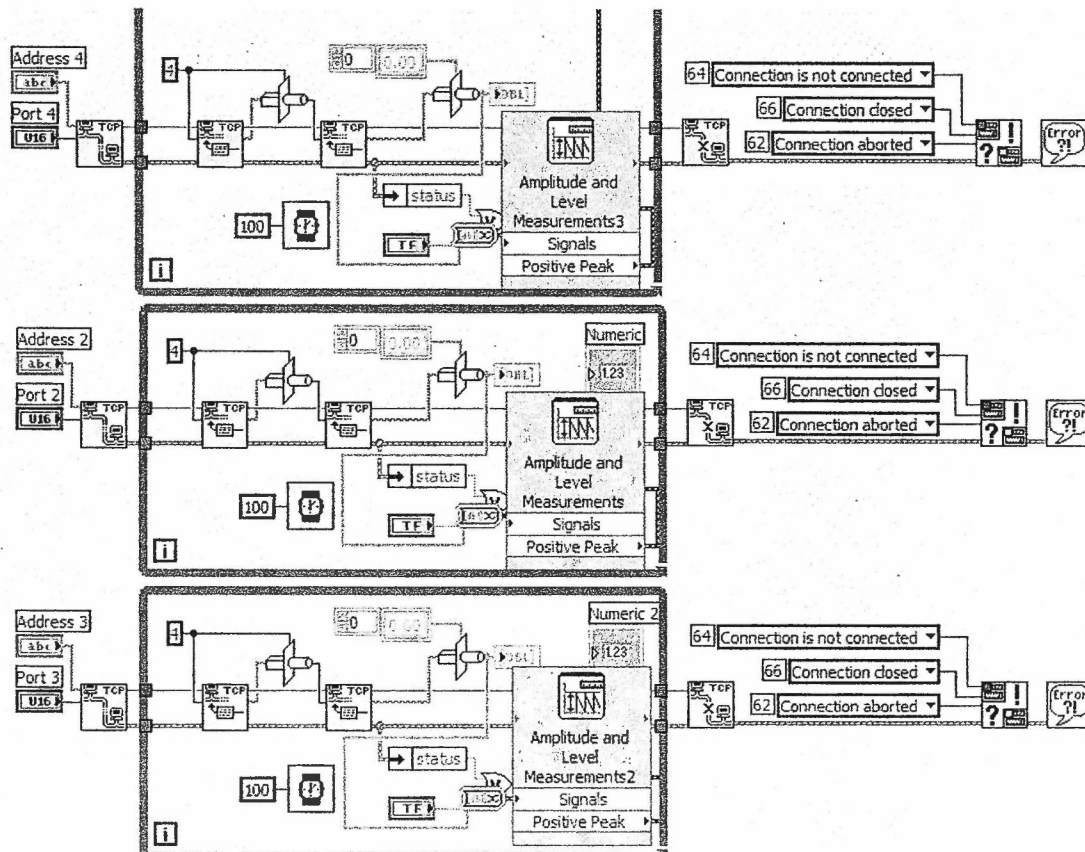


Figura 56. Diagrama a bloques para comunicación inalámbrica.

III.3 Maqueta

Para la realización de la maqueta, en la cuál se simula un invernadero, se realizó una evaluación acerca de cuales eran los materiales que podían ser implementados en función de sus características y costo. Algunos de los materiales analizados fueron el aluminio, la madera y acrílico. Las principales variables analizadas de cada material fueron su resistencia mecánica, maquinabilidad y manejo, oxidación y corrosión.

Se decidió utilizar madera como base para la estructura del modelo, ya que el conjunto de sus características y su costo son suficientemente buenas para la aplicación que se le dará. El diseño de la maqueta consiste en tener en la parte interior y de forma escondida los motores y potenciómetros que estarán acoplados por medio de una banda transportadora y protegidos a la exposición del medio ambiente. Lo único que sobresale del suelo o la parte exterior de la maqueta son estas bandas ya que es allí donde irá montado el mecanismo con los sensores utilizados.

Los dos motores son de imán permanente con reducción de velocidad, además de ser descentrados para tener un mejor diseño en la maqueta. También se utilizan dos potenciómetros multi-vueltas de $10k\Omega$, los cuales acoplados y unidos a través de las bandas con los motores realizarán el control de posición.

Para el acoplamiento tanto de los motores como los potenciómetros se maquinó una polea por cada dispositivo, con una totalidad de cuatro poleas. Esto tiene como finalidad que la banda esté perfectamente acoplada entre los motores y los potenciómetros. Se utilizó una barra de aluminio de 1.5 pulgadas de diámetro, la cuál fue torneada para obtener la forma y las dimensiones deseadas.

