

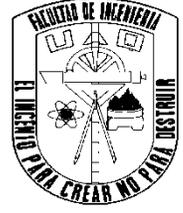


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

División de investigación y posgrado

tesis de posgrado



Control maestro para fitotrón basado en FPGA con respaldo de energía solar

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en ciencias línea terminal en Mecatrónica

Presenta:

Nestor Manuel Velázquez Neyra

Dirigido por:

Dr. Roque Alfredo Osornio Ríos

San Juan del Río, Querétaro. Mayo de 2013



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Mecatrónica

CONTROL MAESTRO PARA FITOTRÓN BASADO EN FPGA CON RESPALDO DE ENERGÍA
SOLAR

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Mecatrónica

Presenta:

Nestor Manuel Velázquez Neyra

Dirigido por:

Roque Alfredo Osornio Ríos

SINODALES

Dr. Roque A. Osornio Ríos
Presidente

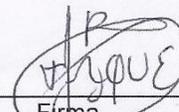
M. en I. David Granados Lieberman
Secretario

Dr. Luis Morales Velázquez
Vocal

Dr. René de Jesús Romero Troncoso
Suplente

Dr. Ramón Gerardo Guevara Gonzalez
Suplente

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

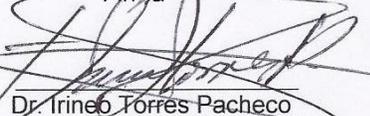

Firma

Granados Lieberman D.
Firma


Firma


Firma


Firma


Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Mayo de 2013
México

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un controlador maestro en donde se integran variables de temperatura, humedad e iluminación dentro de un fitotrón, utilizando leyes de control difuso implementadas en un FPGA con el objetivo de contrarrestar los efectos entre dichas variables. Se describe la instrumentación utilizada para la puesta en marcha del sistema dentro del fitotrón, así como la implementación en hardware y software de la técnica de control aplicada para obtener el control de las variables en conjunto. Además, se propone y se inicia una etapa que podría ser interesante en este tipo de recintos la cual busca implementar un sistema emergente de alimentación sustentado completamente con energía solar.

El sistema se prueba dentro de un fitotrón desarrollado en la Universidad Autónoma de Querétaro. Mostrando los resultados obtenidos al dar parámetros de referencia para cada una de las variables logrando su estabilidad en el tiempo.

Palabras clave: Fitotrón, iluminación, humedad, temperatura, control difuso, FPGA, sistema de energía solar.

SUMMARY

This paper reports on the development of a master control in which the temperature variables, humidity and lighting are integrated inside a phytotron using the laws of fuzzy control. The master control was implemented in an FPGA with the purpose of counteracting the effects between these variables.

Descriptions of the instrumentation utilized to set up this system inside the phytotron are presented in this research, as well as the implementation in a hardware and software of the technique applied to obtain the control of the variables together. Besides, new advances in this research are being developed, specifically in the area of implementation of an emergent feeding system that is completely run on solar energy.

This system was tested inside a phytotron developed by the Autonomous University of Querétaro, which shows the results obtained when reference parameters for the three variables are given, achieving stability in time.

Key words: phytotron, lighting, humidity, temperature, fuzzy control, FPGA, solar energy system.

DEDICATORIAS

A mis padres, que han sabido guiarme durante todos estos años y me han dado las herramientas necesarias para el éxito, alejándome del fracaso.

A mi hermano mayor, por ser una gran motivación y enseñarme que no existen límites cuando hay sueños.

A mi hermano menor, por su gran amistad y respeto

A mi abuela, por su fuerza, apoyo y amor sin condiciones.

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos, compañeros de la maestría, asesores, sinodales y a CONACYT

Índice

1. CAPÍTULO I	1
1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivos generales	8
1.2.2 Objetivos particulares	8
1.3 Justificación.....	9
1.4 Descripción del problema	10
2. CAPÍTULO II	12
2 Revisión de literatura	12
2.1 Fitotrón.....	12
2.2 Cómputo reconfigurable	12
2.3 Panel solar.....	14
2.3.1 Teoría y Construcción.....	17
2.4 Fotorresistencias LDR. (Light Dependent Resistor, Resistor Dependiente de la luz).....	18
2.5 Sensores capacitivos para humedad	19
2.6 Termistor	20
2.7 Redes neuronales artificiales.....	21

Modelos de la Unidad de Procesamiento Elemental	24
2.8 Lógica difusa.....	26
2.8.1 Conjuntos difusos.	28
2.8.2 Defusificación.	34
2.8.2.1 Método de centro de área	34
2.8.2.2 Método de centro nivelado de área.	35
2.8.2.3 Método de primer máximo	35
2.8.2.4 Método de criterio de Max	35
2.8.2.5 Método de máximo promedio	35
2.9 Redes neuro-difusas.....	36
2.9.1 Características de las redes neuronales-difusas	37
3. CAPÍTULO III	39
3 Metodología	39
3.1 Sistema emergente basado en energía solar.....	44
3.1.1 Descripción de los elementos	44
3.1.2 Metodología de conexión para la implementación de la energía solar.	
45	
3.2 Instrumentación del fitotrón.....	46
3.2.1 Sistema de refrigeración	46
3.2.2 Lámparas LED.....	47
3.2.3 Humidificador	48
3.2.4 Des-humidificador	49

3.2.5	Resistencias calefactoras	49
3.2.6	Sensor de Humedad	50
3.2.7	Sensor de iluminación.....	51
3.2.8	Sensor de temperatura	52
3.3	Acondicionamiento de señales.....	53
3.3.1	Señal de humedad.....	53
3.3.2	Señal de temperatura	55
3.3.3	Señal de iluminación.....	57
3.4	Optoacoplamiento de las señales de control	59
3.5	Unidad DRC ó tarjeta de control	62
3.6	Diseño e implementación del controlador maestro	63
3.6.1	Fusificación.....	64
3.6.2	Base de reglas.....	67
3.6.3	Máquina de inferencias.....	73
3.6.4	Defusificación	74
3.6.5	Implementación del controlador en FPGA.....	77
4.	CAPITULO IV.....	81
4	Resultados	81
5.	CONCLUSIONES	91
6.	APÉNDICE	92
6.1	APÉNDICE A.....	92

6.2	APÉNDICE B.....	106
6.3	APÉNDICE C.....	110
6.4	APÉNDICE D.....	111
6.5	APÉNDICE E.....	113
6.6	APÉNDICE F.....	114
6.7	APÉNDICE G.....	115
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117

Índice de figuras

2.3. Panel solar. TSKAN (2010).	15
2.3.1. Celda solar. TSKAN (2010)	16
2.3.2. Comportamiento interno de una celda solar. TSKAN (2010)	17
2.4. Fotorresistencia LDR. Pallas (2003)	24
2.5. Posible construcción de un sensor capacitivo para humedad. Glaría y Kuoro (2001)	20
2.7.1. Primer model de neurona artificial. Nguyen et al. (2003)	23
2.7.2. Neurona artificial con activación como peso. Nguyen et al. (2003)	23
2.7.3. Esquema de una neurona artificial. McCulloch et al. (1943)	24
2.8. Sistema basado en lógica difusa (FLS). Martín (2008)	27
3.0. Diagrama general acerca de la distribución de la energía	42
3.1. Diagrama general de interacción entre los componentes	43
3.1.1.1. Paneles solares KYOCERA KC130TM	44
3.1.1.2 Bateria para aplicaciones fotovoltaicas para 12VCD marca CALE	44
3.1.1.3 Controlador automático de carga modelo GPC-12-20-KM	45
3.1.1.4 Inversor de voltaje DC-AC, intelligent 12VCD-120VCA / 1500W	45
3.1.2.1 Conexiones entre los elementos involucrados para el correcto funcionamiento del sistema basado en energía solar	46
3.2.1.1 a) Motocompresor con difusor de calor, b) evaporador en el interior del fitotrón	47
3.2.2.1 instalación de lámparas LED en el interior del fitotrón	48
3.2.3.1 Humidificador en el interior del fitotrón	48
3.2.4.1 Des-humidificador en el interior del fitotrón	49

3.2.5.1 Resistencias calefactoras en el interior del fitotrón	50
3.2.6.1 Sensor de humedad HIH4000-002	50
3.2.6.2 Salida de voltaje vs humedad relativa	51
3.2.7.1 Sensor de iluminación LDR VT90N1	51
3.2.8.1 Sensor de temperatura LM35DZ	52
3.2.8.2 Sensores en el interior del fitotrón	52
3.5.1 Unidad DRC ó tarjeta de control.....	63
3.6.1.1 Funciones de pertenencia para entrada 1	64
3.6.1.2 Funciones de pertenencia para entrada 2	65
3.6.1.3 Funciones de pertenencia para entrada 3	65
3.6.1.4 Funciones de pertenencia para entrada 4	65
3.6.1.5 Funciones de pertenencia para entrada 5	66
3.6.1.6 Funciones de pertenencia para salida 1	66
3.6.1.7 Funciones de pertenencia para salida 2	67
3.6.2.1 Base de reglas para temperatura	72
3.6.2.2 Base de reglas para humedad	73
3.6.3.1 Area representada por la máquina de inferencias para un error de temperatura de -5°C y un cambio en el erro de temperatura de -0.25°C	74
3.6.4.1 Parámetros necesarios para defusificador utilizando el criterio de centro de gravedad.....	76
3.6.5.1 Estructura interna del controlador maestro en FPGA	79
4.1.1 Respuesta del controlador maestro sobre la variable de humedad	81
4.1.2 Respuesta de la variable de iluminación al requerir 4300 luxes en el interior del fitotrón	82

4.1.3 Respuesta del controlador maestro sobre la variable de temperatura	83
4.1.4 Respuesta del controlador maestro sobre las variables de iluminación, humedad y temperatura trabajando en conjunto, prueba 1	84
4.1.5 Respuesta del controlador maestro sobre las variables de iluminación, humedad y temperatura trabajando en conjunto, prueba 2	85
4.1.6 Respuesta del controlador maestro sobre las variables de iluminación, humedad y temperatura trabajando en conjunto, prueba 3	86
4.1.7 Respuesta del controlador maestro sobre las variables de iluminación, humedad y temperatura trabajando en conjunto, prueba 4	87
4.1.8 Paneles solares encargados de abastecer de energía eléctrica los componentes de control para el fitotrón	88
4.1.9 Controlador automático de carga funcionando	89
4.1.10 Inversor de voltaje DC-AC funcionando.....	89
4.1.11 Tarjeta DRC funcionando con energía solar.....	90
4.1.12 Sistema utilizado para la alimentación con energía solar de los componentes electrónicos de control	90

1 Introducción

En todo el mundo se están gastando millones de dólares anualmente para estudiar los efectos de los cambios que ha tenido el medio ambiente, principalmente en la vegetación, en la producción de alimentos y en el ciclo biológico de todas las especies animales y vegetales.

Los datos registrados de temperatura media en la superficie terrestre indican su aumento notablemente durante el transcurso del presente siglo. Las mayores temperaturas están incrementando la longitud de los periodos de crecimiento de los cultivos y están afectando las zonas donde estos pueden desarrollarse naturalmente. Todas estas adversidades tienen impactos directos en las materias que estudian a detalle el crecimiento y desarrollo de las plantas, obligando a tener que contar con invernaderos cada vez más sofisticados y cámaras ambientales que estén estrictamente controladas (fitotrónes) para continuar de la mejor manera con el cultivo de estas especies y sus respectivos estudios.

En el presente trabajo se implementará un controlador maestro para fitotrón a partir de técnicas de control difuso aplicadas. Este sistema se implementará mediante el uso del lenguaje C y VHDL (*VHSIC hardware description language; VHSIC: Very High Speed Integrated Circuit*) para posteriormente ser integrado y sintetizado en un FPGA (*Field Programmable Gate Array, arreglo de compuertas programables en campo*). Se evaluará la respuesta del sistema al controlar las tres variables en conjunto a partir de variables controladas de forma independiente en tesis anteriores con el fin de satisfacer las características adecuadas para el desarrollo de plantas en dicho recinto.

En el capítulo 1 se redactan puntos básicos que incluyen la introducción, objetivos, antecedentes, justificación y planteamiento del problema para la investigación. En el capítulo 2 se presentan conceptos teóricos básicos y

necesarios para poder abordar la investigación. Se mencionan las características de un fitotrón, se muestran una pequeña tabla con las comparativas entre las diferentes plataformas tecnológicas para el procesamiento digital de señales, se mencionan a groso modo conceptos y funcionamiento de un panel solar, una fotorresistencia, sensores capacitivos para humedad y termistores, también se hace mención a características y modelos matemáticos de las redes neuronales artificiales, lógica difusa y redes neuro-difusas con la finalidad de entender mejor su comportamiento y así diseñar la integración e implementación del controlador maestro. El capítulo 3 muestra la instrumentación del fitotrón y el planteamiento general de la integración e implementación del controlador maestro, se ponen en evidencia imágenes de los circuitos electrónicos que se utilizaron para la etapa de potencia y de control de los sistemas de iluminación, humedad y temperatura además de los sensores y actuadores requeridos para el monitoreo y adecuación de las variables, también se describe el diseño del controlador difuso y la distribución de la estructura interna del controlador maestro, mostrando a su vez aspectos importantes de la etapa inicial que busca la implementación del sistema emergente basado en energía solar para fitotrón. En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos del trabajo, implementación y el análisis del controlador maestro al dar parámetros de referencia para cada una de las variables logrando su estabilidad en el tiempo, dejando las conclusiones de la investigación en el capítulo 5 y cerrando la investigación con una sección de referencias en las que se fundamentó esta tesis.

1.1 Antecedentes

Es un hecho que el problema climático en el que se ha visto inmersa la agricultura a nivel mundial, durante las últimas décadas, ha cambiado drásticamente sus prácticas y métodos. Esta perturbación de la naturaleza ha despertado la preocupación de muchas naciones, las cuales tienen entre sus prioridades más urgentes garantizar la sustentabilidad alimenticia de su país.

De este modo, la tendencia en la producción de cultivos revela cada vez más el uso inminente de tecnologías capaces de aumentar la productividad para cubrir las demandas que la sociedad impone.

En el área local como es el caso de la Universidad Autónoma de Querétaro, se han desarrollado investigaciones en el monitoreo de invernaderos y cámaras de clima inteligente o fitotrónes como es el caso de Razo (2011) que aplicó leyes de control clásico y desarrolló un sistema de control neurodifuso en base a un FPGA (*Field Programmable Gate Array*, arreglo de compuertas programables en campo) para el control de humedad en un fitotrón. Duarte (2011) realizó un control de iluminación en un fitotrón utilizando leyes de control clásicas, técnicas de control inteligente como lógica difusa, redes de petri y redes neuronales implementadas en FPGA, evaluando la mejor opción de control para dicho tipo de sistema, por su parte, García (2004) desarrolló un control climático de invernaderos midiendo variables como la presión de vapor, la tasa de crecimiento del cultivo, el contenido de materia seca, la radiación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento para encontrar una ecuación que relacionara todas estas variables con el crecimiento del cultivo. Usando el procesamiento de imágenes se obtenía el modelo de crecimiento de la planta cultivada y se comparaba con las condiciones ambientales para verificar la ecuación obtenida del crecimiento de la planta, pudiendo aplicarse en un sistema de control para mejorar la fotosíntesis de las plantas. Rojas (2003) se encargó del desarrollo de un control difuso para el sistema de riego en un invernadero, monitoreando temperatura y humedad para determinar cuando era necesario suministrar agua a las plantas, optimizando el

manejo del agua de riego, mejorando el crecimiento de las plantas e incrementando su producción.

Continuando con la trayectoria de investigación en invernaderos, Gómez (2005) elaboró un control difuso-PID (Proportional Integral Derivative, proporcional integral derivativo) utilizado para un sistema de riego en un invernadero en el cual se controlaba el nivel de nutrientes que recibían las plantas realizando mediciones de pH y conductividad eléctrica. En el mismo ámbito, Rojano (2006) realizó una identificación experimental del clima en un invernadero, la identificación la realizó mediante el método de mínimos cuadrados, las variables que tomó en cuenta fueron: temperatura, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento. Realizó pruebas con 1, 2, 3 y 4 entradas, correspondientes a las variables mencionadas, la estimación se realizaba en un periodo de 24 horas y las entradas que se obtenían en un día se utilizaban como entradas para el siguiente día de experimentación en forma sucesiva, esto sirvió para encontrar un modelo lineal que permitiera estimar la temperatura y humedad del invernadero.

Toledano (2006) desarrolló un sistema de monitoreo remoto para invernadero en donde se monitoreó la temperatura interior y exterior, y la humedad exterior e interior del invernadero a través de la red inalámbrica en donde se graficaron los datos obtenidos para observar el comportamiento de las variables medidas que se podían consultar en una página web, esto con la finalidad de ver el comportamiento de la temperatura y humedad a gran distancia sin la necesidad de estar cerca del invernadero para conocer su comportamiento.

En el ámbito internacional con referencia a la manipulación de varias variables en el dispositivo en donde se implementará el control maestro, se han realizado sistemas basados en un *FPGA*, este es el caso de El-Medany (2008) quien elaboró un sistema diseñado para monitorear temperatura y humedad en tiempo real con el uso de mensajes SMS (*Short Messaging Service, servicio de mensajes cortos*) apoyado en *VHDL* como software para describir el circuito con la finalidad de disminuir el costo y ampliar las compatibilidades de hardware y software.

También se han llevado a cabo controles de iluminación como es el caso de Sulaiman et al. (2006) desarrollando un sistema de control basado en lógica difusa para mejorar la eficiencia de la iluminación pretendiendo disminuir el consumo de energía que se necesitaba para iluminar una habitación. Para lo cual implementaron el control difuso en un *PIC* (*Peripheral Interface Controller, controlador de interfaz periférico*), estableciendo una interfaz que controlaba la iluminación para que fuera constante. Kuo et al. (2009) quienes desarrollaron un control inteligente de luz para ser utilizado en invernaderos. Este control está basado en lógica difusa, el objetivo del control era regular de forma automática la incidencia de luz solar de manera eficiente y así mejorar la calidad de la iluminación interior, reduciendo la necesidad de luz artificial.

A su vez, Pasgianos et al. (2003) desarrollaron un sistema desacoplado para temperatura y humedad. Considera que al ser lineal el modelo del sistema, permitirá una mayor facilidad de aplicación y suficiente aproximación a datos experimentales. Apoyados en una carta psicométrica y referenciados en leyes físicas, será posible determinar los tiempos correctos de activación del equipamiento presente dentro del invernadero para corregir situaciones críticas. El modelo es capaz de estimar los tiempos requeridos por el equipamiento para llegar a puntos de regulación propuestos. Cada una de las variables es determinada por una ecuación. La primera ecuación estima la temperatura en el interior del invernadero, tomando en cuenta la humedad relativa interior y la segunda ecuación estima la humedad relativa interior, considerando la temperatura en el interior del invernadero.

Fan et al. (2008) desarrollaron un control difuso basado en redes neuronales, el cual se utilizó para cambiar el tiempo en que estaban activadas las luces de un semáforo, dependiendo de las condiciones del tráfico con el fin de conocer la ventaja de tener sistemas controlados en tiempo real y también para disminuir el daño de los automóviles debido al tiempo en que se encuentran detenidos por el tráfico.

Se han desarrollado investigaciones sobre sistemas de control de un fitotrón como es el caso de Benítez et al. (1998) quienes automatizaron tres fitotrones utilizando un *PLC* (*Programmable Logic Controller, controlador lógico programable*) para regular los parámetros de iluminación, temperatura, humedad y riego, la iluminación sólo tenía doce niveles diferentes de iluminación. Esto se desarrolló para disminuir el costo energético que requería el fitotrón antes de ser automatizado.

También se han utilizado los beneficios de los fitotrones para la elaboración de estudios sobre la influencia de diferentes condiciones climáticas en el desarrollo de cultivos y vegetales como es el caso de Ruffykiri et al.(2000) que investigaron el efecto del aluminio en bananos jóvenes cultivados en soluciones ácidas, se cultivaron cinco cultivares de banano ('*Grande Naine*', '*Agbagba*', '*Obino l'Ewai*', '*Igitsiri*' y '*Kayinja*') en una solución nutritiva sin y con 78,5 mg de Aluminio en un fitotrón a temperaturas próximas de las de sus zonas de cultivo. García et al. (2007) quienes realizaron un análisis sobre la influencia de las condiciones de iluminación en la germinación de embriones somáticos. Usaron embriones somáticos maduros los cuales fueron colocados en cámaras de crecimiento con iluminación solar y artificial. Durante un periodo de 15 días dejaron los embriones expuestos a la luz y después de este periodo se evaluaron el número de embriones germinados con plúmula clorofílica expuesta y la formación de plantas completas. Esto se realizó para conocer los efectos de la luz en el desarrollo de las plantas.

Por su parte, Amella (2011) estudió los efectos del premarchitamiento de la alfalfa en el campo sobre su valor nutritivo. Tal estudio también fué llevado a cabo en un recinto climatizado o Fitotrón, en el que se introducían unos 20 Kg. de alfalfa fresca, colocándola en forma de hileras (simulando las que se hacen en el campo), manteniéndolas hasta un máximo de seis horas en condiciones de temperatura, humedad relativa, intensidad de luz y velocidad del aire fijas. Se tomaban muestras por duplicado (sobre 1 Kg.) al cabo de una, dos, cuatro y seis horas de permanencia en la cámara, procediéndose a la determinación de materia seca y a

líoofilizar el resto para continuar con los análisis oportunos. Siguiendo en el ámbito, Morales y Fereres (2008) investigaron sobre el umbral de temperatura para el inicio del vuelo de los pulgones de la lechuga, *Nasonovia ribisnigri* y *Macrosiphum euphorbiae* (Hemíptera: Aphididae) en donde los ensayos de laboratorio se realizaron en un fitotrón con control de temperatura, luz y fotoperiodo.

Los párrafos anteriores dejan en claro que se ha estado trabajando bastante en el tema de invernaderos inteligentes pero no así en el lado específico de los fitotrones en donde aún existen deficiencias en el control, los costos de instalación y mantenimiento son elevados e involucran controladores con tecnologías extranjeras creando dependencia tecnológica en el software de control como es el caso de los PLC's además de que ninguno de éstos toma en cuenta la implementación de algún tipo de energía alterna que promueva la auto-sustentabilidad de dichos recintos.

La presente investigación se enfoca al desarrollo de un control maestro desarrollado con tecnología 100% nacional capaz de controlar, con técnicas clásicas de control, variables de temperatura, iluminación y humedad. Además de que se trabajará en el campo de las energías alternativas al implementar un sistema de alimentación alterno basado en energía solar para alimentar la parte de los componentes electrónicos de control ya que es un aspecto que puede ser de gran utilidad en este tipo de cámaras y al cual no se le ha dado la debida importancia ni el desarrollo suficiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

- Controlar las variables de temperatura, humedad e iluminación en un fitotrón mediante un controlador multi-variable basado en FPGA para compensar los efectos entre dichas variables.
- Iniciar con la integración de un sistema de alimentación basado en energía solar para evaluarlo como sistema emergente de alimentación en el fitotrón.

1.2.2 Objetivos particulares

- Retomar los trabajos de control sobre las variables de temperatura, humedad e iluminación desarrollados sobre el fitotrón para evaluar la mejor opción y proceder con su integración.
- Integrar, implementar y desarrollar la instrumentación necesaria para el control de las variables de temperatura, humedad e iluminación en un fitotrón.
- Desarrollar pruebas funcionales del sistema que permita evaluar la interacción y compensación entre las variables involucradas (temperatura, humedad e iluminación).

1.3 Justificación

Debido a la inestabilidad de los cambios climáticos en la actualidad, es de gran importancia disponer del ambiente apropiado que se requiere para el desarrollo habitual de las plantas y seres vivos en general ya que caracterizar el adecuado desarrollo de las especies permite contribuir con el estudio detallado para la obtención de modelos de crecimiento de los seres vivos en general. En los últimos años se han venido desarrollando cámaras de ambiente controlado, sin embargo, aún no se han logrado los resultados esperados en cuanto a la precisión, estabilidad y los tiempos de respuesta que el sector necesita y los proveedores de dichos sistemas son en su mayoría extranjeros, generando dependencia tecnológica en cuanto al software de control con gastos de instalación mantenimiento y capacitación muy elevados.

En el fitotrón que se tiene como prototipo en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, campus San Juan del Río, se han controlado adecuadamente variables de temperatura, humedad e iluminación de forma independiente, sin embargo, no existe aún alguna estrategia capaz de manipular éstas tres variables de forma conjunta contrarrestando los efectos que una variable tiene sobre otra permitiendo manipular estrictamente condiciones ambientales de temperatura, iluminación y humedad para poder abordar en investigaciones detalladas que tienen como fin obtener modelos de crecimiento o investigar la patología de las plantas y así contribuir con el campo de estudio biotecnológico de nuestro país en áreas de aplicación como: Botánica y ecología de plantas, anatomía y citología vegetal, nutrición vegetal, fisiología vegetal, fijación y movilización biológica de nutrientes, conservación de suelos, producción de cultivos, bioquímica y biología molecular de plantas, biotecnología y agrobiología ambiental.

Buscando además iniciar con la implementación de la energía solar como fuente de energía alterna en éste tipo de cámaras debido a que los lugares de estudio

muchas veces se encuentran en zonas muy alejadas de la civilización en donde las fuentes de energías actuales son casi nulas.

1.4 Descripción del problema

Con el paso de los años, la contaminación, el avance del sector industrial y la constante necesidad de abastecer recursos a millones de personas, nuestro entorno se ha visto afectado de muchas maneras, ejemplos de esto son la inestabilidad en los cambios climáticos y la etapa de escases en la que hemos entrado de recursos y energías fósiles a las que el ser humano estaba acostumbrado.

En la actualidad, un espacio completamente auto-sustentable que tenga la capacidad de manipular condiciones ambientales es una de las necesidades primordiales y se ha convertido en un ideal dentro de los campos de estudio biotecnológico, en donde es de gran importancia disponer de ambientes estrictamente controlados para abordar en investigaciones detalladas que tienen como fin obtener modelos de crecimiento o investigar la patología de las plantas, ya que éstas dependen en su totalidad de la biósfera donde se hallan inmersas, además de que poco a poco se está buscando la forma de suministrar totalmente con energías alternas estos recintos a causa de que los lugares de estudio muchas veces se encuentran en zonas muy alejadas de la civilización en donde las fuentes de energías actuales son casi nulas. En los últimos años, se han venido desarrollando cámaras de ambiente controlado llamadas fitotrónes que cumplen en cierta medida con las necesidades planteadas, sin embargo, aún no se han logrado los resultados esperados en cuanto a la precisión, estabilidad y los tiempos de respuesta que el sector necesita, además de que los proveedores de dichos sistemas son en su mayoría extranjeros generando dependencia tecnológica en cuanto al software de control con gastos de instalación muy elevados y dejando aparte el lado autosustentable.

En la Universidad Autónoma de Querétaro, campus San Juan del Río se tiene como prototipo una cámara de regulación climática o fitotrón dentro del cual se

han controlado adecuadamente variables de temperatura, humedad e iluminación de forma independiente utilizando varias técnicas de control clásico y moderno aplicadas en un FPGA, sin embargo no existe aún alguna estrategia capaz de manipular éstas tres variables de forma conjunta que logre una simulación efectiva de condiciones ambientales aceptables para contribuir al crecimiento y desarrollo de las plantas a menor costo, sin tener que depender de una tecnología extranjera en particular y en donde se busque la auto sustentabilidad.

2 Revisión de literatura

2.1 Fitotrón.

Maroto (2008) dice que los fitotrónes son recintos fabricados por el hombre en los que se regulan los principales factores climáticos, como temperatura, humedad relativa, iluminación, contenido en CO₂, etc.

Estos equipos tienen un valor incalculable en la investigación agronómica, puesto que permiten simular condiciones climáticas distintas, de manera que cuando se trabaja con varios fitotrónes a la vez, pueden llevarse a cabo simultáneamente una investigación en una determinada dirección, empleando condiciones dinámicas diferentes, con todas las ventajas que esto supone de cara a conseguir resultados mucho más anticipadamente y con mucho mayor rigor que si hubiera que esperar a las condiciones naturales.

En algunas ocasiones estos fitotrónes de climatología regulable también se emplean con fines comerciales, como en algunos procesos de multiplicación, enraizamiento, cultivo, etc.

2.2 Cómputo reconfigurable

Los dispositivos de cómputo reconfigurable han surgido como resultado de la innovación del procesamiento digital de señales, el cual exige no sólo la búsqueda de algoritmos cada vez más eficientes sino también el desarrollo de herramientas a fin de proveer soluciones que cumpla con los requerimientos exigidos por el mercado.

Con el objeto de optimizar aún más los recursos de los bloques digitales disponibles en los dispositivos programables, se buscó una alternativa que permitiera el uso de mayor cantidad de componentes y una eficiencia superior, el

resultado fue una nueva familia de arreglos lógicos conocidos por el acrónimo de FPGA los cuales se basan en una cantidad muy grande celdas lógicas, muy elementales, y una interconectividad mucho mayor que sus contrapartes (Romero, 2008).

La tabla 2.2.1 muestra una comparativa entre las diferentes plataformas tecnológicas para el procesamiento digital de señales, con sus principales ventajas y desventajas (Contreras, 2008).

En muchos de los casos, las aplicaciones que se resuelven con técnicas de cómputo reconfigurable reemplazan el equivalente en decenas o centenas de microprocesadores y DSPs (Digital Signal Processors, procesador digital de señales) actuales. Este alto desempeño se alcanza construyendo operadores computacionales personalizados, rutas de datos y líneas de producción apropiadas a la tarea a resolver.

Con este alcance, las características de una aplicación en particular, tales como paralelismo, localidad, y resolución de los datos se pueden explotar enormemente. Por ello, los dispositivos de cómputo reconfigurable proporcionan los beneficios de rendimiento computacional de los ASICs (Application Specific Integrated Circuits, circuito integrado de aplicación específica), pero conservando la flexibilidad y rápida reconfigurabilidad de un microprocesador de propósito general.

Existen diversos lenguajes descriptivos que han sido desarrollados en los últimos años, pero indudablemente el lenguaje que más difusión ha tenido y que se utiliza mayormente es el VHDL (Romero, 2008).

Plataforma	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño en alto nivel • Interfaces estándares • Usa computadoras de propósito general 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad limitada • Cómputo especulativo
DSP	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito probado funcionalmente • Plataforma de diseño de alto nivel • Puente con C, C++ y/o Matlab • Fácil conexión con memoria • Memoria interna Puertos de comunicación • Costo moderado • Buena velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere circuito de soporte • periférico • Obsolescencia general • Arquitectura predefinida • No permite la optimización de ciertos algoritmos
ASIC	<ul style="list-style-type: none"> • SoC (System On a Chip) • Control de las variables de diseño • Optimización tecnológica • Paralelismo • Integración de módulos diversos: RAM, ROM, etc. • Procesamiento en línea 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos largos de desarrollo • Costo justificable en producción masiva. • Dificultad de diseño • No son reprogramables
FPGA	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad SoC. • Diseño del sistema por el usuario final • Libertad de arquitectura • Diseño de mediano nivel • Portabilidad • Reconfigurabilidad • Procesamiento en línea 	<ul style="list-style-type: none"> • Desprecio inherente de recursos. • Complejidad de desarrollo, • Crea dependencia a IP-cores. • Desarrolla dependencia tecnológica con los fabricantes

Tabla 2.2.1: Ventajas y desventajas de las plataformas tecnológicas para el procesamiento de señales. Contreras (2008)

2.3 Panel solar

La organización TSKAN (2010) menciona que un panel solar es un módulo que aprovecha la energía de la radiación solar. Normalmente se refiere a los dispositivos para producir agua caliente (usualmente doméstica) y a los paneles fotovoltaicos utilizados para generar electricidad.

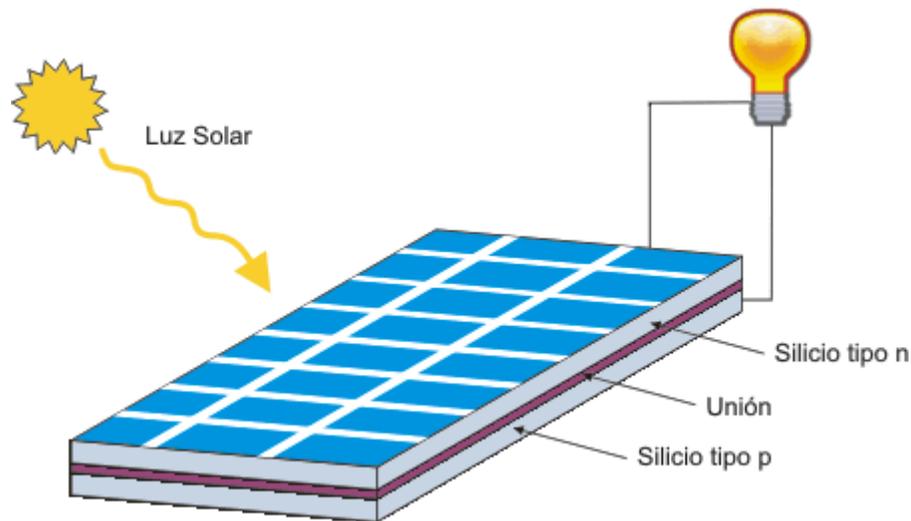


Figura 2.3 Panel solar. TSKAN (2010).

Los paneles fotovoltaicos están formados por numerosas celdas (llamadas células fotovoltaicas) que captan la radiación luminosa (fotones procedentes de la radiación solar). Estos fotones impactan sobre la superficie de la célula y allí son absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio, golpeando a los electrones liberándolos de los átomos a los que pertenecían, así los electrones comienzan a circular por el material produciendo la electricidad en forma de corriente continua a baja tensión. La estructura de los paneles solares está compuesta, entre otras cosas, por: un generador solar, un acumulador, un regulador de carga y un inversor (opcional). Los acumuladores son los que almacenan la energía producida por el generador y nos da la posibilidad de utilizar dicha energía almacenada en los días en donde existe una radiación muy bajo o directamente no se hace presente el sol. El regulador de carga, como su nombre lo indica, se encarga de evitar que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas en el acumulador, si esto ocurriese se producirían daños irreversibles. Como el tipo corriente eléctrica que proporcionan los paneles solares es corriente continua, muchas veces se usa un inversor y/o convertidor de potencia para transformar la corriente continua en corriente alterna, que es la que utilizamos habitualmente en nuestras casas, trabajos y comercios.



Figura 2.3.1 celda solar. TSKAN (2010).

Aunque cada celda solar provee una cantidad relativamente pequeña de energía, muchas de estas repartidas en un área grande (formando el panel solar) pueden proveer suficiente energía como para ser útiles. Estas células se conectan entre sí como un circuito en serie para así aumentar la tensión de salida de la electricidad, al mismo tiempo varias redes de circuito paralelo se conectan para aumentar la capacidad de producción eléctrica que podrá proporcionar el panel. Para obtener la mayor cantidad de energía las celdas solares deben apuntar directamente al sol.

En 2005 el problema más importante con los paneles fotovoltaicos era el coste, que ha estado bajando hasta 3 o 4 dólares por vatio. El precio del silicio usado para la mayor parte de los paneles ahora está tendiendo a subir. Esto ha hecho que los fabricantes comiencen a utilizar otros materiales y paneles de silicio más delgados para bajar los costes de producción. Debido a economías de escala, los paneles solares se hacen menos costosos según se usen y fabriquen más. A medida que se aumenta la producción los precios continuarán bajando en los próximos años.

Uno de los principales usos conocidos es para el calentamiento del agua, en este los paneles tienen una placa receptora y tubos por los que circula líquido adheridos a ésta. El receptor (generalmente recubierto con una capa selectiva oscura) asegura la transformación de radiación solar en calor, mientras que el líquido que circula por los tubos transporta el calor hacia donde puede ser utilizado

o almacenado. El líquido calentado es bombeado hacia un aparato intercambiador de energía (una bobina dentro del compartimento de almacenado o un aparato externo) donde deja el calor y luego circula de vuelta hacia el panel para ser recalentado.

2.3.1 Teoría y Construcción

Silicio cristalino y Arseniuro de galio son la elección típica de materiales para fabricar las celdas solares. Los cristales de Arseniuro de galio son creados especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de Silicio están disponibles en lingotes estándar más baratos producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. El Silicio policristalino tiene una menor eficacia de conversión pero también menor coste por lo que al final su rentabilidad se justifica.

Cuando es expuesto a luz solar directa, una celda de Silicio de 6cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda).

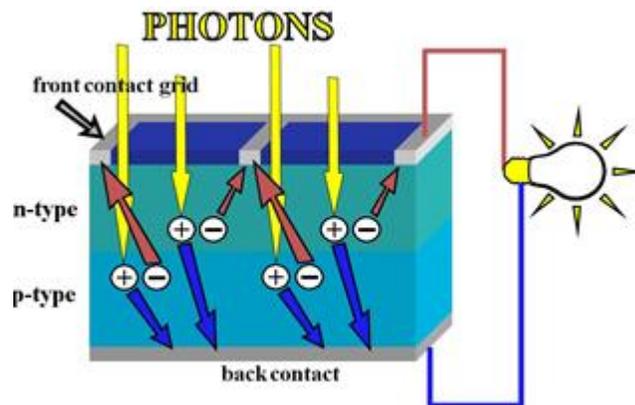


Figura 2.3.2 Comportamiento interno de una celda solar. TASKAN (2010).

Los lingotes cristalinos son cortados en discos finos como una oblea, pulidos para eliminar posibles daños causados por el corte. Se introducen dopantes (impurezas añadidas para modificar las propiedades conductoras) dentro de las obleas, y se depositan conductores metálicos en cada superficie: una fina rejilla en el lado

donde da la luz solar y usualmente una hoja plana en el otro. Los paneles solares son contruidos con estas celdas cortadas en forma apropiada. Para protegerlos de daños en la superficie frontal causados por radiación o por el mismo manejo de éstos se los enlaza en una cubierta de vidrio y se cimentan sobre un sustrato (el cual puede ser un panel rígido o una manta blanda). Se realizan conexiones eléctricas en serie-paralelo para determinar el voltaje de salida total. La cimentación y el sustrato deben ser conductores térmicos, ya que las celdas se calientan al absorber la energía infrarroja que no es convertida en electricidad. Debido a que el calentamiento de las celdas reduce la eficacia de operación es deseable minimizarlo. Los ensamblajes resultantes son llamados paneles solares o grupos solares.

Si un cuarto de los pavimentos y edificios de las ciudades fueran convertidos en paneles solares, estos proveerían suficiente energía para la ciudad.

2.4 Fotorresistencias LDR. (Light Dependent Resistor, Resistor Dependiente de la luz)

Pallás (2003) establece que las fotorresistencias o fotoconductores (*Light Dependent Resistors*) se basan en la variación de la resistencia eléctrica de un semiconductor al incidir en él radiación óptima (radiación electromagnética con longitud de onda entre 1 mm y 10 nm). Su símbolo y modelo se muestran en la Figura 2.4



Figura 2.4 Fotorresistencia (LDR). a) Símbolo. b) Modelo de bajo costo encapsulado en plástico transparente. Pallas (2003).

La conductividad eléctrica en un material depende del número de portadores en la banda de conducción. En un semiconductor, a baja temperatura la mayor parte de sus electrones están en la banda de valencia, y se comporta casi como aislante. Pero al aumentar la temperatura, y con ella la agitación los electrones, dado que las bandas de valencia y de conducción están próximas, cada vez hay más electrones que saltan de la banda de valencia a la conducción, aumentando la conductividad. Si el semiconductor está dopado, este salto es aún más fácil.

La energía necesaria para producir el salto puede venir de otras fuentes externas de calor, como puede ser una radiación óptica o una tensión eléctrica. En el caso de la radiación óptica, su energía, E , y frecuencia, f , están relacionadas mediante la expresión $E=hf$.

Donde $h= 6.62 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$ es la constante de Plack. Entonces si la radiación tiene energía suficiente para permitir el salto de los electrones de una a otra banda, pero si exceder el umbral necesario para que se desprendan del material, se tendrá efecto fotoeléctrico interno o fotoconductor, y a mayor iluminación mayor será la conductividad. Si se excediera dicho umbral, se tendría efecto fotoeléctrico externo.

2.5 Sensores capacitivos para humedad

De acuerdo con Glaría y Kuoro (2001), son quizás los más difundidos en la industria y meteorología, pues son de fácil producción, bajos costos, y alta fidelidad. El principio en el cual se basa este tipo de sensores, es en el cambio que sufre la capacidad (C en [Farad]) de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo.

Dado a la naturaleza polar del agua, en presencia de un campo eléctrico, se produce la alineación de las moléculas, siendo esta la causa del porque el agua presenta una constante dieléctrica (80) mayor que el aire (1). Luego si se utiliza como dieléctrico, una mezcla gaseosa que contenga vapor de agua, el valor C del condensador va a variar dependiendo de la cantidad de moléculas de agua que

estén presentes entre las placas. En consecuencia basta medir, o convertir el cambio de capacitancia, a otro tipo de variable eléctrica más fácil de manejar, lo anterior se puede lograr con un puente de Wheatstone de condensadores, o un circuito resonante, o también utilizar el condensador como componente de un oscilador a estable que varía su frecuencia de acuerdo al cambio de C.

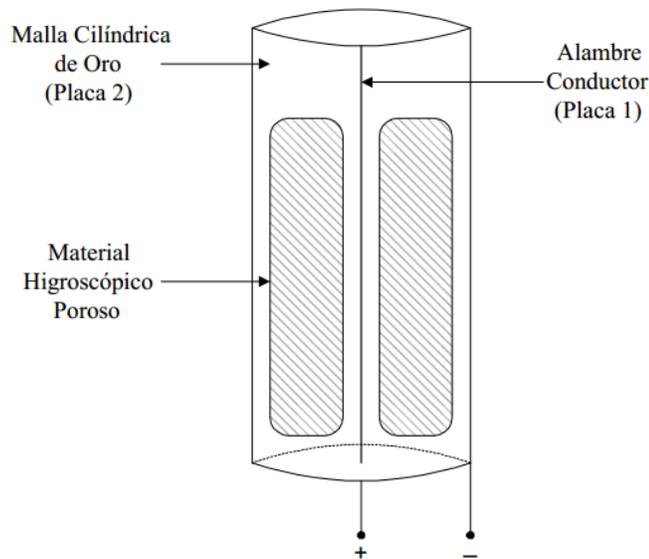


Figura 2.5. Posible construcción de un sensor capacitivo para humedad. Glaría y Kuoro (2001)

Conviene limpiar el sensor periódicamente, con el fin de no obstruir la circulación de aire a través del manto, y por ende no alterar la medición. Son robustos y tienen excelente precisión, además de operar en rangos de temperaturas de -80[°C] a 60[°C].

2.6 Termistor

En la zona de promotores, National Instruments (2010). Define a un termistor como una pieza de semiconductor hecha de óxidos de metal que están comprimidos en una pieza, disco, oblea u otra forma y son sometidos a altas temperaturas. Por último son cubiertos con epoxi o vidrio. Al igual que con los RTDs, usted puede pasar una corriente a través de un termistor para leer el voltaje

en el termistor y determinar su temperatura. Sin embargo, a diferencia de los RTDs, los termistores tienen más alta resistencia (2,000 a 10,000 Ω) y una sensibilidad mucho más alta ($\sim 200 \Omega/^{\circ}\text{C}$), permitiéndoles alcanzar más alta sensibilidad en un rango de temperatura limitado (hasta 300 $^{\circ}\text{C}$).

2.7 Redes neuronales artificiales

Nguyen et al. (2003) dicen que las redes neuronales artificiales son modelos matemáticos basados en el conocimiento del sistema nervioso biológico. Son como dispositivos de cálculo que pueden aceptar un gran número de entradas y aprender sólo de ejemplos de entrenamiento. Como modelos matemáticos para sistemas nerviosos biológicos, las redes neuronales artificiales son útiles en el establecimiento de las relaciones entre las entradas y salidas de cualquier sistema.

Según Martín (2008). Una red neuronal artificial (*RNA*) es un conjunto de unidades llamadas nodos o neuronas unidas entre sí por medio de conexiones. Cada elemento trabaja sólo con información local y asíncronamente. El conocimiento se almacena en las conexiones o pesos sinápticos. Estos pesos serán ajustados de acuerdo con los patrones de que dispongamos mediante una regla de aprendizaje. A esta parte del proceso en que la RNA aprende los patrones se le conoce como entrenamiento. El conocimiento adquirido en esta fase se refleja en unos determinados valores de los pesos sinápticos con los cuales la red debe ser capaz de generalizar, es decir, de dar la salida correcta ante una determinada entrada no vista anteriormente.

Mediante unos patrones de entrenamiento se consigue que la red aprenda, o lo que es lo mismo, que optimice sus conexiones para ser capaz de ofrecer la salida deseada ante una determinada entrada.

La implementación de las redes puede plantearse desde los dos puntos de vista:

Software: para aplicaciones sencillas, donde el tiempo de decisión no sea excesivamente elevado.

Hardware: para aplicaciones que precisen alta velocidad de decisión.

Las *RNA* son un método de resolver problemas, de forma individual o combinadas con otros métodos, para aquellas tareas de clasificación, identificación, diagnóstico, optimización o predicción en las que el balance datos/conocimiento se inclina hacia los datos y donde adicionalmente, puede haber la necesidad de aprendizaje en tiempo de ejecución y de cierta tolerancia a fallos. En este caso las *RNAs* se adaptan dinámicamente reajustando constantemente los “pesos” de sus interconexiones.

La unidad de una red neuronal artificial es un procesador elemental llamado neurona que posee la capacidad limitada de calcular, en general, una suma ponderada de sus entradas y luego le aplica una función de activación para obtener una señal que será transmitida a la próxima neurona. Estas neuronas artificiales se agrupan en capas o niveles y poseen un alto grado de conectividad entre ellas, conectividad que es ponderada por los pesos. A través de un algoritmo de aprendizaje supervisado o no supervisado, las *RNA* ajustan su arquitectura y parámetros de manera de poder minimizar alguna función de error que indique el grado de ajuste a los datos y la capacidad de generalización de las *RNA*.

Nguyen et al. (2003) dicen que una red neuronal es una colección de neuronas artificiales. Una neurona artificial es un modelo matemático de una neurona biológica en su forma más simple. Las neuronas biológicas son unidades elementales para el proceso de información en un sistema nervioso. EL modelo matemático de una neurona artificial está basado en lo siguiente:

- Las neuronas son las unidades elementales en un sistema nervioso en el cual se procesa la información.
- La información entrante está en forma de señales que se transmiten entre las neuronas a través de los enlaces de conexión.
- Cada enlace de conexión tiene un peso propio que multiplica a la señal transmitida.

- Cada neurona tiene una acción interna, en función de un umbral, resultando en una función de activación que se aplica a la suma ponderada de las señales de entrada para producir una señal de salida.

Cuando las señales de entrada x_1, x_2, \dots, x_n , alcanzan la neurona a través del enlace de conexión con pesos asociados w_1, w_2, \dots, w_n , respectivamente, la entrada resultante a la neurona, llamada red de entrada, es la suma ponderada $\sum_{i=1}^n w_i x_i$. Si el disparo es b y la función de activación es f , entonces la salida de la neurona se define por la ecuación 2.7.1:

$$y = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i - b) \quad (2.7.1)$$

En el primer modelo computacional para neuronas artificiales, las salidas eran binarias y la función f era una función escalón definida por la ecuación 2.7.2:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases} \quad (2.7.2)$$

Así que la activación de esa neurona se muestra en la ecuación 2.7.3:

$$f(\sum_{i=1}^n w_i x_i - b) = \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_{i=1}^n w_i x_i \geq b \\ 0 & \text{if } \sum_{i=1}^n w_i x_i < b \end{cases} \quad (2.7.3)$$

Esto se muestra en la Figura 2.

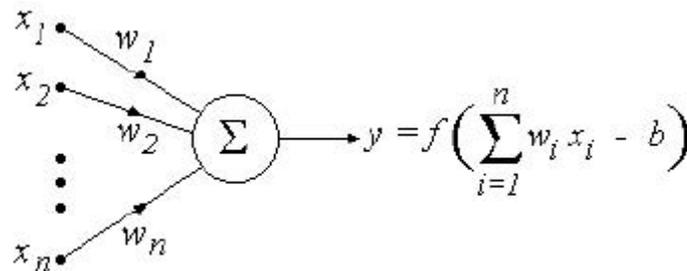


Figura 2.7.1 Primer modelo de neurona artificial. Nguyen et al. (2003)

Una neurona artificial es caracterizada por los siguientes parámetros. Ecuación 2.7.4

$$\theta = (w_1, w_2, \dots, w_n, b, f) \quad (2.7.4)$$

La activación b puede ser tratada con otro peso agregando un nodo de entrada x_0 que siempre toma el valor de entrada $x_0=+1$ y colocando $w_0=-b$ como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Con esta representación, ajustando la activación y los pesos se puede hacer de la misma manera.