Una vez teniendo los potenciómetros y motores acoplados con sus respectivas poleas, éstos se fijaron a la maqueta conforme al diseño planeado originalmente. El objetivo de la maqueta es simular el control de posición de los motores. Dentro de la zona de la maqueta designada para el cultivo no se realizan medidas reales de las variables de temperatura, iluminación y humedad en esta etapa, solo serán simuladas. Lo anterior no significa que nos estemos olvidando del proceso de censado, se tomarán mediciones reales de las variables en macetas anexas con los sensores construidos. La parte externa de la maqueta solo sirve para emular el invernadero que contará con rieles en los costados de los cultivos por donde pasará la banda transportadora y el dispositivo que tomará las medidas.

III.4 Propuesta de mecanismo para la adquisición de datos.

El siguiente es una propuesta del mecanismo que irá montado sobre las bandas transportadoras y que está a cargo de llevar a cabo las mediciones de distintas variables en el cultivo. El mecanismo debe contar con ciertas especificaciones esenciales de diseño:

- Es necesario que cuente con un espacio interior para poder colocar los circuitos que manipulan los datos de las mediciones.
- Tanto el sensor de temperatura como el de iluminación deben estar en la parte superior del dispositivo, esto con el propósito de captar la mayor iluminación posible y obtener una medición correcta de la temperatura del medio.
- Debe ser lo más ligero posible para poder ser transportado fácilmente a través de los cultivos.
- Debe contar con un par de puntas metálicas separadas y a una distancia fija para realizar la medición de humedad en la tierra. Existen diferentes configuraciones posibles para la medición, se considera la implementación un brazo mecánico el cuál introduzca las puntas en la tierra a una cierta profundidad y con una fuerza determinada para poder realizar una medición correcta de la humedad presente en la tierra.

La figura 57 presenta una imagen en la cuál se muestra la propuesta realizada del dispositivo, el diseño del mismo se realizó en ProE.