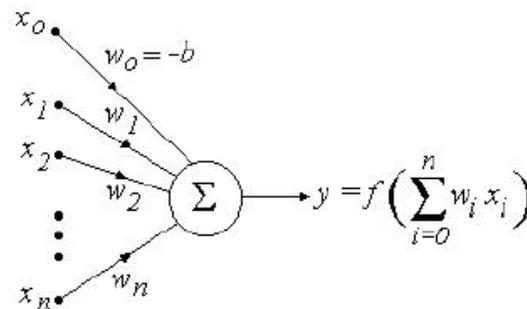


Figura 2.7.2 Neurona artificial con activación como peso. Nguyen et al. (2003)

Modelos de la Unidad de Procesamiento Elemental

McCulloch et al. (1943) concibieron un modelo abstracto y simple de una neurona artificial, este es el elemento básico de procesamiento en una red neuronal artificial. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra su esquema:

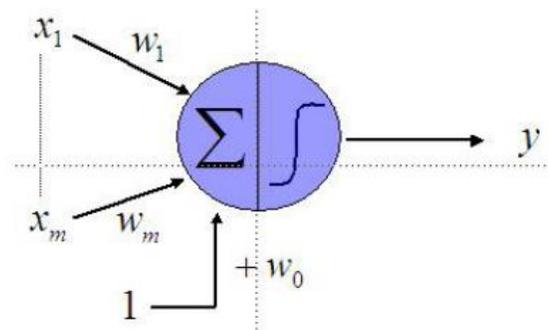


Figura 2.7.3 Esquema de una neurona artificial. McCulloch et al. (1943)

El modelo está compuesto por un vector de pesos $\underline{w} = (w_1, \dots, w_d)^T$ equivalente a las conexiones sináptica en una neurona real, w_0 es el umbral de acción o activación, el vector \underline{x} es la entrada y el escalar y la salida de la unidad. La actividad consiste en generar una única salida y a partir de la aplicación de la función de activación γ a la suma ponderada entre el valor de entrada

$\underline{x} = (x_1, \dots, x_d)^T$ y el vector de pesos $\underline{w} = (w_1, \dots, w_d)^T$ más un peso w_0 , obteniéndose la ecuación 2.7.5

$$y = \gamma(\sum_{i=1}^m w_i x_i + w_0) \quad (2.7.5)$$

Donde γ es una función no-lineal. La función propuesta por McCulloch-Pitts posee una salida binaria ± 1 conocida como la función de todo o nada que equivale a la función signo dada por la ecuación 2.7.6

$$\gamma(Z) = \text{sgn}(z) = \begin{cases} -1, & z < 0 \\ 1, & z \geq 0 \end{cases} \quad (2.7.6)$$

Otra función con salida binaria es la función escalón unitario descrita por la ecuación 2.7.7.

$$\gamma(Z) = U(z) = \begin{cases} 0, & z < 0 \\ 1, & z \geq 0 \end{cases} \quad (2.7.7)$$

Cuando se consideran neuronas con respuestas de procesamiento gradual, entonces se puede usar funciones de activación de forma lineal $\gamma(z) = z$ o de forma sigmoideal como la función logística $\gamma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$ o la tangente hiperbólica $\gamma(z) = \tanh(z)$.

2.8 Lógica difusa

Martín (2008) indica que un sistema basado en lógica difusa (*Fuzzy Logic System, FLS*) es el único tipo de sistema capaz de tratar simultáneamente con variables numéricas y con variables lingüísticas de modo formal. Las variables numéricas, que son las más habituales, pueden caracterizarse por un valor numérico, por ejemplo, la temperatura del ambiente es 35 °C. Las variables lingüísticas, sin embargo, se caracterizan por un adjetivo que las califica, por ejemplo, la temperatura del ambiente es alta.

Un *FLS* se basa en un mapeo no lineal de un vector de entrada en una tercera salida escalar. La Teoría de Conjuntos Difusos y la Lógica Difusa establecen las especificaciones de este mapeo no lineal. Un *FLS* puede expresarse matemáticamente como una combinación lineal de funciones base difusas, y es un aproximador universal no lineal de funciones, propiedad que comparte con el perceptrón multicapa. El desarrollo en funciones base difusas es muy potente porque éstas pueden obtenerse a partir de datos numéricos o bien conocimiento lingüístico; en ambos casos, se puede presentar en la forma de reglas *If-Then*.

Existen dos tipos de conocimiento sobre un determinado problema:

- Conocimiento objetivo: cuantificado habitualmente mediante modelos matemáticos. Ejemplos: ecuaciones de movimiento de robot, modelos convolucionales que describen un canal de comunicaciones, etc.
- Conocimiento subjetivo: contiene información lingüística que no es posible cuantificar mediante modelos matemáticos tradicionales. Un ejemplo de este tipo sería la siguiente regla que puede ser válida para seguir la pista de un objeto de grandes dimensiones moviéndose lentamente: Si el objeto está localizado en un lugar en un instante temporal, en el siguiente instante no estará demasiado lejos de ese lugar.

En la Figura 5.8 se representa un *FLS* ampliamente usado en controladores y aplicaciones de Procesado de señales basado en *FL*. Un *FLS* mapea entradas convencionales (no difusas) en salidas convencionales. Contiene 4 componentes: reglas, difusor, bloque de inferencia y difusor.

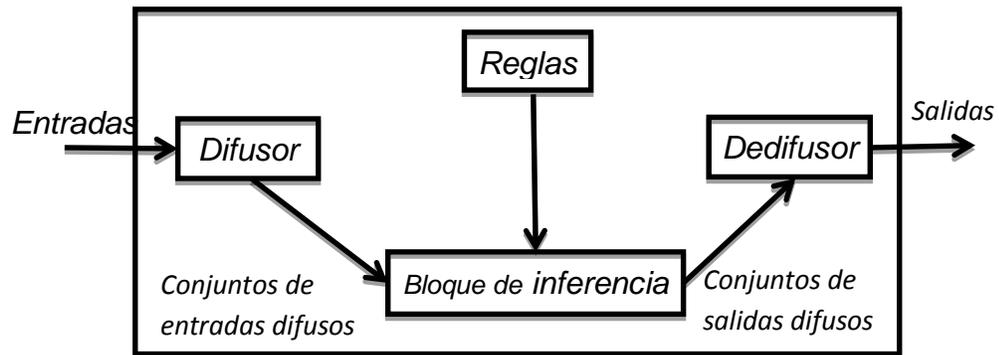


Figura 2.8 Sistema basado en Lógica Difusa (FLS). Martín (2008)

El difusor mapea números convencionales en conjuntos difusos, lo cual es necesario para activar reglas que están en términos lingüísticos, y que tienen conjuntos difusos asociados con ellas.

El bloque de inferencia mapea conjuntos difusos en conjuntos difusos y se encarga de combinar las reglas.

El dedifusor mapea conjuntos de salida en números, debido a que en muchas aplicaciones, a la salida de *FLS* se desea obtener un número. Las reglas, que pueden ser facilitadas por expertos o bien ser deducidas a partir de los datos numéricos, son una colección de sentencias *If-Then*, por ejemplo: “Si *a* está caliente y *b* está bajo, entonces gira *c* algo hacia la derecha”. Esta única regla revela que necesitamos tener conocimiento de:

1. Correspondencia entre variables lingüísticas y valores numéricos de una variable (por ejemplo, muy caliente se corresponde con 36 °C).
2. Cuantificación de variables lingüísticas (por ejemplo, *a* puede tener asociado un número finito de términos lingüísticos asociados entre

extremadamente caliente y extremadamente frío), lo cual se consigue mediante las funciones de partición.

3. Conexiones lógicas para las variables con posterioridad.
4. Implicaciones.
5. Además, será necesario conocer cómo combinar más de una regla.

2.8.1 Conjuntos difusos.

Nguyen et al. (2003) mencionan que es fácil expresar reglas en palabras, pero la noción de falta de claridad lingüística de las reglas *If-Then* deben ser representadas de una manera matemática con el fin de hacer uso de esta noción en la teoría de control.

Un subconjunto ordinario A de un conjunto X puede ser identificado con una función $X \rightarrow \{0,1\}$ de X para el conjunto de dos elementos $\{0,1\}$, ecuación 2.20.

$$A(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in A \\ 0 & \text{if } x \notin A \end{cases} \quad (2.20)$$

Esta función es llamada función característica o función indicadora del conjunto difuso A . Si A es el conjunto de números reales igualo menor a 10 y menor o igual a 40.

Las funciones miembro más utilizadas en la teoría de control son triangulares, trapezoidales, Gaussianas, y sigmoidez y funcionesS, como se muestra el a continuación.

En la **Figura 2..1** y **Figura 2.** se muestran las funciones triangular y trapezoidal respectivamente, las cuales son funciones lineales en algunas caras, son a menudo usadas en aplicaciones. La representación gráfica y operaciones con estos conjuntos difusos son muy simples. También, pueden ser construidas fácilmente en base a pequeña información.

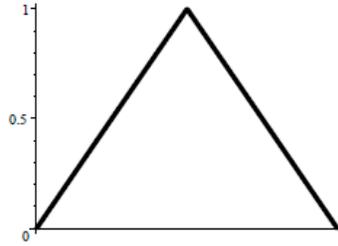


Figura 2.8.1.1 Triangular. Nguyen et al. (2003)

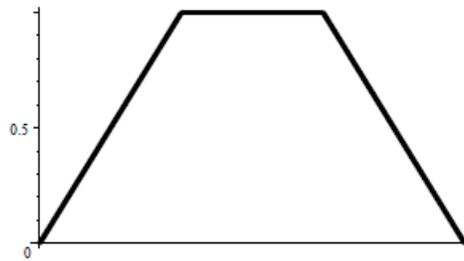


Figura 2.8.1.2 Trapezoidal. Nguyen et al. (2003)

La función triangular A con puntos finales $(a,0)$ y $(b,0)$, y un puntos de altura (c,α) es definida por la ecuación 2.21

$$A(x) = \begin{cases} \alpha \left(\frac{x-a}{c-a} \right) & \text{if } a \leq x \leq c \\ \alpha \left(\frac{x-b}{c-b} \right) & \text{if } c \leq x \leq b \\ 0 & \text{otros valores} \end{cases} \quad (2.21)$$

La función trapezoidal B con puntos finales $(a,0)$ y $(b,0)$, y puntos de altura (c,α) y (d,α) es definido por la ecuación 2.22.

$$A(x) = \begin{cases} \alpha \left(\frac{x-a}{c-a} \right) & \text{if } a \leq x \leq c \\ \alpha & \text{if } c \leq x \leq d \\ \alpha \left(\frac{x-a}{c-a} \right) & \text{if } d \leq x \leq b \\ 0 & \text{otros valores} \end{cases} \quad (2.22)$$

Cuando el dominio es finito, estos conjuntos difusos se pueden representar como en la Figura 2.8.1.3y Figura 2.8.1.4.

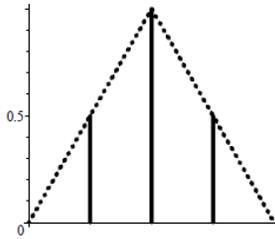


Figura 2.8.1.3 Triangular. Nguyen et al. (2003)

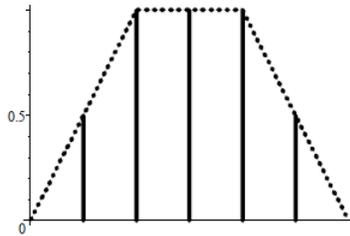


Figura 2.8.1.4 Trapezoidal. Nguyen et al. (2003)

La mayoría de los conjuntos difusos son a menudo representados en la misma gráfica, como se muestra en la **Figura 2.1.1.5**

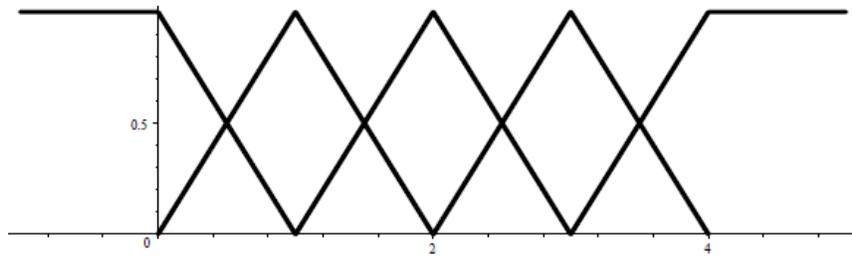


Figura 2.1.1.5 Gráfica de conjuntos difusos. Nguyen et al. (2003)

Las funciones gaussianas mostradas en la **Figura 2.2** y **Figura 2.8.1.7**, la primera conocida curva en forma de campana, es de la forma de la ecuación 2.23

$$A(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.23)$$

Estas se relacionan con la distribución Gaussiana en probabilidad y tienen útiles propiedades matemáticas.

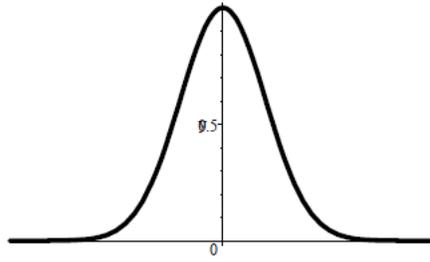


Figura 2.2 Gaussiana $e^{-\frac{x^2}{2}}$. Nguyen et al. (2003)

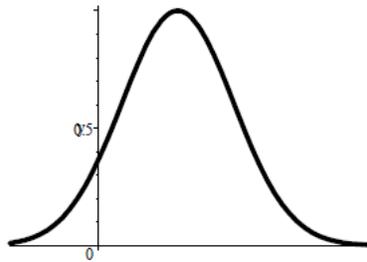
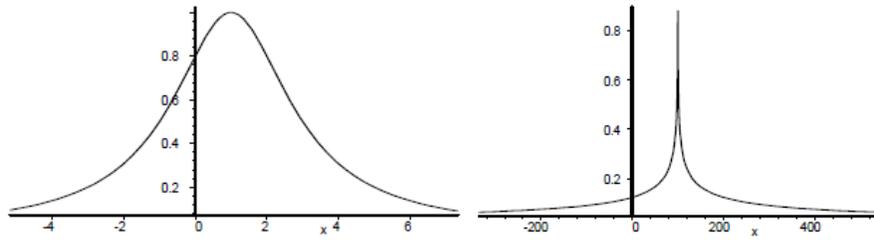


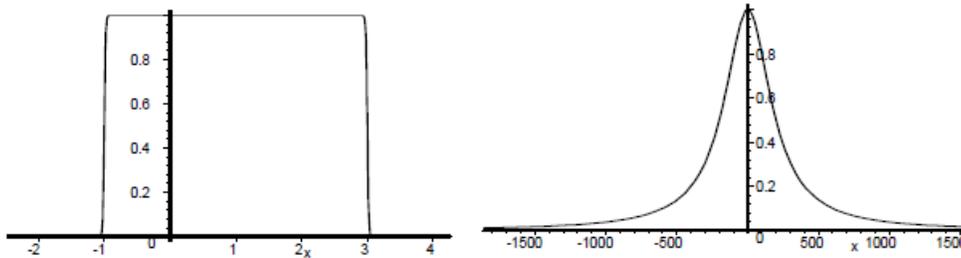
Figura 2.8.1.7 Gaussiana $e^{-\frac{(x-5)^2}{2}}$. Nguyen et al. (2003)

Los parámetros c y σ determina el centro y la forma de la curva, respectivamente. Los valores de $c=0$ y $\sigma=1$ definen la función miembro de una Gaussiana estándar $e^{-\frac{x^2}{2}}$, centrada en $c=0$, y con área bajo la curva igual a $\sqrt{2\pi}$. Esta es la curva Gaussiana mostrada a la derecha de la **Figura 2.8.1.8**

Una función de Cauchy, o curva de campana generalizada, está dada por las funciones de la forma $A(x) = 1/\left(1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}\right)$. El parámetro c determina el centro de la curva, a y b determinan su forma.



$$1/\left(1 + \left|\frac{x-1}{2}\right|^2\right) \quad 1/\left(1 + \left|\frac{x-100}{2}\right|^{1/2}\right)$$



$$1/\left(1 + \left|\frac{x-1}{2}\right|^{200}\right) \quad 1/\left(1 + \left|\frac{x-1}{200}\right|^2\right)$$

Figura 2.8.1.8 Curva de campana generalizada. Nguyen et al. (2003)

Las funciones S en la Figura 2.8.1.9 y Z en la Figura 2.8.1.10 son funciones sigmoides de la forma de la ecuación 2.24

$$A(x) = \frac{1}{1 + e^{-(x-m)\sigma}} \tag{2.24}$$

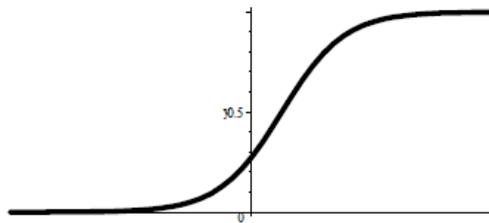


Figura 2.8.1.9 Función S $\frac{1}{1 + e^{-x+1}}$. Nguyen et al. (2003)

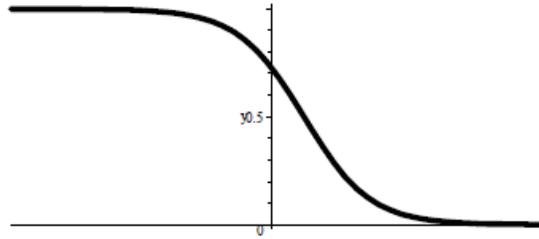


Figura 2.8.1.10 Función $Z = \frac{1}{1+e^{x-1}}$. Nguyen et al. (2003)

Los valores de σ determinan las funciones de incremento Figura 2.8.1.11 y decremento Figura 2.8.1.12 mientras que el parámetro m se desplaza hacia la derecha o izquierda de la función. Esta misma forma se puede lograr con funciones de tangente hiperbólica como se muestra en la ecuación 2.25.

$$\frac{1}{2}(1 + \tanh x) = \frac{1}{1+e^{-2x}}. \quad (2.25)$$

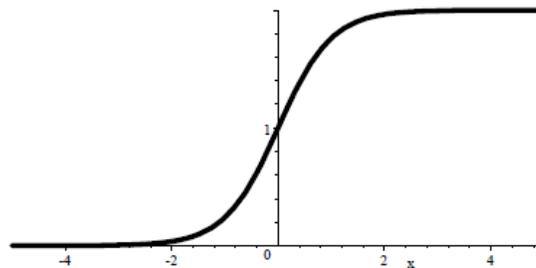


Figura 2.8.1.11 Función sigmoide incremental $1 + \tanh x$. Nguyen et al. (2003)

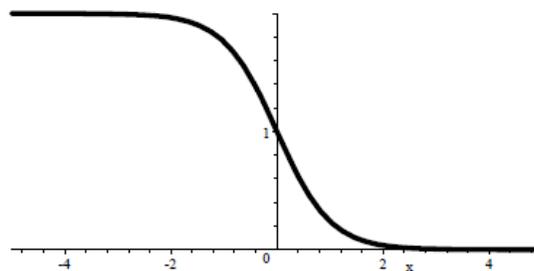


Figura 2.8.1.12 Función sigmoide decremental $1 - \tanh x$. Nguyen et al. (2003)

El producto de dos funciones sigmoides se usa a veces como se muestra en la Figura 2.8.1.13

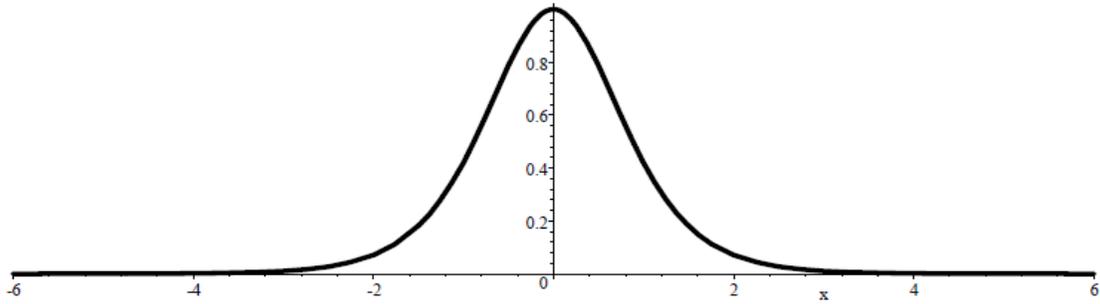


Figura 2.8.1.13 Productos de funciones sigmoides $1 - \tanh^2 x$. Nguyen et al. (2003)

2.8.2 Defusificación.

Los métodos más comunes para la combinación de reglas difusas producidas por los conjuntos difusos. En la teoría de control, una salida nítida es a menudo necesaria. Esto requiere algún proceso de defusificación para producir un número que mejor refleje al conjunto difuso en el mismo sentido. Hay muchas técnicas de defusificación. En términos generales, hay dos tipos de técnicas de defusificación, momento compuesto y máximo compuesto. “Compuesto” refleja el hecho de que los valores son obtenidos de la combinación de varios conjuntos difusos. La técnica de momento compuesto usa algunos aspectos del primer momento de inercia, y la técnica de máximo compuesto extrae un valor en el que el conjunto difuso alcanza su máximo. Los métodos de centro de área y centro nivelado de área son del primer tipo, y el criterio máximo, primer máximo, y media de máximo son métodos del segundo tipo.

2.8.2.1 Método de centro de área

El método de centro de área, o centro de gravedad, o centroide calcula el centro de área de la región bajo la curva definida por un conjunto difuso y selecciona el primer componente. Si C es el conjunto difuso en cuestión y C es integrable, entonces el valor defusificado de C por este método está dado por la ecuación 2.8.1.

$$z_0 = \frac{\int_a^b zC(z)dz}{\int_a^b C(z)dz} \quad (2.8.1)$$

Donde $[a, b]$ es un intervalo contenedor del soporte de C . Si el soporte de C es finito, el cálculo está dado por la ecuación 2.8.2.

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n z_j C(z_j)}{\sum_{j=1}^n C(z_j)} \quad (2.8.2)$$

2.8.2.2 Método de centro nivelado de área.

El método de defusificación de centro nivelado de área ignora valores del conjunto difuso por debajo de algún nivel α , entonces usa el método de área en la curva resultante.

2.8.2.3 Método de primer máximo

El primer máximo toma los valores más pequeños en el dominio en el cual el conjunto difuso asume su máximo.

2.8.2.4 Método de criterio de Max

Este método escoge un valor arbitrario del conjunto de valores en el dominio en el cual el conjunto difuso obtiene su máximo.

Un conjunto difuso puede ser considerado como una posible distribución de las variable z . De la muestra común, podemos tomar z_0 para tener un valor en el cual el grado de posibilidades es la más alta. Esto es el método de defusificación mediante el criterio de máx.

2.8.2.5 Método de máximo promedio

El máximo promedio, toma el promedio de los más pequeños y largos valores en el dominio en el cual el conjunto difuso asume su máximo.

Este método parece débil, sin embargo, para un conjunto difuso con dos niveles máximos separados es adecuado.

2.9 Redes neuro-difusas.

Lozano et al. (2003) dicen que las redes neuro-difusas son sistemas que incorporan aspectos de las redes neuronales en el sentido de que son sistemas con la capacidad de aprender y generalizar, y aspectos de la lógica difusa ya que trabajan con razonamientos lógicos basados en reglas de inferencia que incorporan la posibilidad de trabajar con variables lingüísticas.

Las redes neuronales son un conjunto de algoritmos matemáticos que encuentran las relaciones no lineales entre conjuntos de datos. En general las redes neuronales tratan de resolver de forma eficiente problemas que pueden encontrarse dentro de tres amplios grupos: optimización, reconocimiento y generalización. Estos tres tipos engloban un elevado número de situaciones, lo que hace que el campo de aplicación de las redes neuronales sea muy amplio. Suelen ser utilizadas como herramientas para la predicción de tendencias y como clasificadoras de conjuntos de datos.

La red neuronal una vez construida constituye un verdadero modelo a “la medida” que actúa en función de lo que percibe y genera conclusiones a la vista de la relación de causa a efecto obtenida de las descripciones introducidas y, de ésta manera, facilita predicciones con un importante grado de exactitud. Actualmente existe una gran cantidad de propuestas de combinación de la capacidad de aprendizaje de las redes neuronales y del procesamiento de información imprecisa de la lógica difusa, de forma que entre ambas se establece una relación bidireccional haciendo posible, por ejemplo, utilizar redes para optimizar ciertos parámetros de los sistemas borrosos, así como aplicar la lógica borrosa para modelar un nuevo tipo de neurona especializada en el procesamiento de información de este tipo.

Por otra parte, Martín (2008) establece que la Teoría de Conjuntos Difusos es un método sistemático para trabajar con información lingüística, pudiéndose interpretar la computación numérica usando etiquetas lingüísticas estipuladas por las funciones de partición. Además, una selección adecuada de reglas *If-Then* es

el componente primordial de un Sistema de Inferencia Difuso o *Fuzzy Inference System (FIS)* que permite modelar el conocimiento experto humano para una aplicación específica. Aunque un *FIS* tiene la representación del conocimiento estructurada en forma de regla *If-Then*, carece de la adaptabilidad necesaria para cambiar cuando se modifiquen las condiciones externas. Por esta razón, se incorporan conceptos del aprendizaje de las *RNAs* a los Sistemas de Inferencia Difusos, cuyo resultado es un nuevo tipo de topologías conocidas como redes neuro-difusas (*RNDs*)

2.9.1 Características de las redes neuronales-difusas

Martín (2008) menciona que las redes neuro-difusas tienen fundamentalmente las siguientes características:

1. Conocimiento humano: se utiliza en forma de reglas *If-Then* para solucionar problemas reales.
2. Inspiración en modelos biológicos: inspiradas por las redes neuronales biológicas, las *RNAs* son un pilar básico de las *RNDs*, permitiendo tratar con problemas de percepción, reconocimiento de patrones o clasificación.
3. Computación numérica: la computación es básicamente numérica, aunque la perspectiva futura apunta hacia una computación simbólica más cercana a la Inteligencia Artificial (*IA*).
4. Diversos dominios de aplicación: procesado adaptativo de señales, control adaptativo, identificación de sistemas no lineales, regresión no lineal, reconocimiento de patrones, etc.
5. Aprendizaje libre de modelos: las reglas se obtienen a partir de los datos numéricos.
6. Computación intensiva: sin asumir un conocimiento a priori del problema, las *RNDs* dependen mucho de una computación intensiva que permita encontrar reglas o cualquier tipo de regularidad en conjuntos de datos.
7. Tolerancia a fallos: tanto las *RNAs* como los *FISs* tienen tolerancia a fallos. La supresión de una neurona en una *RNA* o de una regla en un *FIS*, no tiene por qué destruir el sistema. En realidad, el sistema continúa

trabajando debido a su arquitectura paralela y redundante aunque se va deteriorando gradualmente.

8. Distintos caminos para alcanzar el mínimo: se puede llegar al mínimo error por diversos caminos. De hecho, esto no es posible en la medida en que el sistema vaya acercándose hacia el mínimo.
9. Muy indicadas en la resolución de problemas reales: la mayoría de los problemas reales son de una magnitud considerable y se construyen sobre afirmaciones que no se conocen con total certeza. Esto excluye, por tanto, la utilización de métodos convencionales que requieren una descripción detallada del problema a resolver. Las *RDNs* permiten tratamientos que dan soluciones satisfactorias a los problemas del mundo real. De hecho, el campo de aplicación de estos sistemas crece constantemente, aplicándose a nuevas situaciones donde no se han obtenido resultados positivos con otros métodos.

3 Metodología

El desarrollo de éste trabajo se realiza mediante la integración de las variables de temperatura, humedad e iluminación tratadas en tesis anteriores; Primero se atendió la parte de la instrumentación del fitotrón, fue instalado un sistema de aire acondicionado para mejorar la respuesta en la variable de temperatura y se instalaron ocho luminarias LED (Light emitting diode, Diodo emisor de luz) de alta intensidad que sustituyeron al conjunto de luminarias fluorescentes e incandescentes con las que se había venido trabajando, logrando con esto menor influencia en la variable de temperatura, un flujo luminoso más uniforme y mayor intensidad luminosa dentro del recinto. Se revisaron tarjetas de optoacoplamiento y se realizó la caracterización de los sensores con el fin de volver a poner cada señal en su modo funcional, posteriormente se aplicaron métodos de adquisición de datos y de sintonización de señales en forma individual y en conjunto para estudiar el comportamiento de las variables y se retomaron técnicas de control difuso aplicadas en la manipulación de controladores multivariable las cuales fueron utilizadas para diseñar el controlador maestro del fitotrón integrándolo junto con los módulos restantes para su funcionamiento en un FPGA. Cerrando la investigación con la implementación y evaluación del sistema alternativo de energía solar propuesto como fuente alternativa de corriente directa para alimentar los componentes electrónicos encargados de controlar el sistema.

En la figura 3.0 y 3.1 se muestra de forma general la metodología utilizada en la realización de éste trabajo, se utilizaron dos secciones, en la sección 1, (Figura 3.0) se hace notar gráficamente la distribución de la energía, colocando como fuente emergente de alimentación a la energía solar, la cual suministrará energía a todos los componentes que necesiten baja potencia para su funcionamiento como sensores y tarjeta de control, abarcando también parte de los componentes actuadores que necesitan mayor potencia para funcionar como lo son el humidificador, las resistencias calefactoras y las luminarias led, dejando en claro

que al trabajar con la fuente alterna de energía solar no se contemplarían los actuadores tales como deshumidificador y aire acondicionado debido a su poco uso y a su alta demanda de corriente respectivamente.

La sección 2 (Figura 3.1) muestra a groso modo la interacción de los componentes principales los cuales conforman un lazo cerrado de control en donde un usuario establece las referencias de iluminación, temperatura y humedad, posteriormente son comparadas dentro del controlador con las señales acondicionadas de los sensores para tomar una acción de control y efectuar la acción mediante una etapa de optoacoplamiento, que pondrá a trabajar los actuadores para regular el clima dentro del fitotrón con el objetivo de que los valores de las señales de referencia y las señales censadas en el interior del fitotrón sean iguales, manteniendo así un clima regulado de acuerdo a las necesidades del usuario.

Actuadores y Sensores: Se tendrán tres tipos de sensores dentro del fitotrón para medir respectivamente temperatura, luminosidad y humedad los cuales entregarán una señal analógica que posteriormente será acondicionada para manipularla de acuerdo a parámetros establecidos. Los actuadores como ventiladores, extractores, humidificador, deshumidificador y lámparas de diferentes tipos serán los encargados de ejecutar las tareas de acuerdo a las señales recibidas, analizadas y manipuladas por el control maestro. Estos actuadores se estarán colocados también dentro del fitotrón de forma estratégica de acuerdo a la respuesta mostrada al estar realizando las pruebas correspondientes.

Acondicionamiento de señales: Este bloque incluye las etapas de amplificación y filtrado por las que tienen que pasar las diversas señales analógicas provenientes de los sensores de temperatura, iluminación y humedad, para ser ajustadas a los rangos de operación de la unidad DRC (por las siglas de Distributed Reconfigurable Controller) para su buen análisis.

Optoacoplamiento de señales: es la etapa que aísla y une ópticamente la etapa de control y la etapa de potencia, es decir, es la etapa que envía la señales controladas (PWM/ON-OFF) provenientes de la unidad DRC y es la etapa que recibe esas señales de control para cerrar el circuito de potencia al que están conectados los actuadores.

Unidad DRC o tarjeta de control: Se hizo uso de un controlador distribuido reconfigurable DRC (por las siglas de Distributed Reconfigurable Controller), el cual es una plataforma de hardware que se resume en la unión de una unidad de micro-posicionamiento MPU (acrónimo en inglés de Micro-processing Unit) basada en tecnología FPGA, la cual está dedicada exclusivamente a las tareas de procesamiento de datos, con un sistema para interconexión de medios SIM (Siglas en inglés de, System for Interconnection of Media), siendo una tarjeta que contiene todos los elementos necesarios para conectar el MPU con el mundo real como convertidores ADC (analog-to-digital converter) o DAC (digital-to analog converter); conformando, entonces, una unidad completa de procesamiento en tiempo real con capacidad de monitoreo y control (Morales et al., 2010) desarrollada por el grupo de mecatrónica de la Universidad Autónoma de Querétaro, campus San Juan del Río – Facultad de Ingeniería. En el bloque FPGA se integran los módulos del controlador maestro para el procesamiento digital de las señales en hardware (o HSP por las siglas en inglés de Hardware Signal Processing), donde se tiene como entrada las señales de humedad, iluminación y temperatura adquiridas, muestreadas y convertidas por el módulo MPU, para dar salida a una señal de control ya sea tipo ON-OFF o modulada con un PWM (Pulse Width Modulation, modulación por ancho de pulso) (Ver figura 3.1) para emitir de forma conveniente las señales hacia los actuadores de acuerdo a los parámetros establecidos por el usuario.

Interfaz de usuario: Se trata de una comunicación basada en el protocolo estándar USB (Universal Serial Bus, bus universal en serie) que el usuario debe tener con la tarjeta moduladora del sistema a fin de establecer los puntos de referencia deseados en cuanto a temperatura, iluminación y humedad.

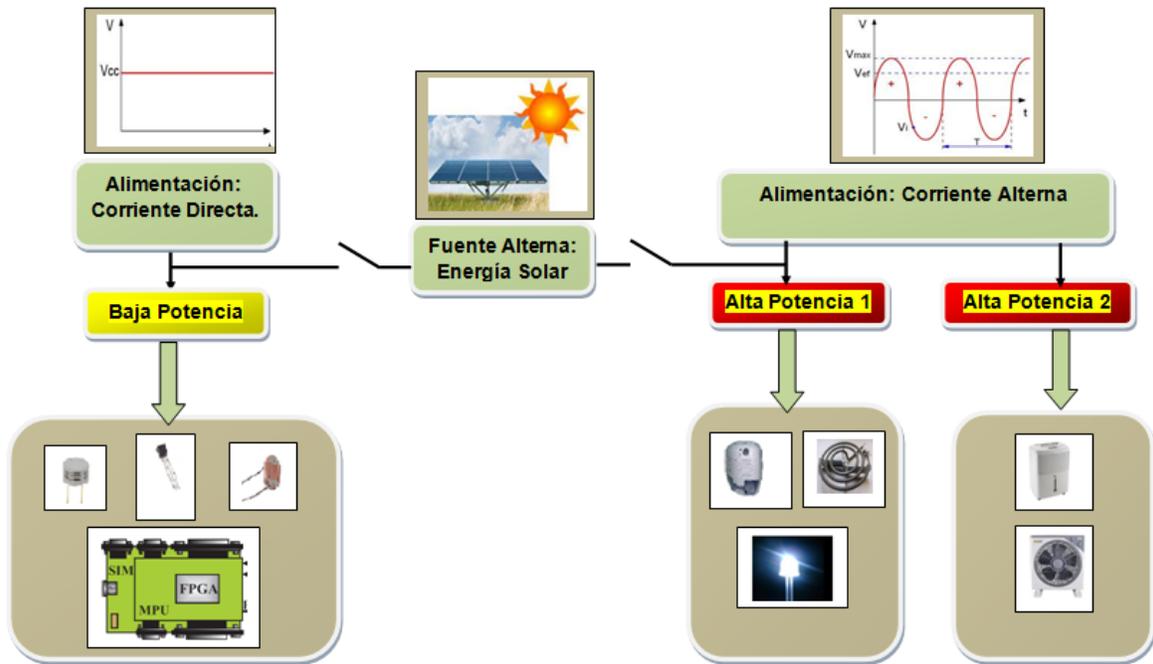


Figura. 3.0. Diagrama general acerca de la distribución de la energía

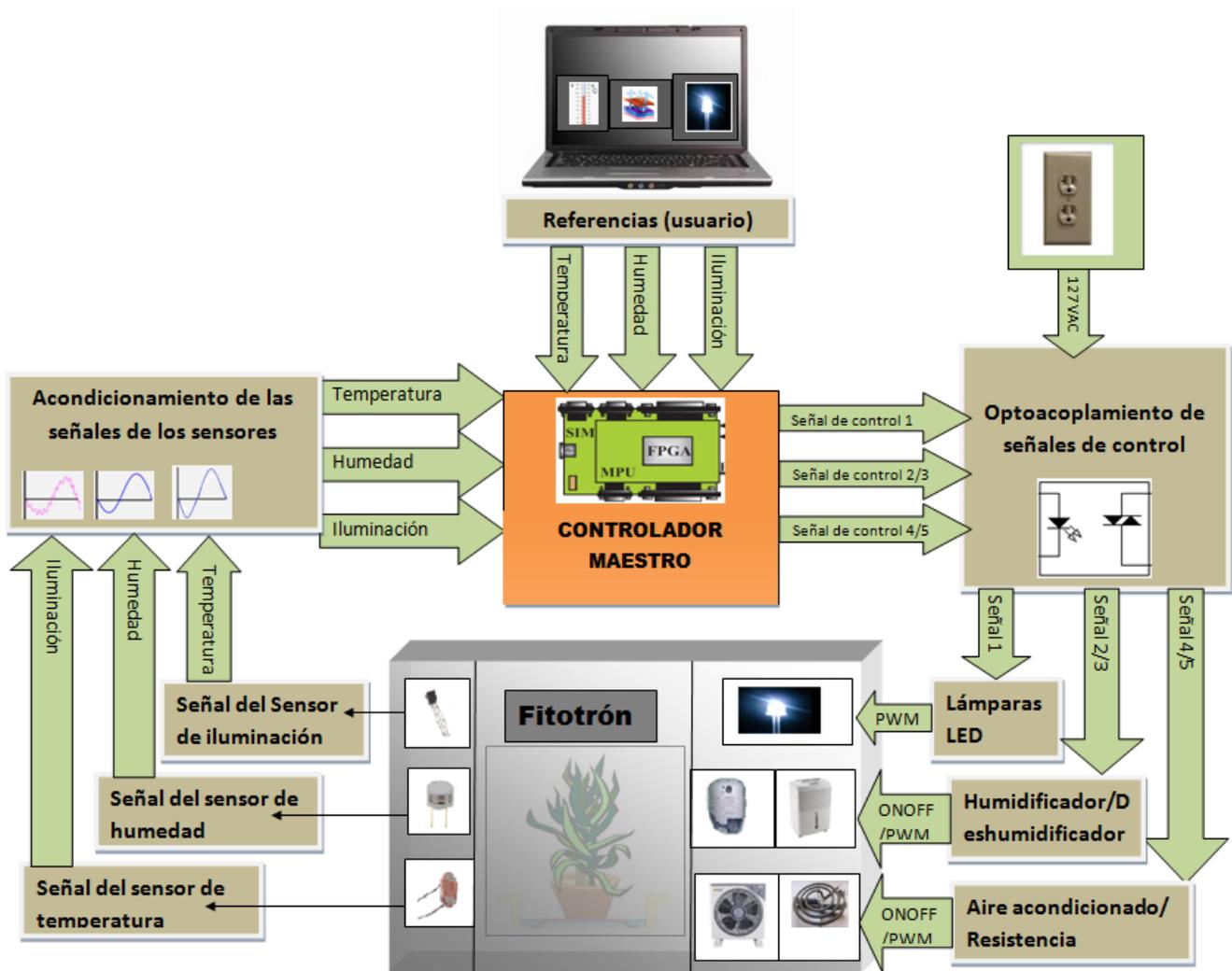


Figura. 3.1. Diagrama general de interacción entre los componentes

3.1 Sistema emergente basado en energía solar

3.1.1 Descripción de los elementos

Para la implementación del sistema emergente de alimentación basado en energía solar se cuenta con 4 paneles solares con modelo KC130TM de la marca KYOCERA, 4 baterías para aplicaciones fotovoltaicas de 12VCD marca CALE a 115AH, 4 reguladores automáticos de carga con modelo GPC-12-20-KM para 12VCD/20Amperes y un inversor de voltaje de 12VCD a 120VCA para 1500Watts de potencia.



Figura. 3.1.1.1 paneles solares KYOCERA KC130TM



Figura. 3.1.1.2 batería de aplicaciones fotovoltaicas para 12VCD marca CALE



Figura. 3.1.1.3 controlador automático de carga modelo GPC-12-20-KM



Figura. 3.1.1.4 inversor de voltaje DC-AC, intelligent 12VCD-120VCA / 1500W.

3.1.2 Metodología de conexión para la implementación de la energía solar.

Para trabajar en la implementación del sistema emergente basado en energía solar es necesario saber conectar los elementos involucrados a partir de un esquema gráfico que nos muestre como hacerlo. La figura 3.1.2.1 nos permite comprender mejor como es que se realizarán las conexiones correspondientes y los equipos que serán involucrados para que el sistema funcione adecuadamente



Figura 3.1.2.1 conexiones entre los elementos involucrados para el correcto funcionamiento del sistema basado en energía solar

3.2 Instrumentación del fitotrón

3.2.1 Sistema de refrigeración

Para la instalación del sistema de refrigeración fue necesario quitar todos los componentes que había en el interior del fitotrón con el objetivo de facilitar la maniobra, un proveedor externo se encargó de la parte técnica, el sistema cuenta con un motocompresor de 0.25 H.P (figura 3.2.1.1 a)) quien inicia la acción de refrigeración y dos ventiladores en el interior del fitotrón (figura 3.2.1.1 b)) para distribuir uniformemente la temperatura logrando bajar las condiciones climáticas de 40°C a 10°C.



a)



b)

Figura. 3.2.1.1 a) Motocompresor con difusor de calor, b) evaporador en el interior del fitotrón

3.2.2 Lámparas LED

Como fuente de luz artificial fueron usadas 8 lámparas modelo PL14-LED-DCU-AC-S marca ISB (Sola Basic) de 40watts a 35volts de corriente directa con gabinetes empotrables de 440 leds de alta intensidad (figura 3.2.2.1). Este tipo de lámparas fueron utilizadas después de comprobar que alcanzan una mayor cantidad de lúmenes con mucho menor potencia, alcanzando unos 6920 lúmenes totales en el interior del recinto, logrando una menor pérdida de energía y de calor lo cual ayuda para que la variable de temperatura se vea menos afectada por la variable de luminosidad obteniendo un control más preciso tanto en la variable de temperatura como en la de iluminación y con el menor tiempo de respuesta posible. Además de que el trabajar únicamente con luminarias led sin tener que combinar con otro tipo de luz como en casos anteriores en los que se había trabajado con fluorescentes e incandescentes, hace posible que el espectro de luz dentro del recinto sea más uniforme para el crecimiento de las plantas u organismos vivos.



Figura 3.2.2.1 Instalación de lámparas LED en el interior del fitotrón.

3.2.3 Humidificador

. Para generar humedad dentro del recinto, se utilizó un humidificador modelo BWM401-LA013 de vapor caliente, marca BIONAIRE (figura 3.2.3.1) el cual funciona con 127VCA/3A con una capacidad de salida de 11litros de niebla cálida por cada 24hrs de funcionamiento, alcanzando fácilmente los 90% de humedad relativa para el interior del fitotrón



Figura 3.2.3.1 Humidificador en el interior del fitotrón.

3.2.4 Des-humidificador

Como actuador para quitar la humedad dentro del recinto, se utilizó un mini des-humidificador modelo BMD100-LA013 para interiores, marca BIONAIRE (figura 3.2.4.1) el cual funciona con 12VCD/3A con una capacidad de 1500ml de vapor condensado para evitar el exceso de humedad en el aire.



Figura 3.2.4.1 Des-humidificador en el interior del fitotrón.

3.2.5 Resistencias calefactoras

Para calentar el aire se utilizaron dos resistencias de parrilla eléctrica de 635W cada una (ver figura 3.2.5.1), las cuales fueron alargadas y conectadas en serie para distribuir uniformemente el calor a lo largo del recinto y disminuir la corriente demandada para poder incluirlas al trabajar con la fuente emergente de energía solar

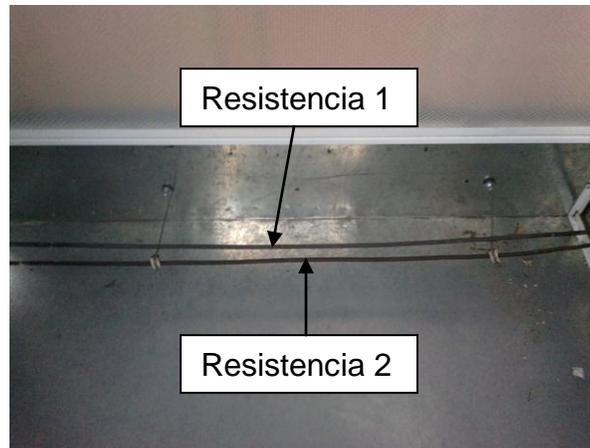


Figura 3.2.5.1 Resistencias calefactoras en el interior del fitotrón.

3.2.6 Sensor de Humedad

Para medir el porcentaje de humedad relativa en el fitotrón, se utilizó el sensor de humedad se utilizó el sensor HIH 4000-002 de HONEYWELL (figura 3.2.6.1) que es un sensor capacitivo con salida de voltaje lineal, presenta un voltaje de 4V correspondiente a 100% de humedad y 0% de humedad corresponde a un offset de 0.958V (ver figura 3.2.6.2), este sensor tiene una tolerancia de $\pm 2\%$ operando a temperaturas que van de los -4 a los 85°C.



Figura 3.2.6.1 Sensor de humedad HIH 4000-002

HIH-4000 Series

Figure 3. Typical Output Voltage vs Relative Humidity (At 25 °C and 5 V.)

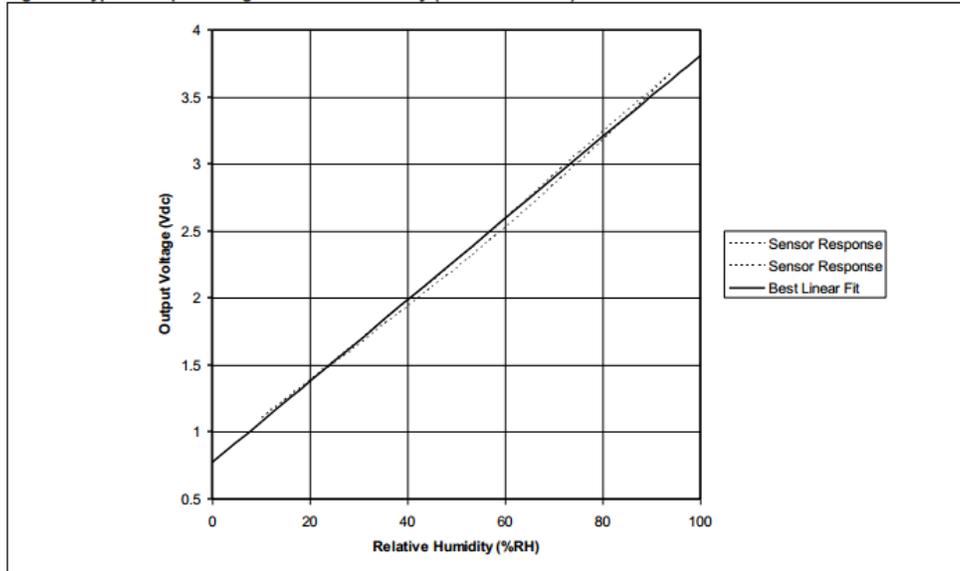


Figura 3.2.6.2 salida de voltaje vs humedad relativa

3.2.7 Sensor de iluminación

El nivel de intensidad luminosa fué censado a partir de un LDR VT90N1 de la marca PerkinElmer optoelectronics (figura 3.2.7.1). Debido a que un LDR es una resistencia que varia su valor dependiendo la intensidad luminosa recibida, éste sensor fue usado como resistencia variable en un divisor de voltaje con 12VCD de entrada y con rangos de salida de 0 a 5VCD para 0 y 6920 luxes respectivamente. Para una mejor comprensión, éste divisor de voltaje será detallado de manera más amplia en la sección de acondicionamiento de señales.



Figura 3.2.7.1 Sensor de iluminación LDR VT90N1

3.3 Acondicionamiento de señales

En este apartado se explica cómo fueron acondicionadas las señales de cada uno de los sensores para ser adecuadamente interpretadas por la tarjeta de control, sabiendo que las entradas analógicas de ésta son de $\pm 10V$ a 16 bits.

3.3.1 Señal de humedad

Al tener un sensor de humedad con salida de voltaje lineal dependiendo de la humedad relativa en el aire no fue necesario hacer ningún tipo de caracterización extra, por lo que se conectó de acuerdo a la figura 3.3.1.1 tomada de la hoja de datos del sensor.

Figure 6. Typical Application Circuit

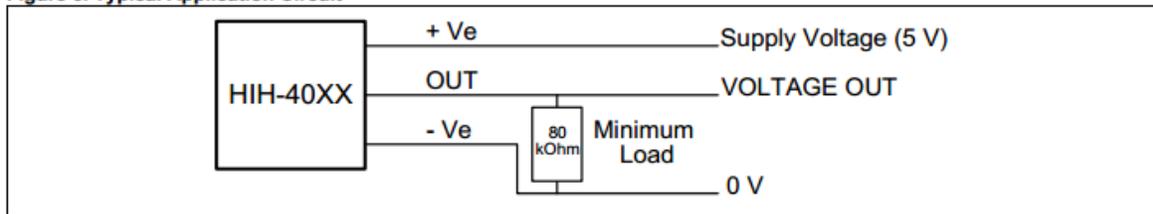


Figura 3.3.1.1 circuito de aplicación típica para el sensor de humedad

De acuerdo a la figura 3.1.6.1 se puede ver que el sensor nos entrega un voltaje 0.8V para una humedad relativa igual a 0 y un voltaje de 3.8V para un 100% de HR (humedad relativa), por lo tanto vemos que la diferencia para hacer coincidir los límites mínimos y que quede un voltaje de 0V a 0% de humedad relativa es de 0.8V por lo que el límite máximo quedaría de 3V a 100% de humedad relativa, posteriormente se compensa la diferencia, es decir:

3V.....100%RH

3.8V.....126.66%RH

Por lo tanto se le deben restar 26.66 para que los 100% de HR generen los 3.8V marcados en la tabla, sabiendo esto, la ecuación queda como sigue.

$$\%HR = \left[\frac{\text{voltajesensor} * 100}{3V} \right] - 26.66$$

Corroboramos para un voltaje del sensor igual a 2V

$$\%HR = \left[\frac{(2V * 100)}{3V} \right] - 26.66 = 40$$

Verificando en la gráfica de la figura 3.1.6.1, se observa claramente que para un voltaje de 2V el porcentaje de humedad relativa es del 40%

Como el valor del sensor será interpretado por la tarjeta a modo de 16bits con rangos de $\pm 10V$ tenemos que en valor decimal, de -10 a +10V el rango abarcará de -32767.5 a 32767.5, para +10V el rango será de 0 a 32767.5 y para 3V será de 9830.25.