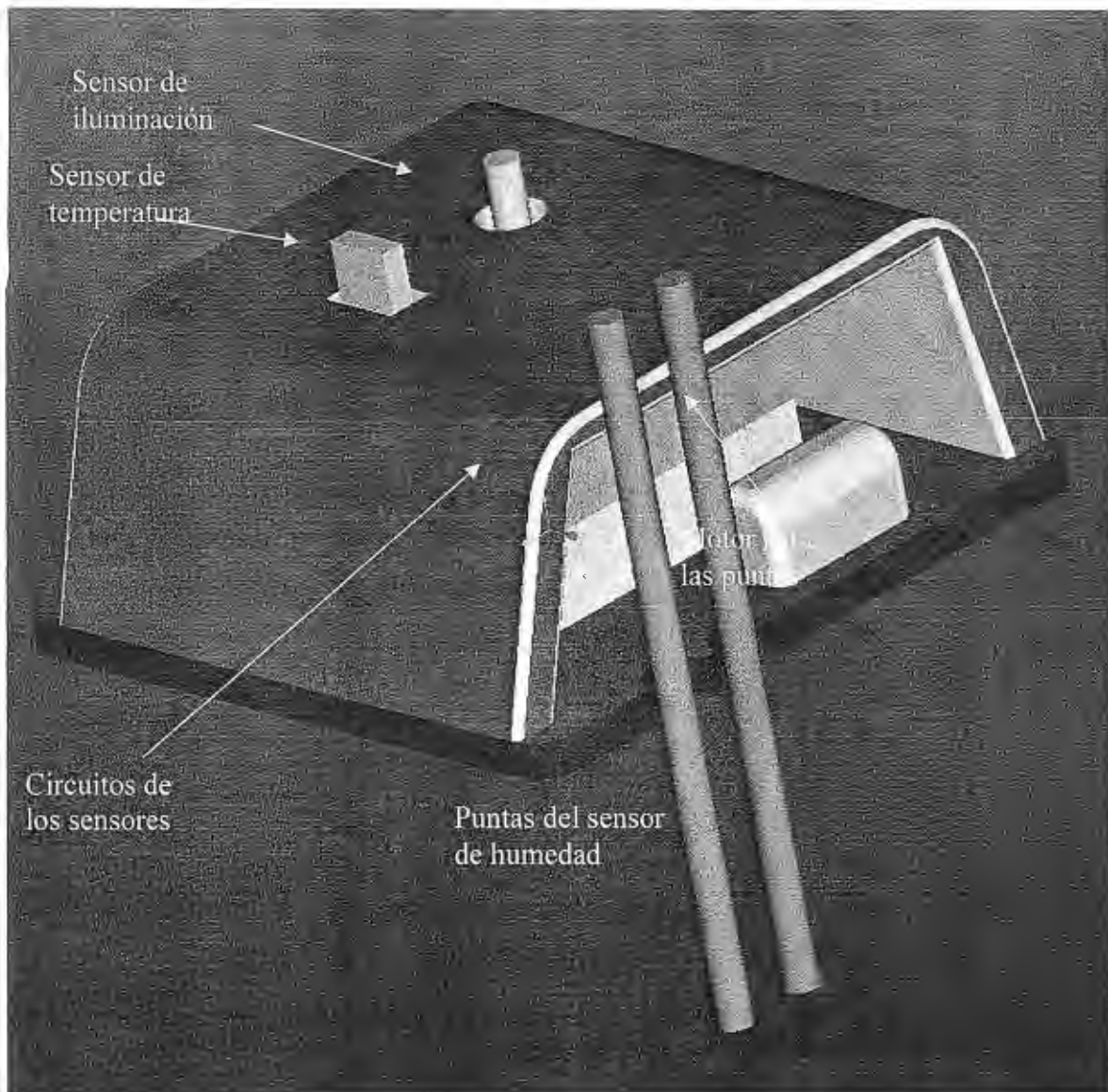


Figura 57. Diseño en ProE del sistema real para la adquisición de datos.

III.5 Instrumentos virtuales

Para realizar el sistema de simulación del crecimiento y resultado de las fresas ante condiciones conocidas de humedad, iluminación y temperatura se realizó un programa para poder evaluar las entradas por medio de lógica difusa. Se realizaron VI para configurar y evaluar funciones de pertenencia de tipo triangular, trapezoidal y de hombro, tanto izquierdo como derecho. Con la combinación de ellas se configuraron sistemas para cada una de las variables físicas mencionadas; asignando 3 diferentes funciones, considerando condiciones positivas (ideales), altas y bajas de la característica a medir.

Se cuenta con un VI para evaluar y entregar el valor difuso de cada una de las funciones de pertenencia para cada una de las variables. Se configuró de modo tal que el mismo programa es capaz de realizar las mediciones a partir de la tarjeta de adquisición de datos o mediante la simulación con valores numéricos, elección que se realiza mediante un indicador lógico.

Se realizó la reclasificación de los valores de entrada de las variables de iluminación y humedad para utilizar una escala de cero a diez; esto fue por considerar más sencillo al momento de evaluar e ingresar datos al sistema. El valor obtenido mediante la tarjeta de adquisición de datos recibe el mismo proceso para evaluar los valores difusos dentro de la misma escala. El programa de humedad puede ser configurado para obtener valores diferenciados dependiendo si la tierra es porosa, dura o media.

Para realizar la evaluación del sistema difuso creado se hizo el programa para realizar la implicación min-max y la evaluación para obtener el valor nítido de calidad de la fresa obtenido con las condiciones dadas. Se utiliza un sistema con funciones de salida constantes a un valor, funciones singleton, elegidas del dos al diez con intervalos incrementales de dos. En MatLab, de igual manera, se hizo el programa con esas funciones y evaluación de centroide.

III.6 Integración de las partes del proyecto

Se realizó la integración de cada una de las secciones realizadas; el panel frontal del programa que permite llevar cabo el proceso completo se presenta en la figura 58, el cual incluye el control de la posición de los motores, las adquisición de los datos, ya sea por medio de la tarjeta o con entradas de valores a los sensores simulados, el proceso de evaluación difusa, los temporales de activación de los actuadores y la creación de archivos de adquisición de datos con las evaluaciones difusas de las variables físicas de medición.

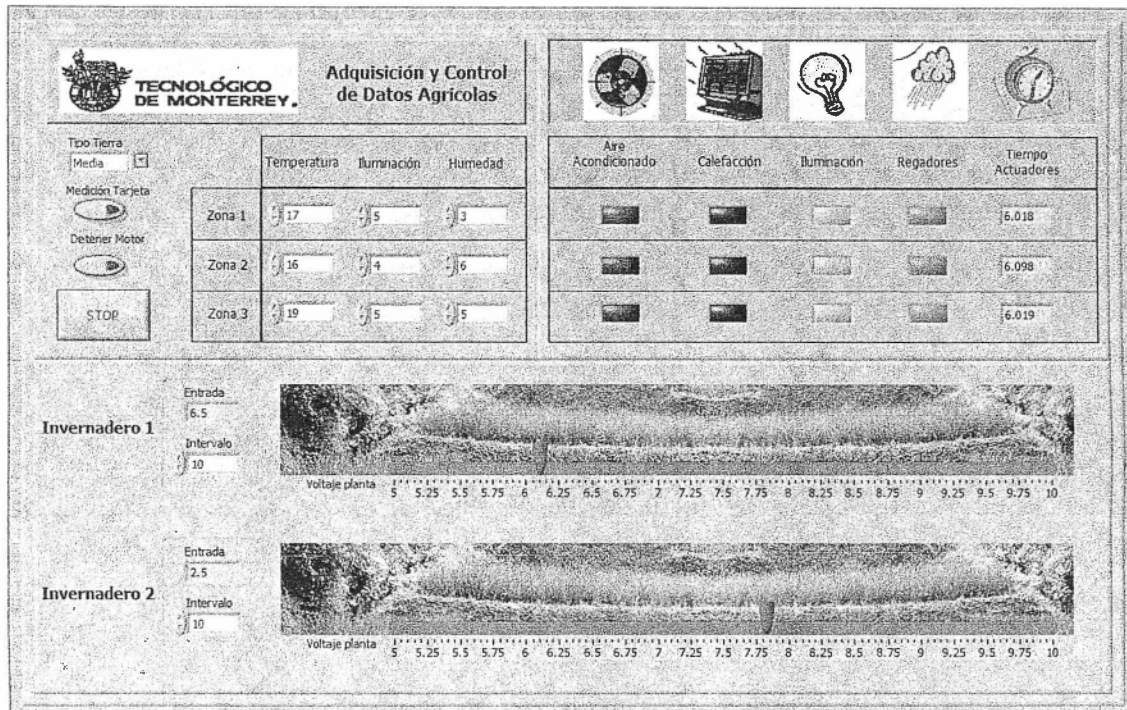


Figura 58. Panel frontal del programa de integración

El programa lleva a cabo el control de la posición del motor del Invernadero 1, para llevar a cabo la medición de las características físicas que se presentarían en esa zona. De acuerdo las mediciones realizadas se lleva a cabo el proceso de evaluación difusa y la posterior obtención del tiempo de acción de cada uno de los actuadores asignados a la zona, para lo cual envía las señales de salida a la visualización y la tarjeta. Al terminar de realizar el proceso de activación, se continúa con el movimiento del motor para el Invernadero 2, donde se realiza el proceso análogo; dentro del Invernadero 1 se realiza una segunda medición y etapa de control, para después enviar a zona neutra a los dos motores. Las etapas se realizan utilizando las características de la secuencia *Flat*, la cual permite la evaluación y desarrollo del programa en secuencias determinadas y diferenciadas, en base al diseño realizado en el programa.

Para llevar a cabo los diferentes procesos mencionados se utiliza la base de los programas de acción y control sencillo, desarrolladas inicialmente para cada una de las aplicaciones de manera individual. Dentro del programa de la integración es posible elegir si el proceso de la adquisición de datos se realizará por medio de la tarjeta o a partir de los sensores simulados, en cuyo caso se deshabilita la opción de elección de las condiciones físicas presentes en el sistema, esto se realiza mediante los *Property Node* de cada uno de los controles de la entrada; se encuentran configurados en el diagrama de bloques para ser desactivados y eliminado el acceso a las variaciones.

La conexión se puede observar en la figura 59, la cual presenta parte del diagrama de bloques del programa, la cual permite la evaluación de los sistemas difusos,

utilizando los valores dados o los obtenido; dicho proceso se realiza dentro de la secuencia secuencia *Flat* interna, de ese modo se realiza el proceso por etapas librando la incapacidad de la lectura analógica en al mismo tiempo. Dentro de cada uno de los cuadros de la secuencia se encuentra el nodo de configuración para poder llevar a cabo la escritura de los archivos de cada una de las variables.

El proceso realiza la evaluación de los tiempos necesarios de activación para cada uno de los actuadores de la sección que se evalúa, en este caso la primera del primer motor en movimiento. La señal de salida se envía al panel frontal para la visualización de la acción, así como a la tarjeta para desplegarla en la representación física.