Finalmente la ecuación para que el controlador interprete adecuadamente la lectura del sensor de humedad como porcentaje de humedad relativa de 0 a 100% queda de la siguiente forma:

$$\%HR = \left[\frac{\text{lecturasensor} * 100}{9830} \right] - 26.66$$

Así el usuario podrá dar referencias de 0 a 100% de humedad relativa y el controlador tendrá voltajes de entrada generados por el sensor de humedad (dependiendo la humedad en el interior del fitotrón), que a su vez serán traducidos en porcentajes de humedad relativa para hacer la comparación de las señales y generar la acción de control activando el actuador de humedad correspondiente

3.3.2 Señal de temperatura

En este caso, al igual que el anterior, tenemos que el sensor de temperatura utilizado también es lineal y entrega 10mV por cada °C, es decir que cuando tenemos 25°C, el voltaje de entregado será de 250mV, vemos que aunque es lineal, este sensor necesita una etapa de amplificación para que entregue valores más altos y poder ser interpretados adecuadamente por la tarjeta de control. De acuerdo a parámetros y especificaciones del sistema, se tiene que el interior del recinto no sobrepasará los 50°C ya que a esta temperatura las plantas prácticamente dejan de ser organismos vivos, así que se realizaron los cálculos de amplificación para que a 50°C se tengan 5V de entrada, suficientes para ser interpretados por el controlador, de este modo decimos que el amplificador tendrá una ganancia de 10. Se optó por una configuración de amplificador no inversor debido a que es de las más sencillas y se adapta perfectamente a lo que queremos.

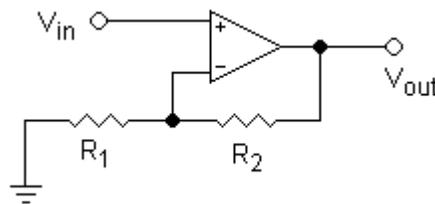


Figura 3.3.2.1 circuito amplificador configuración no inversor

Una vez teniendo el diagrama de configuración se calcularon los valores de las resistencias de acuerdo a la siguiente figura

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Figura 3.3.2.2 fórmula para calcular el voltaje de salida en configuración no inversor.

Proponiendo una resistencia de 1Kohm como R1 y sabiendo que $V_{out} = 5V$ y que $V_{in} = 0.5V = 50^{\circ}C$, por simple deducción, tenemos que R2 debe ser igual a 9Kohm para tener una ganancia de 10 en nuestro amplificador. Posteriormente se realizó el circuito físico utilizando un circuito integrado amplificador LM324, conectando la salida del sensor al amplificador como sigue

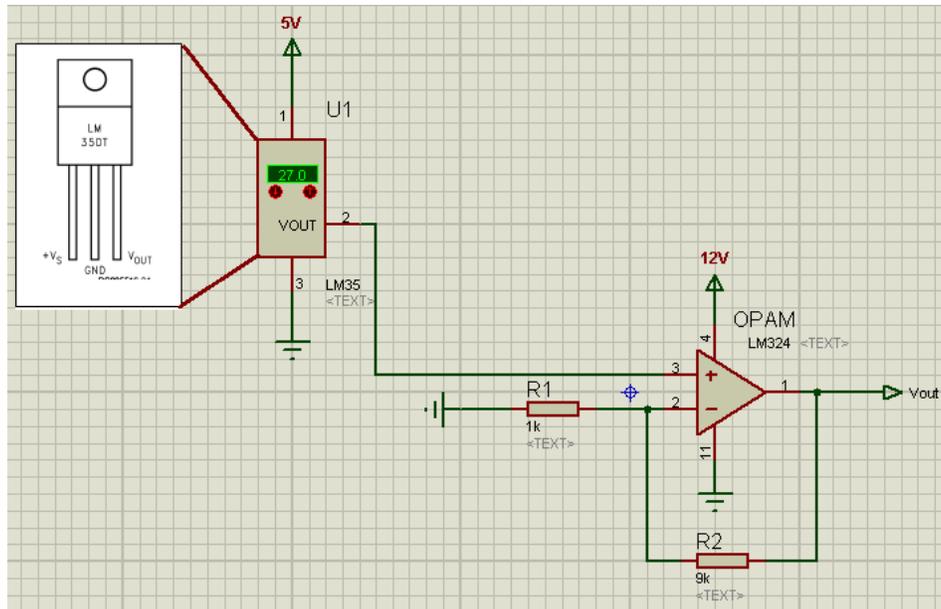


Figura 3.3.2.3 Im35 conectado a OPAM Im324 en configuración no inversor con ganancia de 10

Una vez pasando por la etapa de amplificación, al igual que el sensor de humedad, el valor del sensor de temperatura será interpretado por la tarjeta a modo de 16bits con rangos de $\pm 10V$ teniendo que en valor decimal, de -10 a +10V el rango abarcará de -32767.5 a 32767.5, para +10V el rango será de 0 a 32767.5 y para 5V será de 16383.75.

Finalmente la ecuación para que el controlador interprete adecuadamente la lectura del sensor de temperatura como unidades en $^{\circ}C$ hasta los $50^{\circ}C$ queda de la siguiente forma:

$$\text{Temperatura en } ^\circ\text{C} = [(lecturasensor * 50) / 16383]$$

Así el usuario podrá dar referencias de 0 a 50°C de temperatura y el controlador tendrá voltajes de entrada generados por el sensor de temperatura (dependiendo la temperatura interior en el fitotrón), que a su vez serán traducidos en grados centígrados para hacer la comparación de las señales y generar la acción de control activando el actuador de temperatura correspondiente.

3.3.3 Señal de iluminación

Debido a que el sensor de iluminación en este caso, un LDR, por si solo no genera voltaje, fue necesario el diseño de un divisor de voltaje de modo que variara su voltaje de salida de 0 a 5V dependiendo la resistencia del LDR.

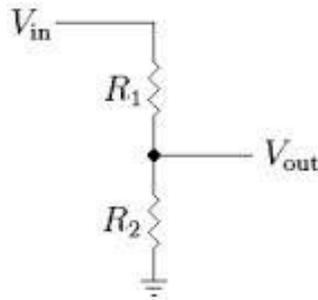


Figura 3.3.3.1 divisor de tensión común.

Para saber el valor de la resistencia LDR con las luminarias encendidas, se realizó la medición directamente del sensor con el multímetro en modo ohmetro, colocando el sensor en el interior del recinto y encendiendo las lámparas a toda su capacidad, a lo cual el LDR alcanzó 410ohms.

Sabiendo que debemos obtener 5V cuando las lámparas estén encendidas a su máxima capacidad, es decir el LDR arroje valores de 410ohms y considerando que el voltaje de entrada será de 12V, solo resta calcular el valor de R2 para tener completo nuestro divisor de voltaje.

La fórmula general para el divisor de voltaje es

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Por lo tanto

$$R_2 \approx 294\Omega,$$

Finalmente, el circuito de acondicionamiento para generar voltajes de 0 a 5V dependiendo de la cantidad de luz en el interior del fitotrón, se muestra en la siguiente figura

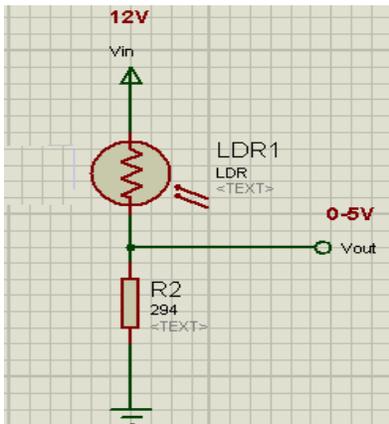


Figura 3.3.3.2 circuito divisor de tensión con LDR usado para fitotrón.

Una vez que se tuvieron voltajes de 0 a 5V dependiendo la intensidad luminosa en el interior del fitotrón, se generó la tabla 3.3.3.1, la cual se obtuvo regulando la

intensidad de las luminarias LED, midiendo 10 niveles de intensidad luminosa con la ayuda de un luxómetro y verificando la tensión de salida correspondiente en nuestro divisor de tensión.

%pwm lámparas LED	Vout en divisor de tensión	Conversión de voltaje a número en decimal	Intensidad luminosa (luxes)
100	5.223	65535	6920
90	5.134	3364.5669	6560
80	4.939	3236.77365	5770
70	4.7	3080.145	5000
60	4.453	2918.27355	4270
50	4.17	2732.8095	3560
40	3.838	2515.2333	2860
30	3.44	2254.404	2200
20	2.98	1952.943	1570
10	2.39	1566.2865	970
0	0	0	002

Tabla 3.3.3.1 tensión de salida vs intensidad luminosa en el interior del fitotrón.

3.4 Optoacoplamiento de las señales de control

Debido a que la señal de control hacia los actuadores es una señal digital de 5VCD y a que los actuadores trabajan con 127VCA ó 35VCD en el caso de las lámparas LED, fue necesario adaptar una etapa de optoacoplamiento para cada uno de los actuadores involucrado en el sistema, esto es, aislar el circuito de control del circuito de potencia mediante un optoacoplador.

Un optoacoplador es un dispositivo que aísla ópticamente dos etapas, haciendo que la luz emitida por un diodo LED (que funciona con bajos voltajes de corriente directa) actúe como interruptor entre una etapa y otra, saturando un componente

optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac que conduce voltajes y corrientes superiores sean de corriente alterna o de corriente directa.

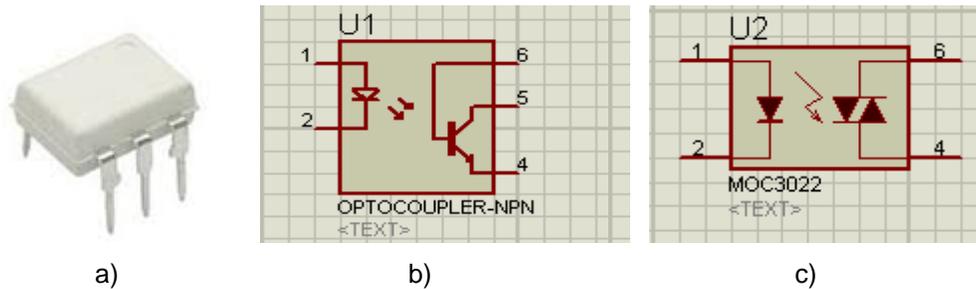


Figura 3.4.1 a) optoacoplador, b) circuito interno optoacoplador salida optotransistor, c) circuito interno optoacoplador salida optotriac.

Como los actuadores para la variable de temperatura y humedad, es decir humidificador, deshumidificador, aire acondicionado y resistencias calefactoras trabajan con 127VCA a no más de 9A de carga, se diseñaron cuatro circuitos de optoacoplamiento iguales, en donde cada circuito está conformado principalmente por un optoacoplador MOC3022 que cuenta con salida optotriac, en conjunto con un triac BTA16 para soportar voltajes de hasta 220VCA a una corriente máxima de 16A, quedando el circuito para cada actuador de humedad y temperatura como se muestra en la figura 3.4.2.

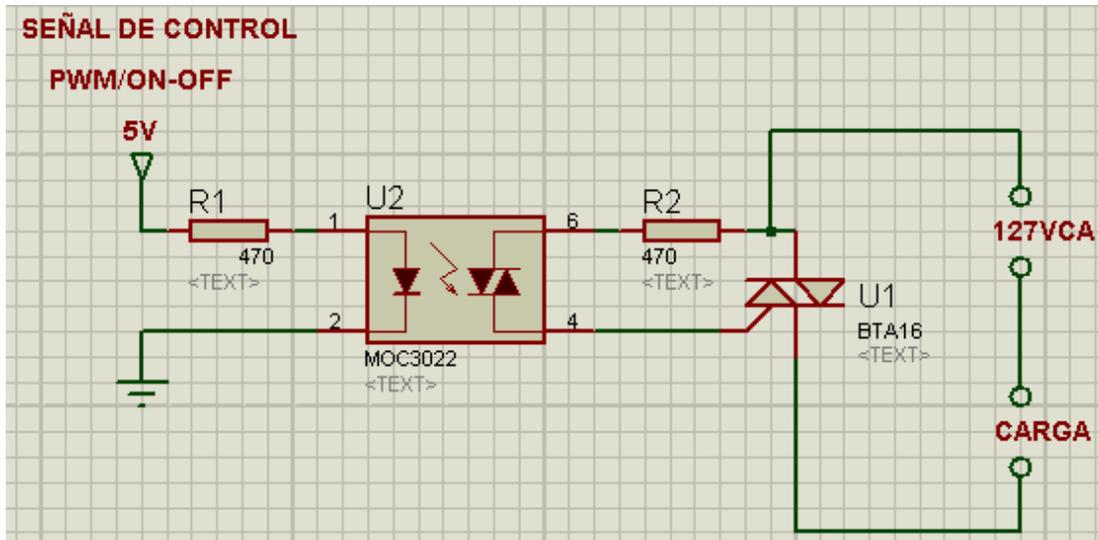


Figura 3.4.2 circuito de optoacoplamiento para control de actuadores de humedad y temperatura

El diseño y circuito de optoacoplamiento para la variable de iluminación se realizó de forma diferente ya que las luminarias de leds trabajan con fuentes conmutadas de 35volts de corriente directa, requiriendo para este caso un optoacoplador 4N28 con salida a fototransistor en conjunto con un transistor TIP 120 con capacidad hasta 5A para conducir los 35 volts de corriente directa.

Debido a que son 8 lámparas de 40W cada una, y para disminuir costos y espacio, se realizaron 4 circuitos de optoacoplamiento conectando dos lámparas en paralelo a modo de poner en funcionamiento las 8 lámparas con los cuatro circuitos de optoacoplamiento desarrollados, la figura 3.4.3 muestra un circuito de optoacoplamiento con el cual pueden ser encendidas dos luminarias de este tipo (LED) sin problemas. Cabe señalar que para no dañar las fuentes conmutadas por sobrecarga, también fueron conectadas en paralelo para tener los mismos 35V de salida pero con capacidad para doble carga.

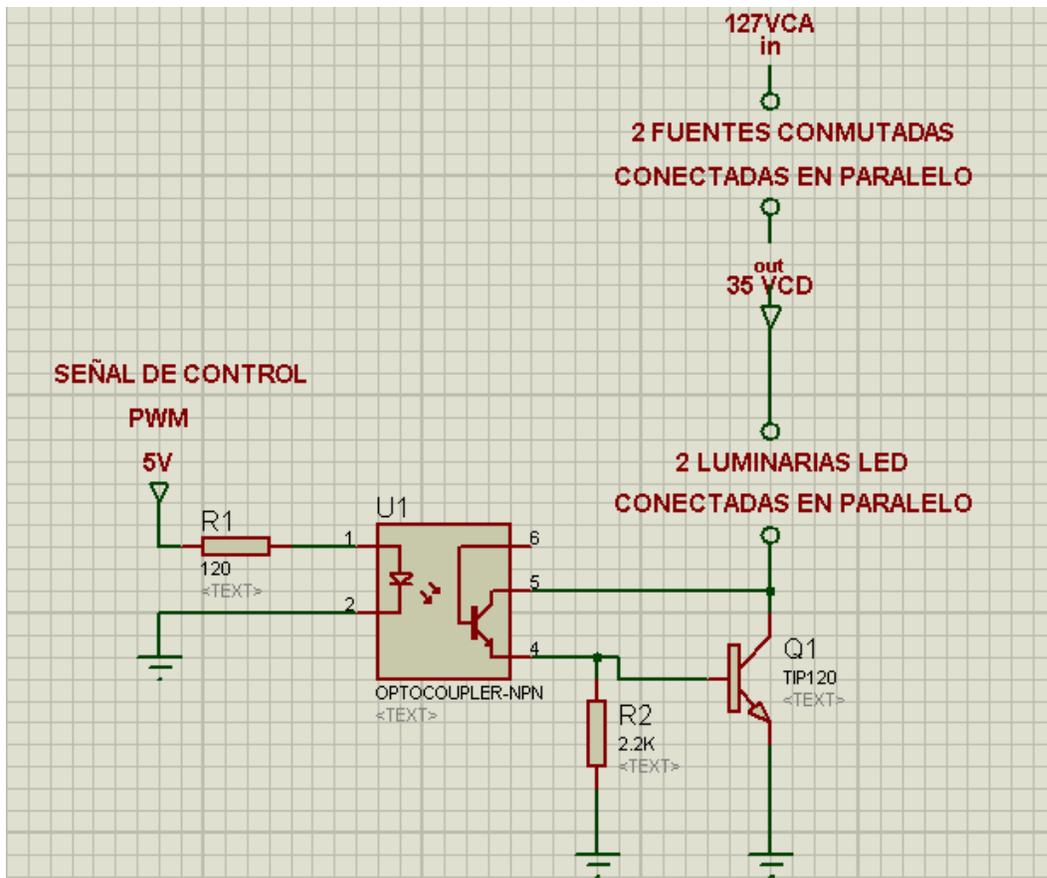


Figura 3.4.3 circuito de optoacoplamiento para control de luminarias LED

3.5 Unidad DRC ó tarjeta de control

La tarjeta de desarrollo FPGA mostrada en la figura 3.5.1 es utilizada para implementar el controlador maestro, es una tarjeta desarrollada en la UAQ por HSP, Cuerpo académico Mecatrónica. Esta tarjeta tiene un FPGA Spartan 3E de 1600000 compuertas, 8 salidas analógicas de $\pm 10V$, 8 entradas analógicas, 16 entradas digitales TTL, 16 salidas digitales TTL, 3 DIP switch, puerto RS232, puerto USB, memoria serial de 32KB, memoria estática de 512KB, memoria dinámica de 4MB, Oscilador de 48MHZ y configuración vía JTAG o de memoria flash. Alimentaciones requeridas 5V, 12V y -12V.

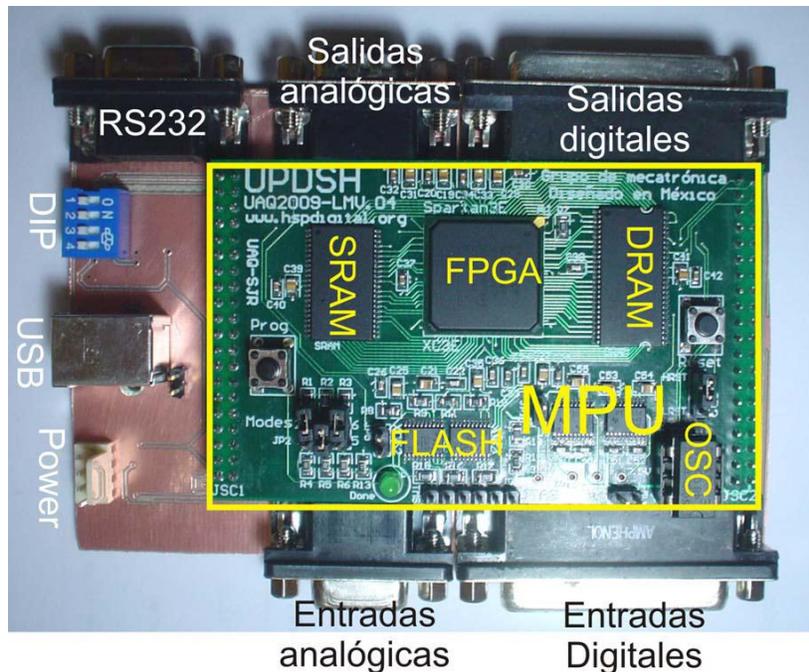


Figura 3.5.1 Unidad DRC ó tarjeta de control.

Como se mencionó al inicio de éste capítulo, la unidad DRC es la encargada de recibir las señales análogas de los sensores, convertir las señales análogas en digitales mediante un ADC (parte del MPU), procesar la información y enviar las señales de control hacia la etapa de optoacoplamiento de acuerdo a instrucciones del controlador maestro, que estará implementado internamente en el FPGA interactuando con la SRAM.

3.6 Diseño e implementación del controlador maestro

En las siguientes líneas se describirán las etapas del controlador maestro el cual está basado en lógica difusa, así como la implementación del controlador en el FPGA de la unidad DRC.

3.6.1 Fusificación

Como se vio en el capítulo 2, el objetivo de la fusificación es transformar la información de entrada al controlador en información lingüística, que es interpretada por la base de reglas y la máquina de inferencias. Para hacer el diseño digital del controlador difuso en la etapa de fusificación, se utilizaron funciones de pertenencia triangulares tanto en entradas como en salidas. Se proponen 5 entradas y 2 salidas.

En las entradas 1 (figura 3.6.1.1) y 2 (figura 3.6.1.2) se definen las funciones de pertenencia en donde los parámetros de los conjuntos se basan en el error que tiene la variable de temperatura con respecto a la referencia de temperatura otorgada por el usuario y a la derivada de éste error correspondientemente, las entradas 3 (figura 3.6.1.3) y 4 (figura 3.6.1.4) representan las funciones de pertenencia en donde los parámetros de los conjuntos se basan en el error que tiene la variable de humedad con respecto a la referencia de humedad establecida por el usuario y la derivada de éste error correspondientemente. La entrada 5 (figura 3.6.1.5) corresponde a las funciones de pertenencia en donde los parámetros de los conjuntos representan el nivel de temperatura censado en el interior del fitotrón.