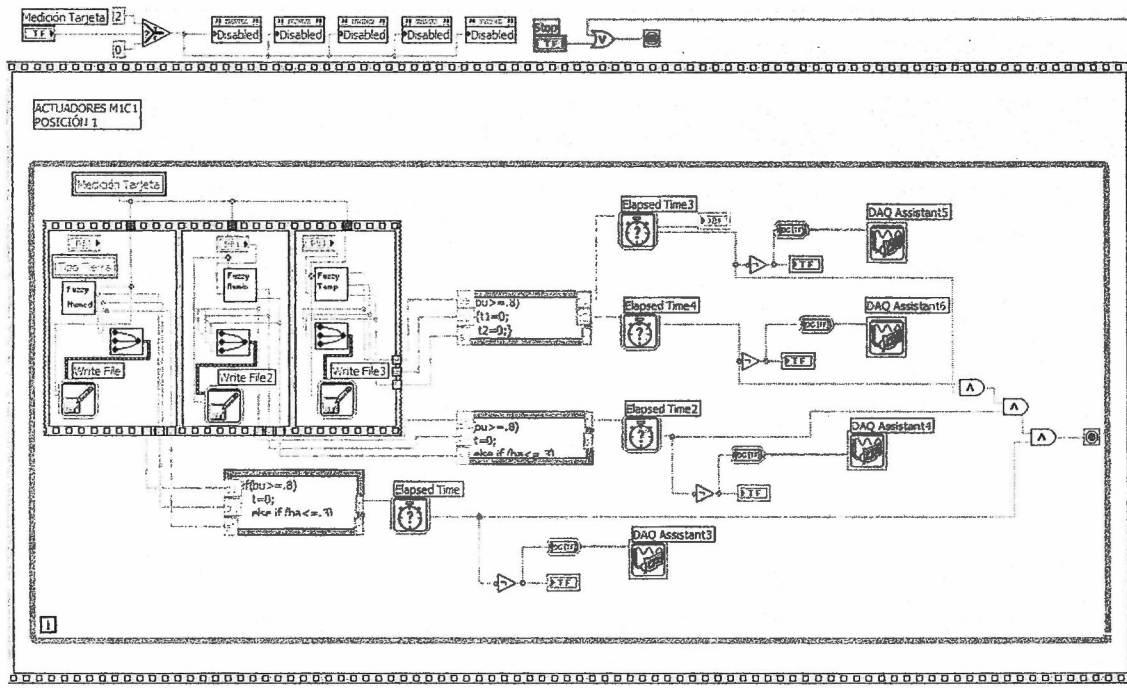


Figura 59. Diagrama de bloques de la zona de control inicial, con evaluación difusa y envío de señal de control.

El programa se encuentra comunicado por medio de la tarjeta con la maqueta construida, mostrada en la figura 60. En la cual se pueden observar las dos bandas en donde se simula el desplazamiento de los sensores por el campo y los leds que representan la acción de los actuadores. Si por ejemplo se necesitara iluminación uno de los leds se prende indicando que en la realidad se activaría alguna luz.