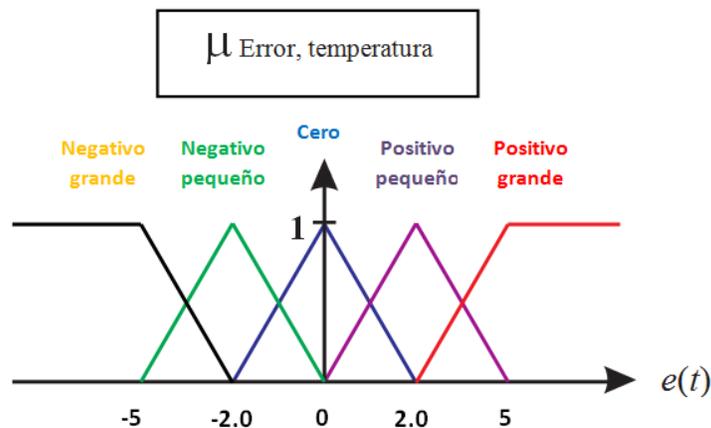


Figura 3.6.1.1 Funciones de pertenencia para entrada 1

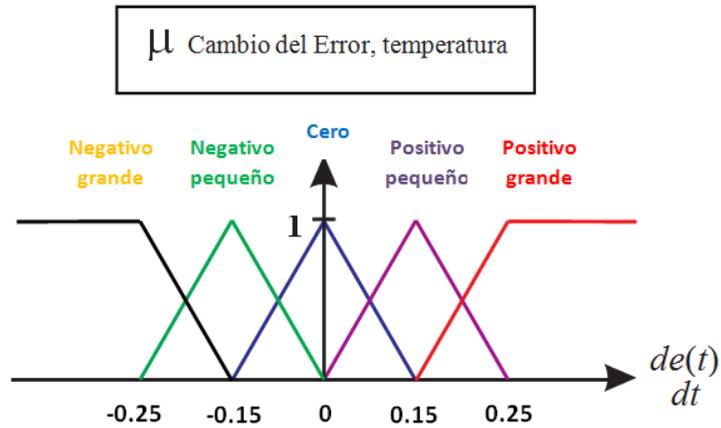


Figura 3.6.1.2 Funciones de pertenencia para entrada 2

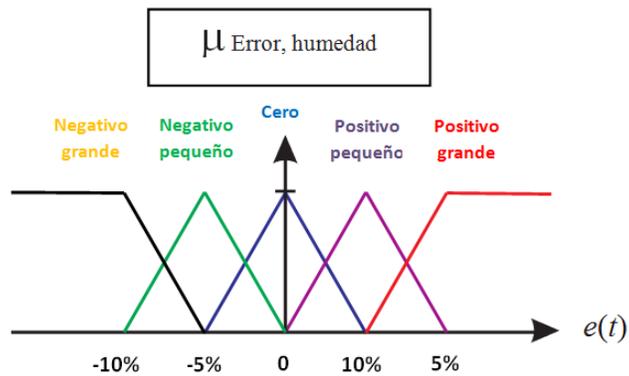


Figura 3.6.1.3 Funciones de pertenencia para entrada 3

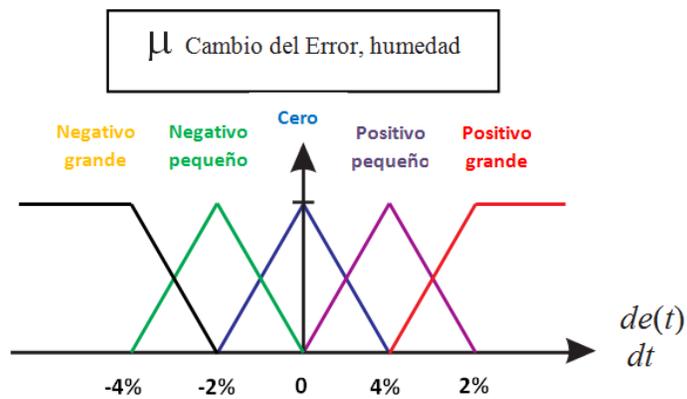


Figura 3.6.1.4 Funciones de pertenencia para entrada 4

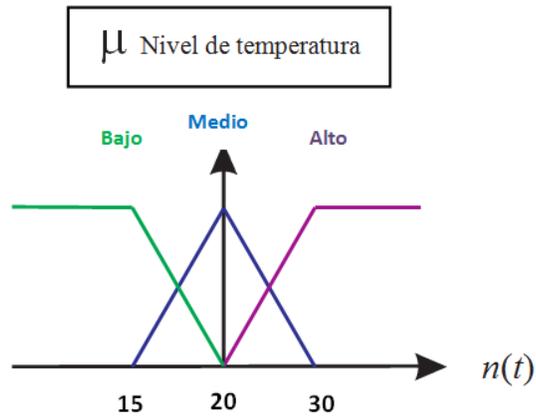


Figura 3.6.1.5 Funciones de pertenencia para entrada 5

En la salida 1 (figura 3.6.1.6) se definen las funciones de pertenencia en donde los parámetros de los conjuntos se basan en el rango de la señal de control PWM para aumentar la temperatura (de 0 a 65535) ó disminuirla (-0.1 a -65535). Los parámetros de los conjuntos y funciones de pertenencia correspondientes a la salida 2 (figura 3.6.1.7) se basan en el rango de la señal de control PWM para aumentar la humedad (de 0 a 65535) o quitar humedad (-0.1 a -65535).

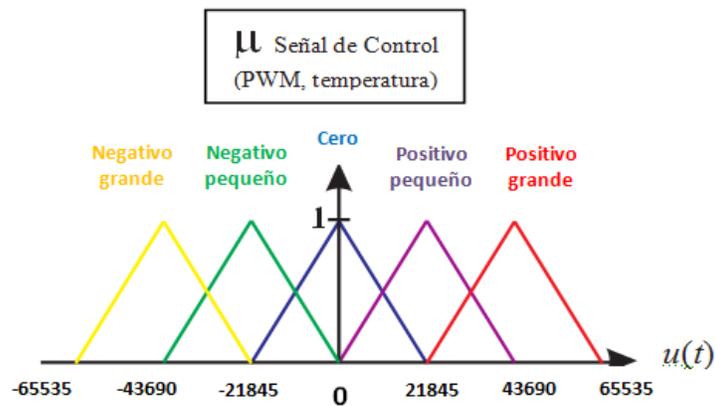


Figura 3.6.1.6 Funciones de pertenencia para salida 1

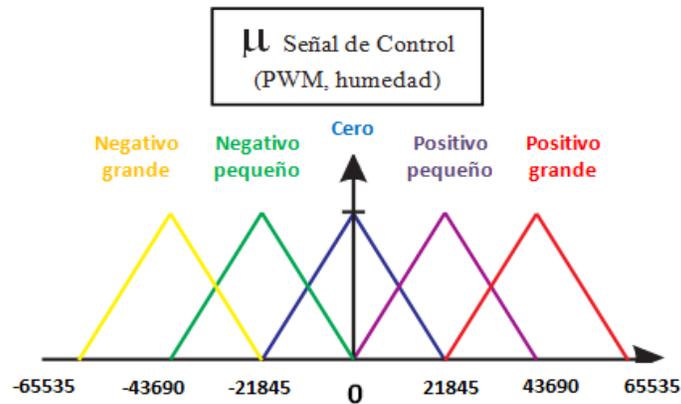


Figura 3.6.1.7 Funciones de pertenencia para salida 2

3.6.2 Base de reglas

Considera el conocimiento experto resumido en un conjunto de reglas si *_algo_* entonces *_algo_* (IF_THEN).

En el inicio de este capítulo se señaló que las resistencias calefactoras y el humidificador serían activadas mediante un modulador por ancho de pulsos (PWM) sin embargo el aire acondicionado y el humidificador serían modulados únicamente por señales de todo o nada (ON-OFF) debido a que éstos últimos equipos con los que se cuenta para enfriar y deshumidificar el fitotrón no pueden ser modulado por ancho de pulsos. Sin embargo para fines de diseño del controlador, se harán las reglas considerando que los dos pudieran ser controlados por (PWM) y posteriormente de acuerdo a los resultados obtenidos en la defusificación, se decidirá para que valores de nuestro PWM la señal será TODO ó NADA.

El conjunto de base de reglas para activar los actuadores de temperatura, ya sea para enfriar (aire acondicionado) ó calentar (resistencias calefactoras) el aire en el interior del fitotrón se describen abajo y se muestran finalmente a modo de tabla en la figura 3.6.2.1.

R1: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE.

R2: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE.

R3: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es CERO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE.

R4: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE.

R5: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO.

R6: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO.

R7: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO, ENTONCES el

ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO.

R8: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es CERO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO.

R9: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO.

R10: SI el ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO.

R11: SI el ERROR DE TEMPERATURA es CERO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE.

R12: SI el ERROR DE TEMPERATURA es CERO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO.

R13: SI el ERROR DE TEMPERATURA es CERO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es CERO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es CERO.

R14: SI el ERROR DE TEMPERATURA es CERO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO.

R15: SI el ERROR DE TEMPERATURA es CERO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE.

R16: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO.

R17: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO.

R18: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es CERO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO.

R19: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO.

R20: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de temperatura es POSITIVO PEQUEÑO.

R21: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO.

R22: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es NEGATIVO PEQUEÑO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE.

R23: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es CERO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE.

R24: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO PEQUEÑO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE.

R25: SI el ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE y SI el CAMBIO EN EL ERROR DE TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de TEMPERATURA es POSITIVO GRANDE.

Para fines prácticos, se define lo siguiente:

PWM negativo grande=-2

PWM negativo pequeño=-1

PWM positivo grande =2

PWM positivo pequeño =1

Salida temp		Cambio error de temp				
		ng	np	ce	pp	pg
Error de temp	ng	-2	-2	-2	-2	-1
	np	-1	-1	-1	-1	-1
	ce	-2	-1	0	1	2
	pp	1	1	1	1	1
	pg	1	2	2	2	2

Figura 3.6.2.1 Base de reglas para temperatura

En las reglas para el control de humedad se consideró además del error de humedad y el cambio en el error de humedad, el nivel de temperatura en el interior del fitotrón, ya que un nivel de temperatura bajo implica un aumento de humedad relativa y un nivel de temperatura alto implica humedad relativamente baja en el interior del recinto, las siguientes líneas describen como quedaría la regla 1 en términos de condiciones IF_THEN y la figura 3.6.1.9 muestra a modo de tabla todo el conjunto de instrucciones para el control de la variable de humedad.

R1: SI el ERROR DE HUMEDAD es NEGATIVO GRANDE, SI el CAMBIO EN EL ERROR DE HUMEDAD es NEGATIVO GRANDE y SI el NIVEL DE TEMPERATURA es BAJO, ENTONCES el ciclo de trabajo del PWM que controla la señal de HUMEDAD es NEGATIVO GRANDE.

Para fines prácticos, se define lo siguiente:

PWM negativo grande=-2

PWM negativo pequeño=-1

PWM positivo grande =2

PWM positivo pequeño =1

Salida Hum	cambio en el error de humedad/ nivel de temperatura															
	ng/b	np/b	ce/b	pp/b	pg/b	ng/m	np/m	ce/m	pp/m	pg/m	ng/a	np/a	ce/a	pp/a	pg/a	
Error hum	ng	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-1
	np	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-1
	ce	-2	-2	0	1	1	-2	-1	0	1	2	-1	-1	0	2	2
	pp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
	pg	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Figura 3.6.2.2 Base de reglas para humedad

Para la variable de iluminación no fue necesario crear la base de reglas ni fusificación ya que su respuesta es demasiado rápida y no depende directamente ni de la temperatura ni de la humedad en el recinto por lo que no se considerará para el diseño del controlador, únicamente será manipulada de forma directa como un dimmer desde el programa, dependiendo el valor de referencia que el usuario establezca.

3.6.3 Máquina de inferencias

La máquina de inferencias simula el proceso de toma de decisiones del experto teniendo en cuenta la base de reglas del proceso.

Ejemplo:

Suponemos un error “negativo grande” de temperatura en -5°C y un cambio en el error “negativo grande” también de temperatura en -0.25°C .

La máquina de inferencias para este caso, se calcularía de la siguiente manera:

Valor de la pendiente del error de temperatura (de acuerdo a su función de pertenencia) * valor de la pendiente del cambio del error de temperatura (de acuerdo a su función de pertenencia) = área abarcada bajo la función de pertenencia de salida correspondiente, dependiendo la base de reglas. Se tiene que las pendientes en las funciones de pertenencia para el error de temperatura

(figura 3.6.1.1) y el cambio de error en temperatura (figura 3.6.1.2) en los valores mencionados de -5 y -0.25 respectivamente, es de 1 para ambos casos. Además revisando la base de reglas para temperatura (figura 3.6.2.1) un error negativo grande y un cambio en el error negativo grande implica una fuerza negativa grande. La decisión tomada por la máquina de inferencias para este caso, se representa gráficamente con color negro en la figura 3.6.3.1.

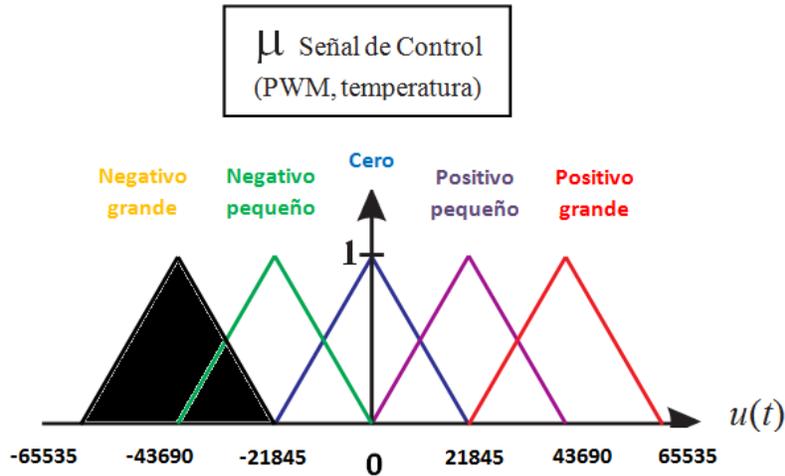


Figura 3.6.3.1 área representada por la máquina de inferencias para un error de temperatura de -5°C y un cambio en el error de temperatura de -0.25°C.

3.6.4 Defusificación

En el ejemplo anterior, la máquina de inferencias concluye que es necesario aplicar una fuerza o acción de control en el área correspondiente a la función de pertenencia “negativo grande” para la señal de control de temperatura. Sin embargo aún no se sabe en términos decimales, el valor de la fuerza que será aplicada e interpretada por la DRC para generar la acción de control.

La etapa de defusificación del controlador, se encargará de convertir las conclusiones de la máquina de inferencias en acciones de control, proporcionando la magnitud de la señal de control que será enviada a las salidas de nuestra DRC para controlar la variable requerida y manipular el clima dentro del fitotrón.

Utilizando el criterio de centro de gravedad, se tiene que:

$$F(t) = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \int \mu(f(t))}{\sum_{i=1}^n \int \mu(f(t))}$$

En donde:

b_i : es el centro de la función de transferencia, es decir en donde la función de transferencia toma su valor mayor.

Y

$$\int \mu(f(t)) = \omega \left(h - \frac{h^2}{2} \right)$$

En donde:

ω : ancho de la base

h : altura (área concluida por la máquina de inferencias)

Para una mejor comprensión, los parámetros descritos del defusificador se muestran gráficamente en la figura 3.6.4.1 tomando como ejemplo el caso tratado en la máquina de inferencias.

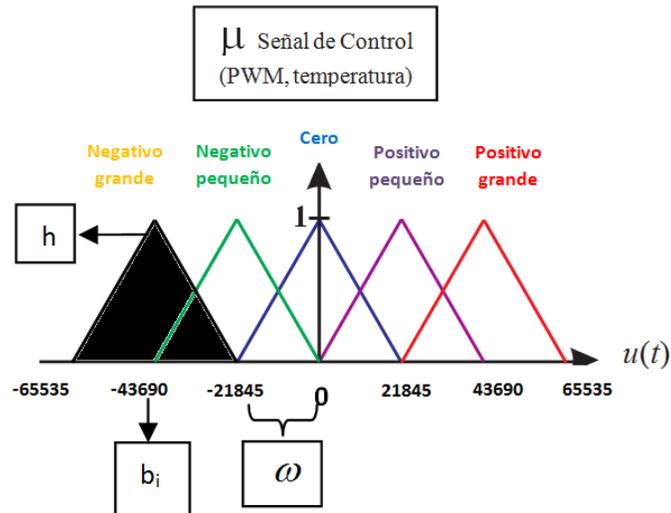


Figura 3.6.4.1 Parámetros necesarios para defusificador utilizando el criterio de centro de gravedad.

Sabiendo lo anterior, y aplicándolo al ejemplo planteado en la máquina de inferencias se tiene que:

$$\int \mu(f(t)) = 21845 \left(1 - \frac{1^2}{2}\right) = 10922.5$$

Como en la máquina de inferencias solamente se abarcó una función de pertenencia, la fuerza resultante queda:

$$F(t) = \frac{b_i \int \mu(f(t))}{\int \mu(f(t))}$$

$$F(t) = \frac{-43690 * \int \mu(f(t))}{\int \mu(f(t))}$$

$$F(t) = \frac{-43690 * 10922.5}{10922.5}$$

$$F(t) = -43690$$

Una vez finalizada la etapa de defusificación, se tiene entonces que para un error de temperatura de -5°C y un cambio en el error de temperatura de -0.25°C es necesario aplicar una fuerza de salida para temperatura o señal de control de temperatura PWM con un valor de -43690 , sin embargo en las salidas digitales de la DRC no se contemplaron valores negativos, por lo que el signo solo ayudará para saber si va a una salida o a otra y se toma el valor como absoluto. Es decir, si el signo es negativo, la señal de salida PWM se tomará como valor absoluto y será emitida por la salida digital de la DRC que tenga conectada la etapa de optoacoplamiento correspondiente a la activación del compresor refrigerador, de otro modo (si el signo de la fuerza es positivo) la señal de PWM se enviará por la salida digital del DRC que active la etapa de optoacoplamiento pertinente a las resistencias calefactoras.

Finalmente, en el software se limitan los valores para la activación de nuestro compresor refrigerador para que funcione a modo ON-OFF, de tal modo que si la fuerza es menor a cero (negativa) el compresor se pondrá en marcha totalmente, enviando una señal PWM total de 65535 por la DRC para activar al 100% nuestro ciclo de trabajo, en caso contrario se envía un valor de 0 para la salida que activa el compresor y un valor de $F(t)$ en la salida de la DRC encargada de regular las resistencias calefactoras, recordando que éstas últimas no tienen problema al trabajar con la modulación por ancho de pulsos.

De igual forma se manejará el deshumidificador (análogamente compresor refrigerador) y el humidificador (análogamente resistencias calefactoras), activando y desactivando las salidas digitales correspondientes programadas en la DRC.

3.6.5 Implementación del controlador en FPGA

Para la implementación del controlador en el FPGA de la DRC fue necesaria la integración de:

- 1 módulo ADC de 4 canales
- 1 módulo DAC de 4 canales
- 1 módulo USB
- módulos PWM
- 1 módulo microprocesador (compilador de lenguaje C a VHDL) desarrollado por el grupo de mecatrónica de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Los módulos están interconectados para enviar y/o recibir información conforme a lo siguiente:

Los pines de las entradas digitales y el MPU de la DRC están conectados internamente y trabajan en conjunto con el módulo ADC implementado en el FPGA para recibir las señales previamente acondicionadas de los sensores de humedad, temperatura o del variador de intensidad luminosa. Los módulos PWM fueron interconectados con las salidas digitales de la DRC para activar las etapas de optoacoplamiento y poner en marcha los actuadores correspondientes para manipular el clima en el interior del fitotrón. EL módulo USB comunica la PC a la tarjeta DRC con la finalidad de recibir las referencias del usuario desde el ordenador ó como medio de monitoreo general para evaluar la respuesta del controlador y el comportamiento de las variables a través del tiempo. La SRAM de la DRC y el módulo microprocesador implementado en el FPGA trabajan conjuntamente en el almacenamiento y la ejecución del programa de control difuso y constituyen el cerebro del controlador maestro encargado de recibir la información del módulo ADC, comparar las señales de entrada con las referencias del usuario, procesar mediante el algoritmo de control difuso la información de entrada y enviar las señales de control a los diferentes módulos PWM.

Lo anterior se puede ver de modo más general y para una mejor comprensión en la figura 3.6.5.1.

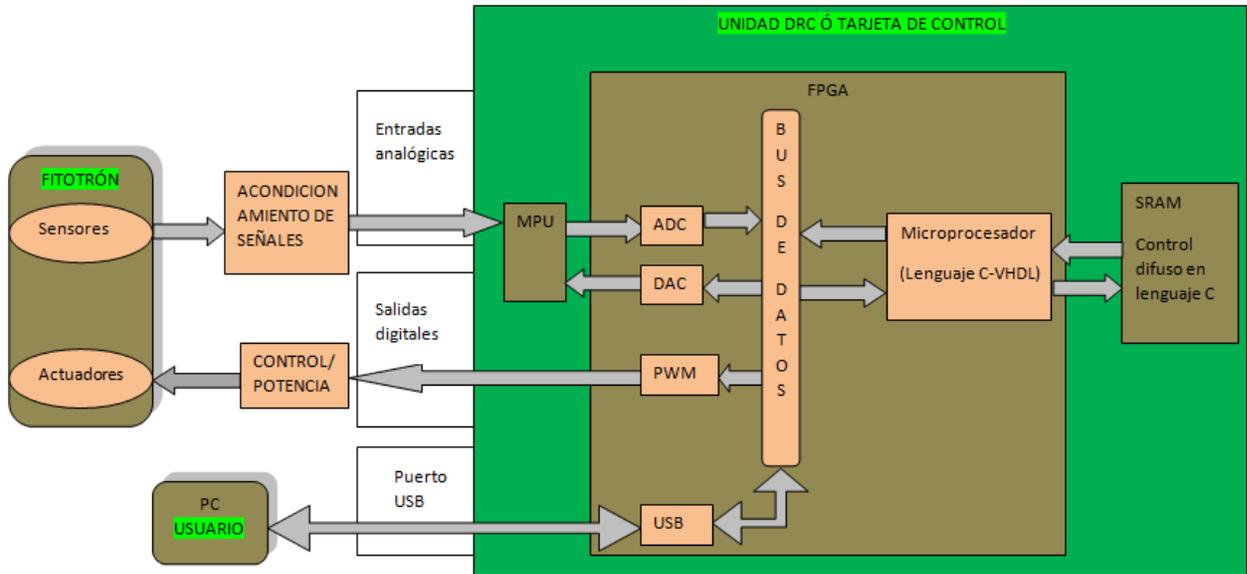


Figura 3.6.5.1 Estructura interna del controlador maestro en FPGA

La tabla 3.6.5.1 describe la distribución de las entradas analógicas de la DRC en donde se conectaron las señales de los sensores y el variador de intensidad luminosa para ser comparadas internamente y asimiladas por el controlador para realizar la acción de manipulación de las variables, recordando que las referencias de temperatura y humedad serán otorgadas por el usuario antes de ejecutar el programa de control.

Señal de entrada	Conector J7: entradas analógicas	
	Nombre	PIN utilizado
Sensor de temperatura	ADC0	3
Sensor de humedad	ADC2	4
Referencia de iluminación	ADC3	9

Tabla 3.6.5.1 entradas analógicas de la DRC utilizadas para el controlador maestro

Finalmente, la tabla 3.6.5.2 señala la distribución de las salidas digitales de la DRC en donde se conectaron las señales de control que activarán las etapas de optoacoplamiento encargadas de poner en marcha los actuadores encargados de modificar el clima en el interior del recinto.

Señal de salida	Conector J2: salidas digitales	
	Nombre	PIN utilizado
Control de resistencias calefactoras	OUT0	5
Control de refrigerador	OUT1	18
Control de humidificador	OUT2	6
Control de deshumidificador	OUT3	19
Control de luminarias LED	OUT4	7



Tabla 3.6.5.2 salidas digitales de la DRC utilizadas para el controlador maestro

4 Resultados

Se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema completo estableciendo referencias para humedad, iluminación y temperatura, midiendo las variables en el interior del fitotrón obteniendo los siguientes resultados.

En la figura 4.1.1 se muestra la respuesta del controlador maestro sobre la variable de humedad cuando ésta es sometida a una referencia de 44% de humedad relativa a partir del 26% de humedad inicial en el interior del fitotrón. Se puede observar que el sistema actúa para alcanzar la humedad requerida reduciendo cada vez más el error y atenuando el sobrepaso existente entre la humedad que el usuario necesita (línea roja) y la humedad en el interior del fitotrón (línea azul) logrando una respuesta de segundo orden subamortiguada con un retardo de 200 segundos, un tiempo de respuesta de 300 segundos y un tiempo de asentamiento a los 850 segundos en donde la diferencia entre la humedad planteada y la existente en el interior del recinto es mínima.

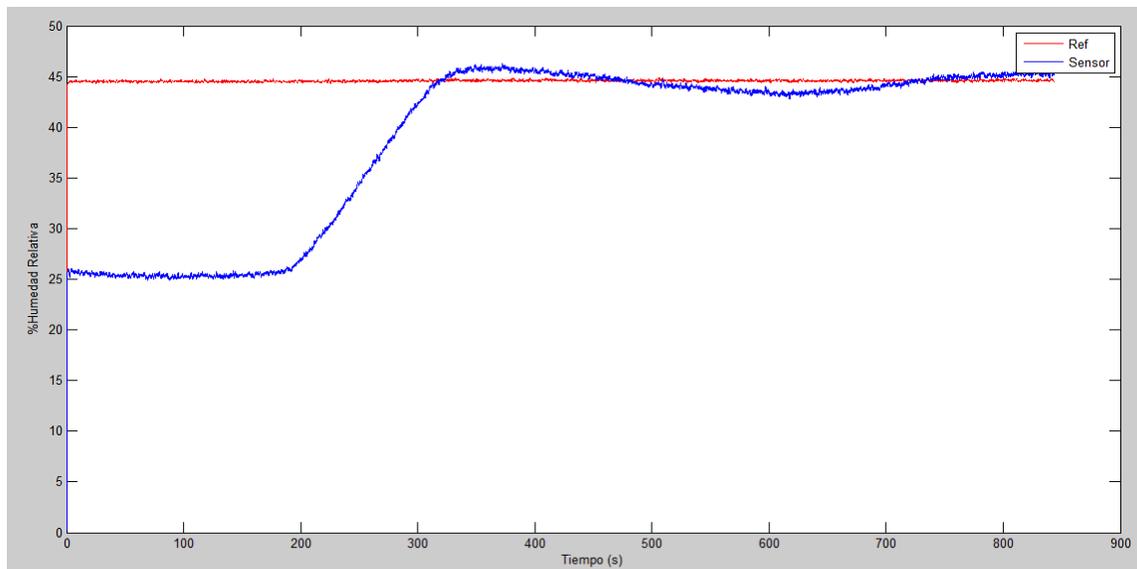


Figura 4.1.1 Respuesta del controlador maestro sobre la variable de humedad.

La figura 4.1.2 muestra la respuesta del controlador maestro sobre la variable de iluminación cuando ésta es manipulada directamente con un potenciómetro variando la intensidad luminosa en el recinto de 0 a aprox. 4300 luxes (ver tabla 3.2.1) recordando que en esta variable no fue necesaria una retroalimentación debido al tipo de respuesta de las luminarias LED y a la aplicación requerida para el fitotrón.