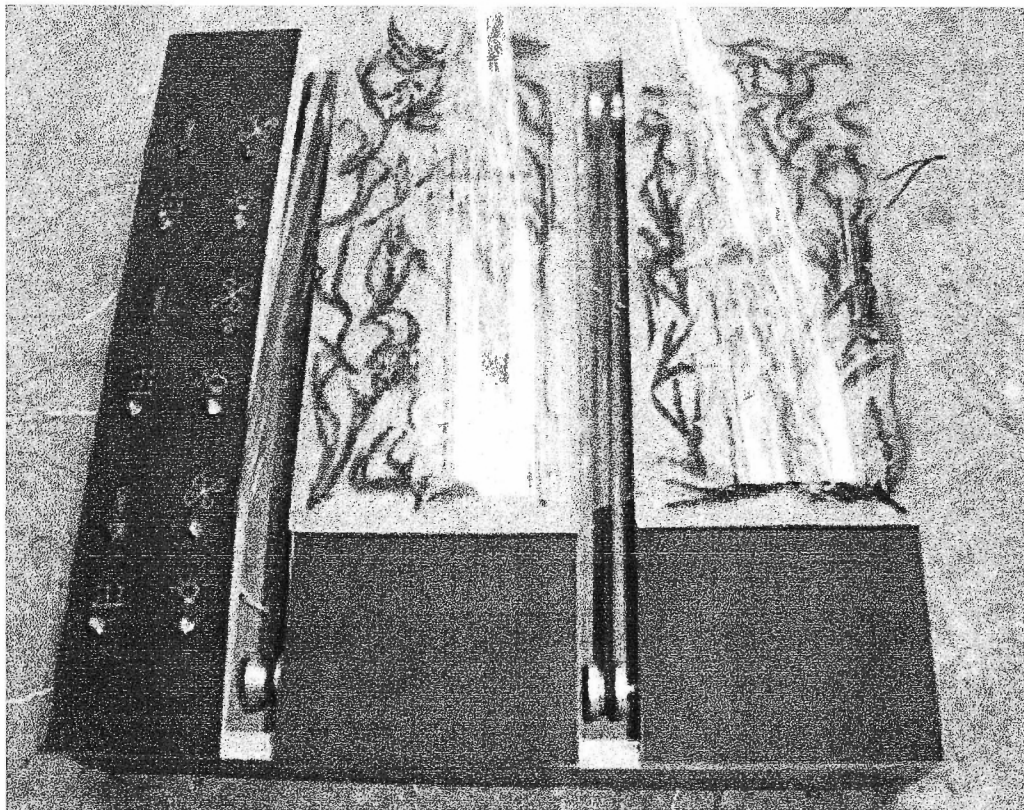


Figura 60. Maqueta para representar a los invernaderos.

IV. Conclusiones

Mediante el desarrollo del proyecto nos hemos dado cuenta de la verdadera importancia del proyecto que estamos realizando. Es cierto que en México la agricultura modernizada no se ha desarrollado ampliamente, en gran medida por la misma situación del país. Sin embargo, la reciente importancia que ha adquirido la calidad implica una necesidad por mejores productos, de forma que su valor aumente. Una forma de mejorar la calidad de la producción agrícola es anticiparse a los cambios climáticos que la pueden dañar, condiciones extremas que no solamente pueden deteriorar a los productos sino que también podrían causar una pérdida total, provocando grandes pérdidas económicas. Desde nuestra perspectiva el proyecto presentado es un gran apoyo para la agricultura, pero en el futuro se puede convertir en una necesidad para mantenerse con los estándares de calidad.

Se llevó a cabo el desarrollo del sistema para realizar la adquisición de datos en los cultivos y tomar acciones correctivas dentro de los mismos mediante el control difuso de los actuadores, en busca de mejores productos; consideramos que el proyecto permite llevar a cabo actualizaciones a nuevos plantíos. Se obtuvieron resultados a pesar de que partes del proyecto no se pudieron desarrollar de forma real como lo hubiéramos deseado. La idea original incluía la comunicación de los sensores con la computadora que realiza el análisis por un medio inalámbrico. El problema es que un sistema de tal tipo que incluye los elementos receptores y transmisores tiene un costo ligeramente alto, no para una aplicación en un cultivo real pero si para un proyecto escolar donde todos los recursos provienen de los estudiantes. Se considera la posibilidad de llevar a cabo el transporte de la terminal de medición de maneras diferenciadas, dependiendo de las condiciones de cada plantío. Algunas de las ideas aplicables en un invernadero de tamaño considerable incluyen un cable que se mueve continuamente, al cual se puede sujetar la caja con los sensores por instantes para desplazarse o utilizar sistemas neumáticos. Esperamos poder aprovechar en algún momento el proyecto para que sea aplicado en un campo real, pues teniendo el apoyo económico de un inversionista no tendríamos limitaciones para completar todos nuestros objetivos.

V. Anexos

Anexo I. Desarrollo histórico de la fresa

Las fresas modernas de fruto grande tienen un origen relativamente reciente (siglo XIX), pero las formas silvestres adaptadas a diversos climas son nativas a casi todo el mundo, excepto África, Asia y Nueva Zelanda.

Algunos escritores clásicos como Plinio, Virgilio y Ovidio, alaban su fragancia y sabor. Ellos se referían a *Fragaria Vesca*, la común "Fresa de los Bosques", que creció en grandes superficies de Europa, especialmente en Francia e Inglaterra. La forma más conocida de ellas es la "Alpina", aún cultivada y originaria de las laderas orientales del Sur de los Alpes, mencionadas en los libros por el año 1400. En aquellos tiempos se cultivó también *Fragaria moschata* que se distinguía por ser una planta de buen desarrollo y frutos de un característico olor a almizcle.

Alrededor de 1600, esta *Fragaria moschata* fue llevada por colonizadores a América del Norte, donde se adaptó muy bien, especialmente en las costas del este.

En 1614 el misionero español Alfonso Ovalle descubrió por primera vez en Chile, en sitios cercanos a la población de Concepción, frutos grandes de fresas, que fueron posteriormente clasificados como *Fragaria chilensis*, conocidos vulgarmente como Fresal de Chile.

En el año de 1714, Francois Frezier, un experto ingeniero al servicio de Luis XIV de Francia, llevó algunas de estas plantas desde Concepción a Europa, en un viaje marítimo que duró seis meses y en el que solo cinco plantas sobrevivieron.