Figura 4.1.2 Respuesta de la variable de iluminación al requerir 4300 luxes en el interior del fitotrón.

La figura 4.1.3 muestra la respuesta del controlador maestro sobre la variable de temperatura cuando ésta es sometida a una referencia de 28°C a partir de los 22°C existentes en ese momento dentro del recinto. Se puede observar que el sistema actúa para alcanzar la temperatura requerida reduciendo cada vez más el error y atenuando el sobrepaso existente entre la temperatura que el usuario necesita (línea roja) y la temperatura en el interior del fitotrón (línea azul) logrando, una respuesta de segundo orden con subamortiguamiento mostrando un retardo de 60 segundos, un tiempo de respuesta de 870 segundos y un tiempo de asentamiento a los 1200 segundos en donde la diferencia entre la temperatura planteada y la existente en el interior del recinto es mínima.

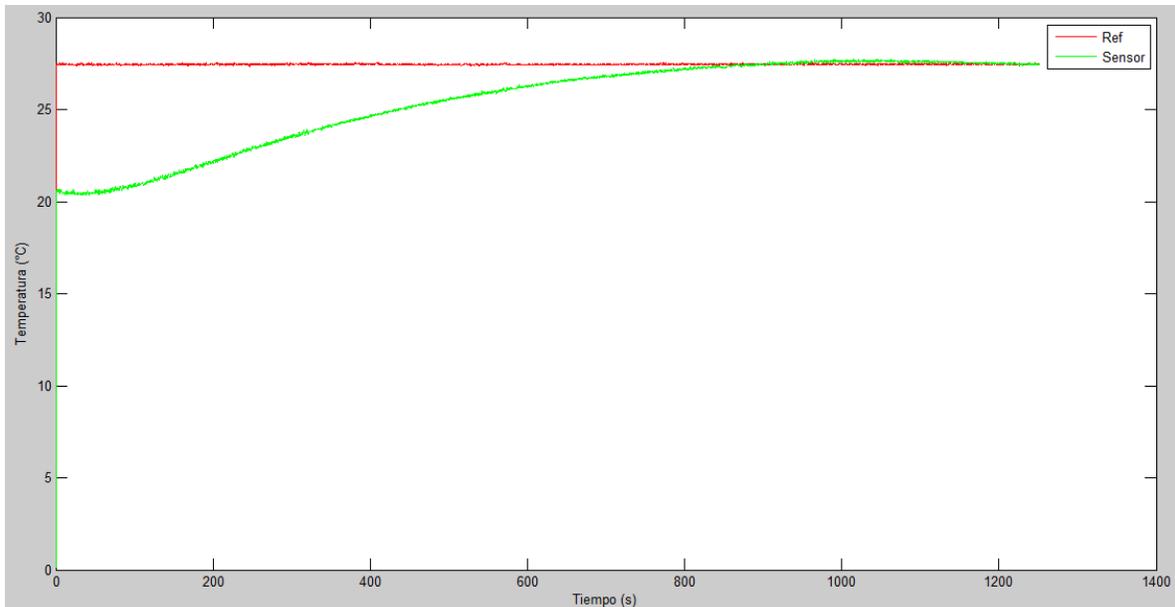


Figura 4.1.3 Respuesta del controlador maestro sobre la variable de temperatura.

Posterior a los resultados anteriores se iniciaron las pruebas con las tres variables trabajando en conjunto, para evaluar el funcionamiento del controlador, se hicieron cuatro pruebas con valores distintos de referencias para cada una de las variables.

La figura 4.1.4 revela el desempeño del controlador durante 1400 segundos al establecer referencias para humedad y temperatura de 2.3 volts (47% H.R) y 1.9 volts (19°C) respectivamente, sometiendo el interior del recinto a una intensidad luminosa de 5.3 volts (7240 luxes). Observando la gráfica se puede notar que el aumento de temperatura hace que la humedad descienda rápidamente ayudando en este caso a la variable de humedad a lograr el objetivo, una vez que la temperatura se ah estabilizado dentro del punto establecido, el actuador de humedad actúa para compensar la humedad perdida, notándose además que el efecto de la iluminación se ve ampliamente contrarrestado.

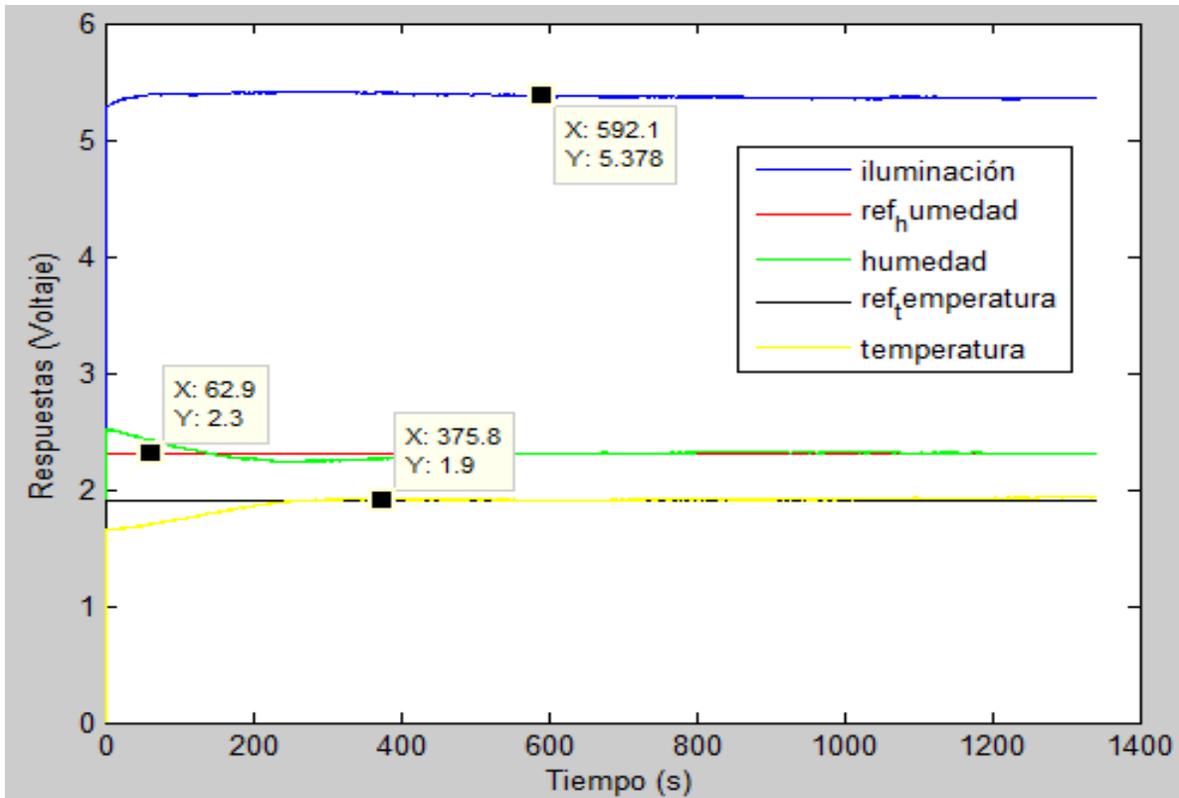


Figura 4.1.4 respuesta del controlador maestro sobre las variables de iluminación, humedad y temperatura trabajando en conjunto, prueba 1.

La figura 4.1.5 muestra el desempeño del controlador durante 1200 segundos al establecer ahora referencias para humedad y temperatura de 2.9 volts (66% H.R) y 1.5 volts (15°C) respectivamente, sometiendo el interior del recinto a una intensidad luminosa de 5.3 volts (7180 luxes). Observando la gráfica se puede notar que de forma similar a la prueba anterior, el aumento de temperatura hace que la humedad descienda, ayudando a la variable de humedad a lograr el objetivo, una vez que la temperatura se ah estabilizado dentro del punto establecido, el actuador de humedad actúa para compensar la humedad perdida, nótese que en este caso a pesar de la baja temperatura de referencia, las variables se estabilizan de forma similar al caso anterior en donde se tenían parámetros relativamente más fáciles de lograr, contrarrestando de igual manera los efectos que altos niveles de iluminación en el interior del recinto iluminación pudieran tener sobre las otras variables.

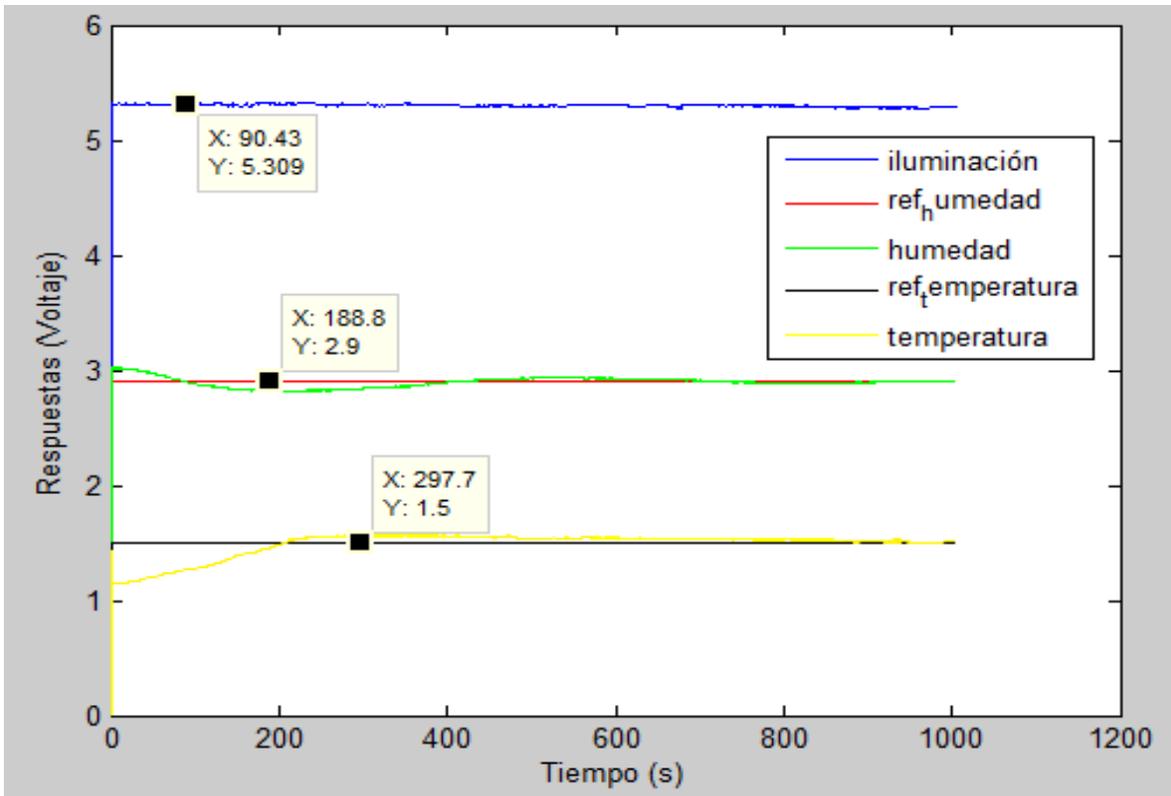


Figura 4.1.5 respuesta del controlador maestro sobre las variables de iluminación, humedad y temperatura trabajando en conjunto, prueba 2.

En la figura 4.1.6 se pone en evidencia el desempeño del controlador durante 900 segundos al establecer referencias para humedad y temperatura de 2.6 volts (57% H.R) y 2.4 volts (24°C) respectivamente, sometiendo el interior del recinto a una intensidad luminosa de 4.18 volts (3580 luxes). Se observa que la respuesta de temperatura en este caso es más lenta y que la humedad se ve afectada mientras la temperatura alcanza su punto de referencia, sin embargo una vez alcanzado el set point de temperatura, la humedad también se estabiliza aún cuando el punto de referencia de ésta fue levemente superior a la humedad que tenía el recinto inicialmente.

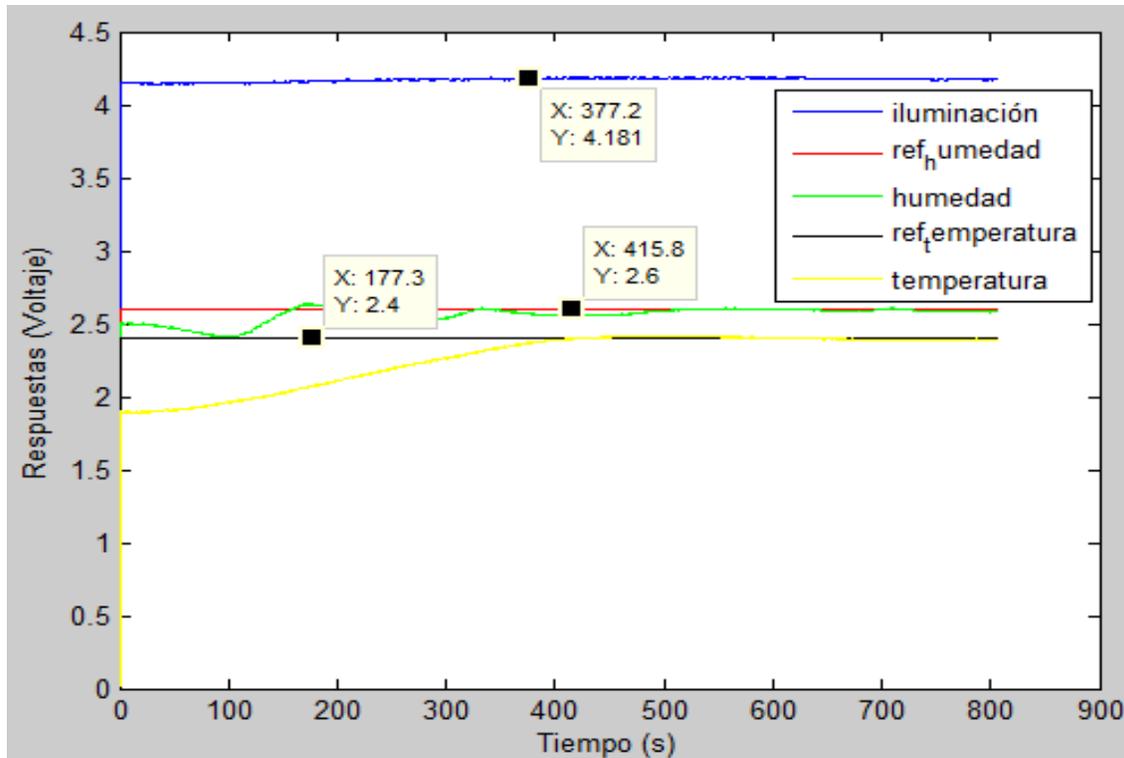


Figura 4.1.6 respuesta del controlador maestro sobre las tres variables trabajando en conjunto, prueba 3.

En las pruebas anteriores las temperaturas iniciales han estado siempre por debajo de la referencia establecida, por lo que en la última prueba se decidió establecer un punto de referencia inferior a la temperatura inicial, La figura 4.1.7 nos muestra el resultado de ésta prueba realizada durante 1800 segundos, estableciendo referencias para humedad y temperatura de 2.6 volts (57% H.R) y 1.9 volts (19°C) respectivamente, con una intensidad luminosa de 4.61 volts (4770 luxes) en el interior del recinto. Se observa que la respuesta de temperatura al igual que en los caso anteriores es una respuesta subamortiguada con el mínimo error de asentamiento y una respuesta estable durante los 30 minutos de monitoreo, en este caso la humedad también se ve afectada al inicio (primeros 300 segundos) ya que la entrada del aire acondicionado genera humedad que posteriormente es condensada (300-500 segundos) modificándola nuevamente, una vez que la temperatura se estabilizó el humidificador efectúa el trabajo

restante para estabilizar la humedad dentro del fitotrón, contemplando en todo momento el nivel de iluminación.

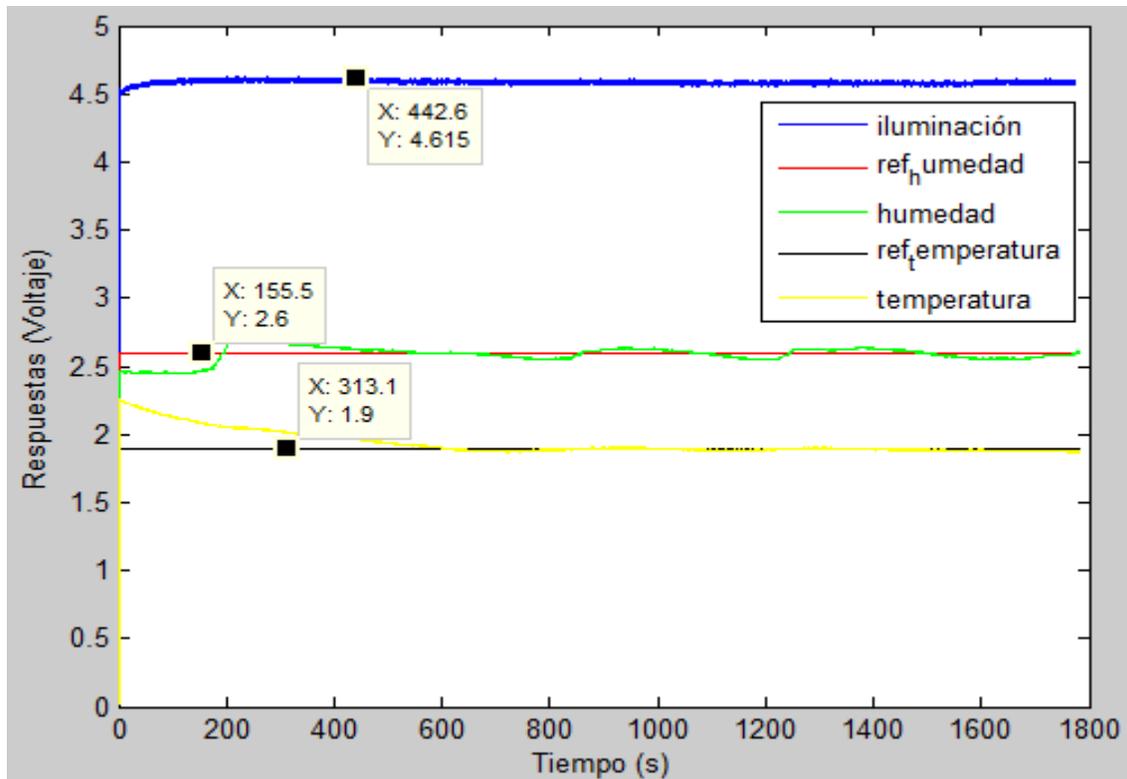


Figura 4.1.7 respuesta del controlador maestro sobre las tres variables trabajando en conjunto, prueba 4.

A continuación se muestra el funcionamiento de la primera etapa que involucra la implementación de la energía solar como fuente alterna de alimentación hacia el fitotrón, logrando abarcar únicamente la etapa que abarca los componentes de baja potencia debido al consumo energético demandado por los demás componentes y a que solo se contó con 4 paneles solares para abastecer el sistema.

La figura 4.1.8 muestra como se colocaron los paneles solares encargados de recibir los fotones de la luz solar y generar la electricidad necesaria para activar la DRC y los sensores involucrados en el sistema de control.



Figura 4.1.8 paneles solares encargados de abastecer de energía eléctrica los componentes de control para el fitotrón.

Una vez conectados los paneles es necesario conectarlos al controlador automático de carga para alimentar las baterías y que éstas a su vez sean las que alimenten el inversor de voltaje encargado de suministrar los 127volts de corriente alterna.

La figura 4.1.9 pone en evidencia el funcionamiento del controlador automático de carga una vez que fueron conectados los paneles solares y 2 baterías de 12VCD en paralelo, indicando que los módulos trabajan adecuadamente (led naranja) y que las baterías tienen una carga normal (led verde).

A la salida del controlador de carga se conectó el inversor de voltaje al que a su vez fué conectada la fuente de alimentación de los componentes de baja potencia trabajando con voltajes de ± 12 y 5VCD. Notando un funcionamiento normal como se muestra en la figura 4.1.10

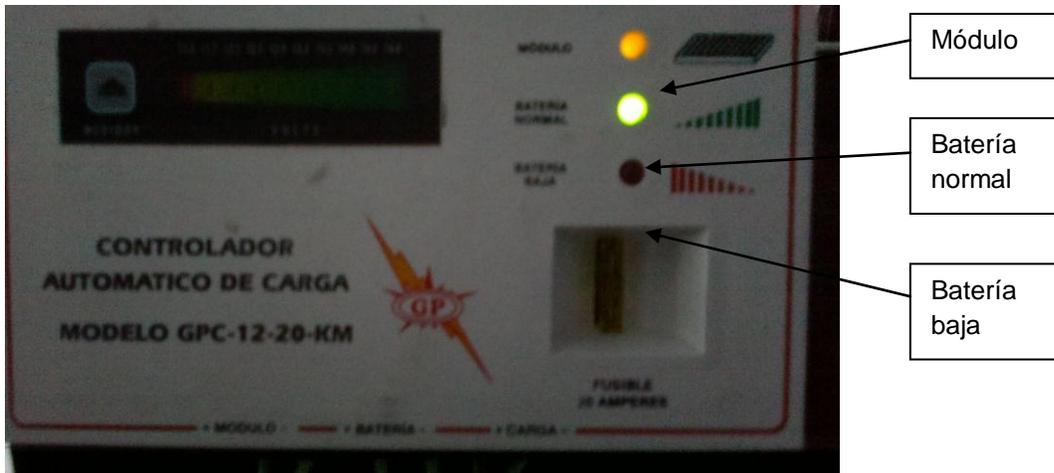


Figura 4.1.9 controlador automático de carga funcionando

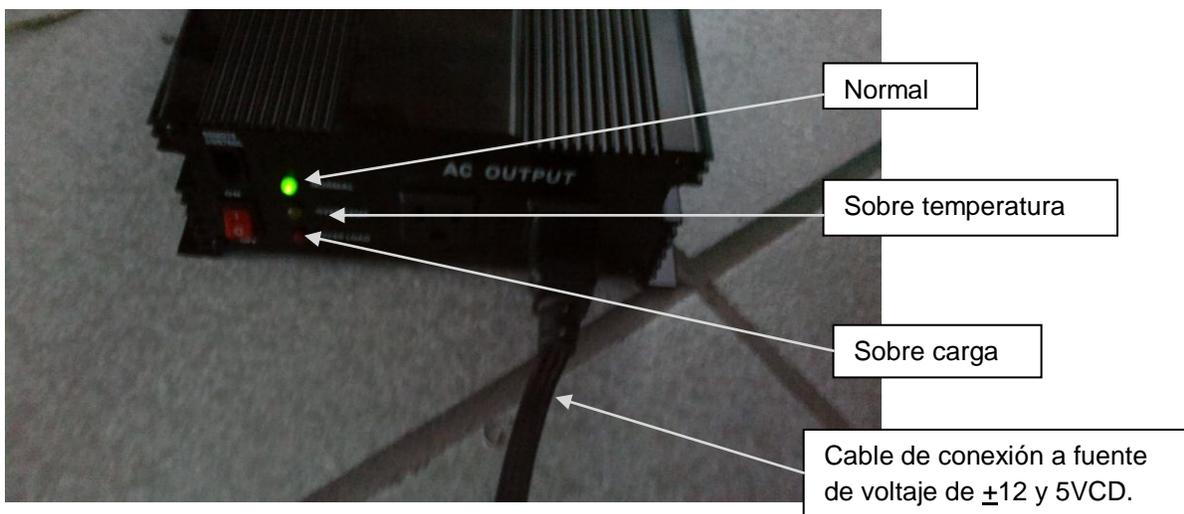


Figura 4.1.10 Inversor de voltaje DC-AC funcionando

Después de realizar las conexiones necesarias, en la figura 4.1.11 se muestra la tarjeta DRC (que es en donde se encuentra la etapa central de control y de la cual se derivan las alimentaciones para los sensores) trabajando totalmente con energía solar.

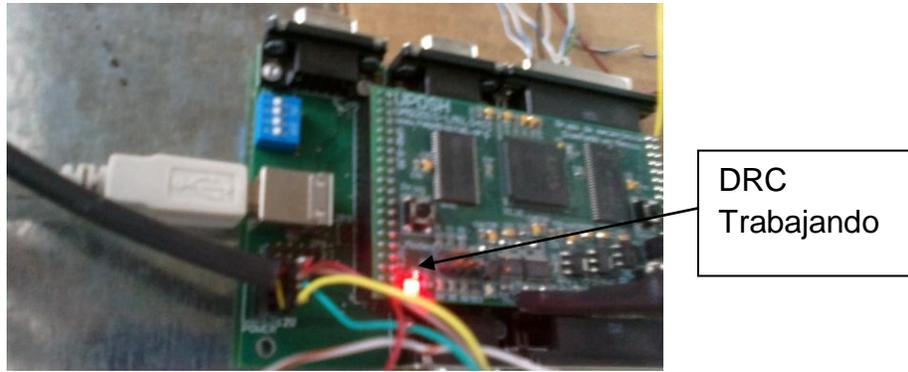


Figura 4.1.11 tarjeta DRC funcionando con energía solar.