Del cruzamiento de esta especie *Fragaria chilensis* L. con *Fragaria virginiana* Duch se obtuvieron plantas de mejor rendimiento y grandes frutos de muy buena calidad. Que han sido clasificados como *Fragaria x Ananassa* Duch, especie híbrida a partir de la cual se han desarrollado las variedades actualmente cultivadas.

En 1795 se indica que T.A. Knight inició sus trabajos de mejoramiento a través de cruzamientos e hibridaciones utilizando materiales de Norteamérica y obtuvo dos variedades conocidas como Dowton y Eton. Estas investigaciones estimularon para que posteriormente en Inglaterra en 1811 y 1814 se desarrolle el mejoramiento de la fresa bajo los auspicios de la "England's Royal Horticultural Society".

En 1806, N. Keens creó la variedad "Keens Seedlings" y posteriormente la "Keens Imperial" en 1814, que fueron utilizadas en todo el mundo como material de fitomejoramiento por sus excelentes características.

En 1834, en Estados Unidos de Norteamérica se creó la primera variedad comercial dioica conocida como Hooey, más resistente al frío que las importadas de Inglaterra. Posteriormente Wilson (1851) mediante sus trabajos de fitomejoramiento transforma la producción de fresa como cultivo de importancia económica en todo el territorio de norteamérica.

A partir de 1900, la Universidad de California intensificó notablemente sus trabajos de mejoramiento genético. En igual forma lo hicieron los países europeos y posteriormente países de otros continentes.

Se ha convertido en un cultivo industrial muy importante a nivel mundial, se puede afirmar que la planta posee las más variadas y complejas posibilidades de manejo, esta condición le ha permitido un desarrollo inusitado en las áreas productivas. Al desarrollo científico y tecnológico en la producción de esta fruta ha contribuido la naturaleza de su morfología y fisiología, que permiten manejarla en condiciones de ambiente controlado y también la atracción que ofrecen sus características de forma, color, gusto y aroma.

En América, grupos de investigadores han dedicado su trabajo al estudio y ordenamiento de las variedades espontáneas para definir sus características y composición cromosomática que sirvan de aporte a la obtención de nuevas variedades cultivables de alto rendimiento.

Anexo II Superficies de respuestas

Superficies de respuestas diferenciadas para la obtención del valor de la calidad de la fresa

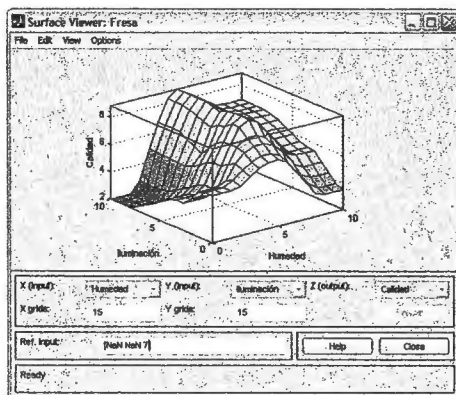


Figura 61. Humedad e iluminación con una entrada constante de temperatura de 7

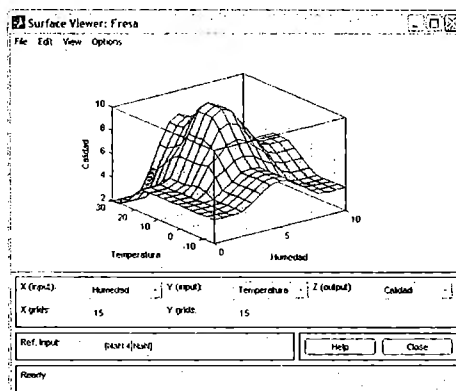


Figura 62. Humedad y temperatura con una entrada constante de iluminación de 4

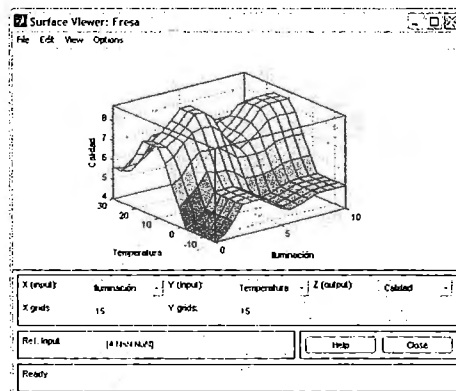



Figura 63. Iluminación y temperatura con una entrada constante de humedad de 4

Anexo III Poster



TECNOLÓGICO DE MONTERREY.

Campus Ciudad de México
División de Ingeniería y Arquitectura
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Mayo de 2006

Adquisición y Control de Datos Agrícolas

Autores: Fernando Aldasoro Carranca
 Helmut Solares Alfredo
 Mario Del Vecchio Tonotto

Auxiliar: Blanca Paz
Profesor: Antonio Pozuelo

PROBLEMÁTICA

La agricultura en control es general por métodos subjetivos. Un sistema de control mejorará la eficiencia y calidad de la producción.

OBJETIVO


Desarrollar un sistema capaz de superar condiciones climáticas. La información se analizará con lógica difusa y el resultado activará acciones para corregir y estabilizar el estado del cultivo.

RESULTADOS


- Se construyó un control de posición para simular el movimiento de las sensores en el campo.
- El software sensores capaces de recolectar información y transmitirla a una computadora donde se analiza para definir las acciones.

DIAGRAMA DE BLOQUES


Los sensores detectan las condiciones del cultivo



Se envía la información a las computadoras



Con ayuda de la lógica difusa se analiza la información



El sistema activa acciones




Figura 1. Diagrama de bloques de la acción.

Particular del uso de lógica difusa

La lógica difusa permite la representación cualitativa del conocimiento, lo cual facilita la síntesis de la experiencia humana en agricultura, permitiendo un proceso de automatización natural.

CONCLUSIONES

- LabVIEW[®] permite tener una programación compleja de una forma sencilla.
- El proyecto resulta viable debido a su bajo costo.
- Una de las claves para el desarrollo del cultivo.

TRABAJO FUTURO

- Promoción del proyecto para encontrar la viabilidad de la información en apoyar la construcción de un sistema real.
- El sistema se actualización constante el proyecto para su fácil adaptación a nuevas tecnologías.




Figura 2. Caja de sensores para mediciones en campo real.

69

VI. Referencias

- [1] Formatos de proyectos en
<ftp://ftp2.ccm.itesm.mx/pub/DIEE/cursos/ProyIng>
- [2] Portes Gil, Artemio. Syllabus, Curso Proyectos de Ingeniería I MR00038.1
- [3] Mackenzie, A. Instant notes in Ecology. Springer. 1998
- [4] Información del cultivo y manejo de la fresa en
http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/fresas.htm
<http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/fresa.htm>
<http://www.agroinformacion.com/manejo-cultivo.aspx?cultivo=19&indice=3>
http://www.proexant.org.ec/Manual_Frutilla.html
- [5] LabVIEW 7, software de National Instruments
Ayuda del programa
- [6] Tutoriales y apoyo de LabVIEW en
Curso de LabVIEW de 6 horas
Disco de entrenamiento interactivo de LabVIEW
Medina, Gerardo y otros, reporte de práctica, instrumentación y adquisición de datos
<http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/2AA67BE3DFD5D45A86256F49006FFF65>
<http://www.abcdatos.com/tutoriales/tutorial/110193.html>
- [7] Información de sensores y proyectos en
http://www.copersa.com/productes/08medidores_hum/8_7y8.pdf#search='watermark%20humedad'
http://biblioteca.itesm.mx/nav/contenidos_salta2.php?col_id=ccm.scidirect_energery
- [8] McBratney, A.B. and Moore, A.W. 1985. "Application of fuzzy sets to climatic classification." *Agricultural and Forest Meteorology*
- [9] Serôdio, C., Boaventura, J., Morais, R., Couto C. and Monterio, J. 2001. "A networked platform for agricultural management systems". *Computers and electronics in agriculture*
- [10] Morimoto, T. and Hashimoto T. "An intelligent control for greenhouse automation oriented by the concepts of SPA and SFA – an application to a post-harvest process". 2000. *Computers and electronics in agriculture*
- [11] Helmer, T., Ehret, D.L. and Bittman, S. 2005. "CropAssist, an automated system for direct measurement of greenhouse tomato growth and water use". *Computers and electronics in agriculture*



[12] Kim, S. and Hwang, H. 2003. "Tele-operative Task Environment Interface with Identification of Greenhouse Watermelon Under Natural Light". IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics

[13] Trabajos de control en:

Jyh-Shing Roger Jang, Chuen-Tsai Sun, Eiji Mizutani , *Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence*
Dubois, D., Prade, H. *Fuzzy sets and systems: Theory and applications*, Academic Press, 1998.

Kantrowitz, M. *et al*, *FAQ: Fuzzy Logic and Fuzzy Expert Systems*.

Kaufmann, A., *Introducción a la teoría de los subconjuntos borrosos*, Cía. Editorial Continental, 1999.

<http://biblioteca.itesm.mx>

<http://www.elsevier.com:locate:compag>