Finalmente el sistema completo utilizado para la alimentación con energía solar se puede observar trabajando en la figura 4.1.12 notando la correcta funcionalidad de los componentes involucrados, cumpliendo con una de varias etapas en donde se busca la implementación de una fuente emergente de alimentación eléctrica basada totalmente en energía solar para este tipo de recintos.

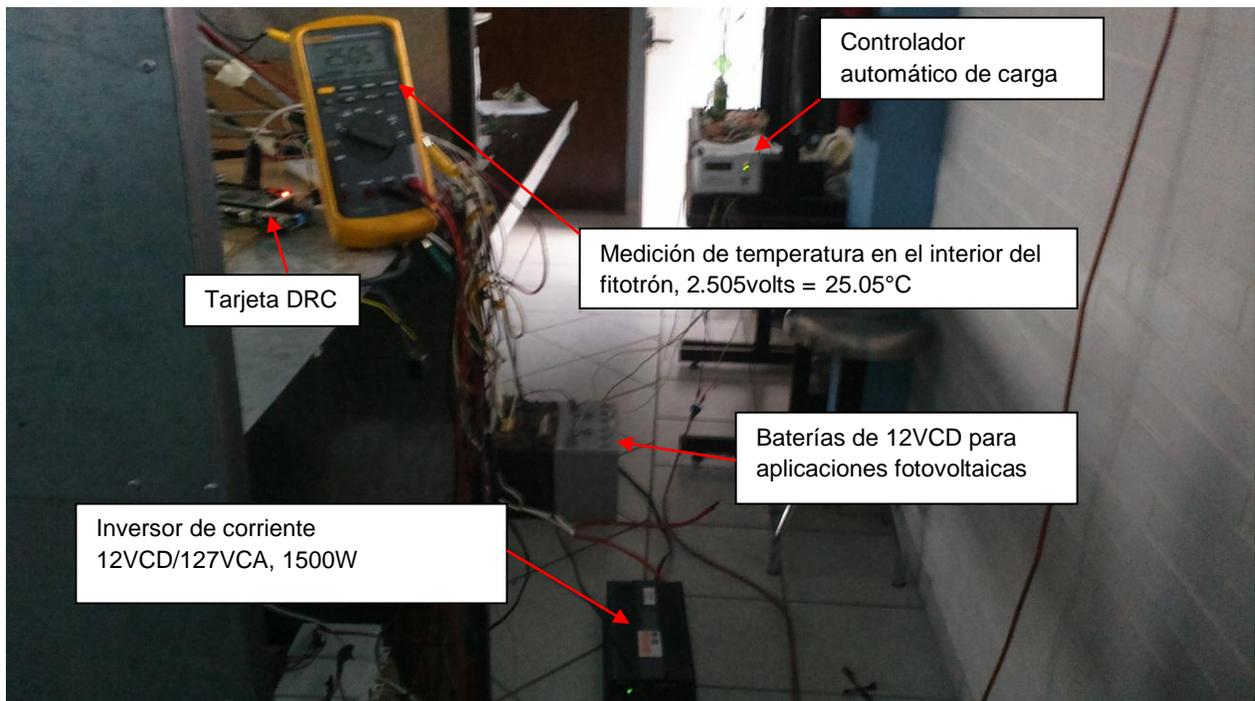


Figura 4.1.12 sistema utilizado para la alimentación con energía solar de los componentes electrónicos de control.

5. CONCLUSIONES

Como se observó en los capítulos anteriores, el diseño de un fitotrón que involucra un controlador que integre las variables de humedad, iluminación y temperatura es una alternativa eficaz para el estudio del crecimiento y desarrollo de cultivos, pudiendo ser utilizados también en otro tipo de investigaciones en donde las variables del medio ambiente necesiten ser manipuladas estrictamente.

Los resultados obtenidos evidencian unas respuestas relativamente rápidas a los cambios de temperatura extremos y una estabilización de temperatura con oscilaciones del orden de 1-1.5 °C.

Teniendo en cuenta el coste sin mano de obra (unos \$15,000.00) y el coste de un recinto industrial de características similares (\$250,000.00), la rentabilidad del diseño está asegurada.

Es el primer diseño de estas características que se realiza, y se han observado puntos a completar y a mejorar que no se han realizado en la parte de refrigeración y la implementación de energía solar para que alcance a abarcar la mayor parte de los componentes del sistema.

Finalmente, se concluye que el desempeño del controlador maestro cumplió con el objetivo de contrarrestar los efectos que las variables tienen cuando se trabajan en conjunto gracias a la técnica de control difuso implementada, que por características fundamentales no implica la obtención de la planta y por lo tanto tampoco un modelo matemático, pudiendo contemplar el manejo de un gran número de variables trabajando como un conjunto y no como variables individuales que pueden ser afectadas entre ellas, lo cual se volvería realmente complejo si se utilizaran técnicas de control clásico.

6.1 APÉNDICE A

Código de control difuso en lenguaje c

```
//-----  
#include <math.h>  
#include <windows.h>  
#include <iostream>  
#include <stdio.h>  
#include "usb.h"  
//-----  
  
/* the device's vendor and product id */  
#define MY_VID 0x2329  
#define MY_PID 0x1EF9  
  
/* the device's endpoints */  
#define EP_IN 0x82  
#define EP_OUT 0x01  
#define EP_CMD 0x03  
  
#define TimeOut 500000000  
  
usb_dev_handle *dev = NULL;  
usb_dev_handle *open_dev(void)  
{  
    struct usb_bus *bus;  
    struct usb_device *dev;  
  
    for(bus = usb_get_busses(); bus; bus = bus->next)  
    {  
        for(dev = bus->devices; dev; dev = dev->next)  
        {  
            ##define EP_OUT 0x01  
            ##define EP_CMD 0x03  
            ##define TimeOut 500000000  
  
            //usb_dev_handle *dev = NULL; /* the device handle */  
            if(dev->descriptor.idVendor == MY_VID  
                && dev->descriptor.idProduct == MY_PID)  
            {  
                return usb_open(dev);  
            }  
        }  
    }  
    return NULL;  
}  
  
int usbInIt(void)  
{
```

```

usb_init(); /* initialize the library */
usb_find_busses(); /* find all busses */
usb_find_devices(); /* find all connected devices */

dev = open_dev();
if(!dev)
{
    return 0;
}

if(usb_set_configuration(dev, 1) < 0)
{
    usb_close(dev);
    return 0;
}

if(usb_claim_interface(dev, 0) < 0)
{
    usb_close(dev);
    return 0;
}
    return 1;
}

int usbTerminate(void)
{
    usb_release_interface(dev, 0);
    usb_close(dev);
    return 1;
}

float y_recta(float y2, float y1, float x2, float x1, float x)
{ return ((y2-y1)/(x2-x1))*x+y1-((y2-y1)/(x2-x1))*x1;
}

int h1=0;
int h2=0;

int t1=0;
int t2=0;

int i=0;
int j=0;

float yng_e=0.0,ynp_e=0.0,ycero_e=0.0,ypp_e=0.0,ypg_e=0.0;
float yng_ce=0.0,ynp_ce=0.0,ycero_ce=0.0,ypp_ce=0.0,ypg_ce=0.0;

float
yng_e_temp=0.0,ynp_e_temp=0.0,ycero_e_temp=0.0,ypp_e_temp=0.0,ypg_e_temp=0.0;
float
yng_ce_temp=0.0,ynp_ce_temp=0.0,ycero_ce_temp=0.0,ypp_ce_temp=0.0,ypg_ce_temp=0.0;

float yb_nt=0.0,ym_nt=0.0,ya_nt=0.0;

float e1=-6.0,e2=-2.0,e3=0.0,e4=2.0,e5=6.0,e,ep=0.0;
float cex=-1.5,ce1=-1.0,ce2=-0.5,ce3=0.0,ce4=0.5,ce5=1.0,cexy=1.5,ce;

```



```

bandera=0;

//bandera=3;
// int Ai,Af,NM,Fs,s;
// unsigned char Data[32];
char Data[32];

// Inicialización
if(!usbInIt())return 0;

// Apertura de archivos de texto

FILE *Archivo_0 = fopen("DATOS_0.txt","wt");
FILE *Archivo_1 = fopen("DATOS_1.txt","wt");
FILE *Archivo_2 = fopen("DATOS_2.txt","wt");
FILE *Archivo_3 = fopen("DATOS_3.txt","wt");
FILE *Archivo_4 = fopen("DATOS_4.txt","wt");

if (!Archivo_0) return 0;
if (!Archivo_1) return 0;
if (!Archivo_2) return 0;
if (!Archivo_3) return 0;
if (!Archivo_4) return 0;

//if (!Archivo_4) return 0;

// Lectura de datos
//printf("\nLectura");
while (1)
{

Data[0] = ref_hum1;
Data[1] = ref_hum1>>8;
Data[2] = hum1;
Data[3] = hum1>>8;

Data[4] = ref_temp1;
Data[5] = ref_temp1>>8;
Data[6] = temp1;
Data[7] = temp1>>8;

Data[8] = resistencias;
Data[9] = resistencias>>8;
Data[10] = aire;
Data[11] = aire>>8;
Data[12] = humidificador;
Data[13] = humidificador>>8;
Data[14] = deshumidificador;
Data[15] = deshumidificador>>8;

usb_bulk_read(dev,EP_IN,Data,16,Timeout); // lee 128 bits de Data[0] hasta Data[15]/*

```

```

//MONITOREO DE SEÑALES LINEAS PARA GUARDAR EL COMPORTAMIENTO DE
LAS VARIABLES EN ARCHIVOS.TXT
// TEMPERATURA
fprintf(Archivo_0,"\n%u",(unsigned short)((unsigned char)Data[1] <<8 | (unsigned
char)Data[0]));
fprintf(Archivo_1,"\n%d",(short)((unsigned char)Data[3] <<8 | (unsigned char)Data[2]));
fprintf(Archivo_2,"\n%u",(unsigned short)((unsigned char)Data[5] <<8 | (unsigned
char)Data[4]));
fprintf(Archivo_3,"\n%d",(short)((unsigned char)Data[7] <<8 | (unsigned char)Data[6]));

ref_hum1= (unsigned char)Data[1] <<8 | (unsigned char)Data[0];
hum1=(unsigned char)Data[3] <<8 | (unsigned char)Data[2];

ref_temp1= (unsigned char)Data[5] <<8 | (unsigned char)Data[4];
temp1=(unsigned char)Data[7] <<8 | (unsigned char)Data[6];

resistencias= (unsigned char)Data[9] <<8 | (unsigned char)Data[8];
aire= (unsigned char)Data[11] <<8 | (unsigned char)Data[10];
humidificador= (unsigned char)Data[13] <<8 | (unsigned char)Data[12];
deshumidificador= (unsigned char)Data[15] <<8 | (unsigned char)Data[14];

//ref_hum=(ref_hum1*100.0/9830.0)-26.66;
ref_hum=28;-----referencia de humedad establecida
por el usuario
hum=(hum1*100.0/9830.0)-26.66;

//ref_temp=ref_temp1*50/16383;

ref_temp=19;-----referencia de temperatura establecida
por el usuario
temp=temp1*50/16383;

nt=temp;

printf("\nref humedad=%f",ref_hum);
printf("\nhumedad=%f",hum);
printf("\nref temperatura=%f",ref_temp);
printf("\ntemp=%f",temp);

e = ref_hum-hum;
ce = e-ep;
ep = e;

e_temp=ref_temp-temp;
ce_temp=e_temp-ep_temp;
ep_temp=e_temp;

//identificando pertenencia del error para HUMEDAD
yng_e=0.0; ynp_e=0.0; yceros_e=0.0; ypp_e=0.0; ypg_e=0.0;
if(e<=e1)
{ yng_e=1.0; ynp_e=0.0; yceros_e=0.0; ypp_e=0.0; ypg_e=0.0;

```

```

}
else if(e>=e5)
{ yng_e=0.0; ynp_e=0.0; ycero_e=0.0; ypp_e=0.0; ypg_e=1.0;
}
else
{ if(e<=e2 && e>e1)
{ yng_e = y_recta(1.0,0.0,e1,e2,e);
  ynp_e = y_recta(0.0,1.0,e1,e2,e);}
else if(e<=e3 && e>e2)
{ ynp_e = y_recta(1.0,0.0,e2,e3,e);
  ycero_e = y_recta(0.0,1.0,e2,e3,e);}
else if(e<=e4 && e>e3)
{ ycero_e = y_recta(1.0,0.0,e3,e4,e);
  ypp_e = y_recta(0.0,1.0,e3,e4,e);}
else
{ ypp_e = y_recta(1.0,0.0,e4,e5,e);
  ypg_e = y_recta(0.0,1.0,e4,e5,e);}
}

//identificando pertenencia del error para TEMPERATURA

yng_e_temp=0.0;ynp_e_temp=0.0;ycero_e_temp=0.0;ypp_e_temp=0.0;ypg_e_temp=0.0;
if(e_temp<=e1_temp)
{ yng_e_temp=1; ynp_e_temp=0; ycero_e_temp=0; ypp_e_temp=0;
ypg_e_temp=0;
}
else if(e_temp>=e5_temp)
{ yng_e_temp=0; ynp_e_temp=0; ycero_e_temp=0; ypp_e_temp=0;
ypg_e_temp=1;
}
else
{ if(e_temp<=e2_temp && e_temp>e1_temp)
{ yng_e_temp = y_recta(1.0,0.0,e1_temp,e2_temp,e_temp);
  ynp_e_temp = y_recta(0.0,1.0,e1_temp,e2_temp,e_temp);}
else if(e_temp<=e3_temp && e_temp>e2_temp)
{ ynp_e_temp = y_recta(1.0,0.0,e2_temp,e3_temp,e_temp);
  ycero_e_temp = y_recta(0.0,1.0,e2_temp,e3_temp,e_temp);}
else if(e_temp<=e4_temp && e_temp>e3_temp)
{ ycero_e_temp = y_recta(1.0,0.0,e3_temp,e4_temp,e_temp);
  ypp_e_temp = y_recta(0.0,1.0,e3_temp,e4_temp,e_temp);}
else
{ ypp_e_temp = y_recta(1.0,0.0,e4_temp,e5_temp,e_temp);
  ypg_e_temp = y_recta(0.0,1.0,e4_temp,e5_temp,e_temp);}
}

// identificando pertenencia del cambio en el error HUMEDAD
yng_ce=0.0;ynp_ce=0.0;ycero_ce=0.0;ypp_ce=0.0;ypg_ce=0.0;
if(ce<=ce1)
{ yng_ce = y_recta(0.0,1.0,cex,ce1,ce);
  if(yng_ce<=0) yng_ce = 0;
}
else if(ce>=ce5)
{ ypg_ce = y_recta(1.0,0.0,ce5,cey,ce);
  if(ypg_ce<=0) ypg_ce = 0;
}

```

```

else
{ if(ce<=ce2 && ce>ce1)
  { yng_ce = y_recta(1.0,0.0,ce1,ce2,ce);
    ynp_ce = y_recta(0.0,1.0,ce1,ce2,ce);}
  else if(ce<=ce3 && ce>ce2)
  { ynp_ce = y_recta(1.0,0.0,ce2,ce3,ce);
    ycero_ce = y_recta(0.0,1.0,ce2,ce3,ce);}
  else if(ce<=ce4 && ce>ce3)
  { ycero_ce = y_recta(1.0,0.0,ce3,ce4,ce);
    ypp_ce = y_recta(0.0,1.0,ce3,ce4,ce);}
  else
  { ypp_ce = y_recta(1.0,0.0,ce4,ce5,ce);
    ypg_ce = y_recta(0.0,1.0,ce4,ce5,ce);}
}

```

// identificando pertenencia del cambio en el error TEMPERATURA

```
yng_ce_temp=0.0;ynp_ce_temp=0.0;ycero_ce_temp=0.0;ypp_ce_temp=0.0;ypg_ce_temp=0.0;
```

```

if(ce_temp<=ce1_temp)
{ yng_ce_temp = y_recta(0.0,1.0,ce1_temp,ce1_temp,ce_temp);
  if(yng_ce_temp<=0) yng_ce_temp = 0;
}
else if(ce_temp>=ce5_temp)
{ ypg_ce_temp = y_recta(1.0,0.0,ce5_temp,ce5_temp,ce_temp);
  if(ypg_ce_temp<=0) ypg_ce_temp = 0;
}
else
{ if(ce_temp<=ce2_temp && ce_temp>ce1_temp)
  { yng_ce_temp = y_recta(1.0,0.0,ce1_temp,ce2_temp,ce_temp);
    ynp_ce_temp = y_recta(0.0,1.0,ce1_temp,ce2_temp,ce_temp);}
  else if(ce_temp<=ce3_temp && ce_temp>ce2_temp)
  { ynp_ce_temp = y_recta(1.0,0.0,ce2_temp,ce3_temp,ce_temp);
    ycero_ce_temp = y_recta(0.0,1.0,ce2_temp,ce3_temp,ce_temp);}
  else if(ce_temp<=ce4_temp && ce_temp>ce3_temp)
  { ycero_ce_temp = y_recta(1.0,0.0,ce3_temp,ce4_temp,ce_temp);
    ypp_ce_temp = y_recta(0.0,1.0,ce3_temp,ce4_temp,ce_temp);}
  else
  { ypp_ce_temp = y_recta(1.0,0.0,ce4_temp,ce5_temp,ce_temp);
    ypg_ce_temp = y_recta(0.0,1.0,ce4_temp,ce5_temp,ce_temp);}
}

```

//identificando pertenencia del nivel de temperatura

```
yb_nt=0.0;ym_nt=0.0;ya_nt=0.0;
```

```

if(nt<=nt1)
{ yb_nt=1; ym_nt=0; ya_nt=0;
}
else if(nt>=nt3)
{ yb_nt=0; ym_nt=0; ya_nt=1;
}
else
{ if(nt<=nt2 && nt>nt1)
  { yb_nt = y_recta(1.0,0.0,nt1,nt2,nt);
    ym_nt = y_recta(0.0,1.0,nt1,nt2,nt);}
  else if(nt<=nt3 && nt>nt2)
  { ym_nt = y_recta(1.0,0.0,nt2,nt3,nt);
    ya_nt = y_recta(0.0,1.0,nt2,nt3,nt);}
}

```

```

}

//////////base de reglas HUMEDAD//////////

if(yng_e!=0)
{
  if(yb_nt!=0)
  {
    if(yng_ce!=0){ FUERZA[0] = yng_e * yng_ce;   aux[0]=-2;}
    if(ynp_ce!=0){ FUERZA[1] = yng_e * ynp_ce;   aux[1]=-2;}
    if(ycero_ce!=0){ FUERZA[2] = yng_e * ycero_ce;   aux[2]=-2;}
    if(ypp_ce!=0){ FUERZA[3] = yng_e * ypp_ce;   aux[3]=-2;}
    if(ypg_ce!=0){ FUERZA[4] = yng_e * ypg_ce;   aux[4]=-2;}
  }

  if(ym_nt!=0)
  {
    if(yng_ce!=0){ FUERZA[5] = yng_e * yng_ce;   aux[5]=-2;}
    if(ynp_ce!=0){ FUERZA[6] = yng_e * ynp_ce;   aux[6]=-2;}
    if(ycero_ce!=0){ FUERZA[7] = yng_e * ycero_ce;   aux[7]=-2;}
    if(ypp_ce!=0){ FUERZA[8] = yng_e * ypp_ce;   aux[8]=-2;}
    if(ypg_ce!=0){ FUERZA[9] = yng_e * ypg_ce;   aux[9]=-1;}
  }

  if(ya_nt!=0)
  {
    if(yng_ce!=0){ FUERZA[10] = yng_e * yng_ce;   aux[10]=-2;}
    if(ynp_ce!=0){ FUERZA[11] = yng_e * ynp_ce;   aux[11]=-2;}
    if(ycero_ce!=0){ FUERZA[12] = yng_e * ycero_ce;   aux[12]=-2;}
    if(ypp_ce!=0){ FUERZA[13] = yng_e * ypp_ce;   aux[13]=-2;}
    if(ypg_ce!=0){ FUERZA[14] = yng_e * ypg_ce;   aux[14]=-1;}
  }
}

if(ynp_e!=0)
{
  if(yb_nt!=0)
  {
    if(yng_ce!=0){ FUERZA[15] = ynp_e * yng_ce;   aux[15]=-2;}
    if(ynp_ce!=0){ FUERZA[16] = ynp_e * ynp_ce;   aux[16]=-2;}
    if(ycero_ce!=0){ FUERZA[17] = ynp_e * ycero_ce;   aux[17]=-2;}
    if(ypp_ce!=0){ FUERZA[18] = ynp_e * ypp_ce;   aux[18]=-2;}
    if(ypg_ce!=0){ FUERZA[19] = ynp_e * ypg_ce;   aux[19]=-1;}
  }

  if(ym_nt!=0)
  {
    if(yng_ce!=0){ FUERZA[20] = ynp_e * yng_ce;   aux[20]=-1;}
    if(ynp_ce!=0){ FUERZA[21] = ynp_e * ynp_ce;   aux[21]=-1;}
    if(ycero_ce!=0){ FUERZA[22] = ynp_e * ycero_ce;   aux[22]=-1;}
    if(ypp_ce!=0){ FUERZA[23] = ynp_e * ypp_ce;   aux[23]=-1;}
    if(ypg_ce!=0){ FUERZA[24] = ynp_e * ypg_ce;   aux[24]=-1;}
  }
}

```

```

if(ya_nt!=0)
{
  if(yng_ce!=0){ FUERZA[25] = ynp_e * yng_ce;   aux[25]=-2;}
  if(ynp_ce!=0){ FUERZA[26] = ynp_e * ynp_ce;   aux[26]=-2;}
  if(ycero_ce!=0){ FUERZA[27] = ynp_e * ycero_ce;   aux[27]=-1;}
  if(ypp_ce!=0){ FUERZA[28] = ynp_e * ypp_ce;   aux[28]=-1;}
  if(ypg_ce!=0){ FUERZA[29] = ynp_e * ypg_ce;   aux[29]=-1;}
}
}

```

```

if(ycero_e!=0)
{
  if(yb_nt!=0)
  {
    if(yng_ce!=0){ FUERZA[30] = ycero_e * yng_ce;   aux[30]=-2;}
    if(ynp_ce!=0){ FUERZA[31] = ycero_e * ynp_ce;   aux[31]=-2;}
    if(ycero_ce!=0){ FUERZA[32] = ycero_e * ycero_ce;   aux[32]=0;}
    if(ypp_ce!=0){ FUERZA[33] = ycero_e * ypp_ce;   aux[33]=1;}
    if(ypg_ce!=0){ FUERZA[34] = ycero_e * ypg_ce;   aux[34]=1;}
  }
}

```

```

if(ym_nt!=0)
{
  if(yng_ce!=0){ FUERZA[35] = ycero_e * yng_ce;   aux[35]=-2;}
  if(ynp_ce!=0){ FUERZA[36] = ycero_e * ynp_ce;   aux[36]=-1;}
  if(ycero_ce!=0){ FUERZA[37] = ycero_e * ycero_ce;   aux[37]=0;}
  if(ypp_ce!=0){ FUERZA[38] = ycero_e * ypp_ce;   aux[38]=1;}
  if(ypg_ce!=0){ FUERZA[39] = ycero_e * ypg_ce;   aux[39]=2;}
}
}

```

```

if(ya_nt!=0)
{
  if(yng_ce!=0){ FUERZA[40] = ycero_e * yng_ce;   aux[40]=-1;}
  if(ynp_ce!=0){ FUERZA[41] = ycero_e * ynp_ce;   aux[41]=-1;}
  if(ycero_ce!=0){ FUERZA[42] = ycero_e * ycero_ce;   aux[42]=0;}
  if(ypp_ce!=0){ FUERZA[43] = ycero_e * ypp_ce;   aux[43]=2;}
  if(ypg_ce!=0){ FUERZA[44] = ycero_e * ypg_ce;   aux[44]=2;}
}
}

```

```

if(ypp_e!=0)
{
  if(yb_nt!=0)
  {
    if(yng_ce!=0){ FUERZA[45] = ypp_e * yng_ce;   aux[45]=1;}
    if(ynp_ce!=0){ FUERZA[46] = ypp_e * ynp_ce;   aux[46]=1;}
    if(ycero_ce!=0){ FUERZA[47] = ypp_e * ycero_ce;   aux[47]=1;}
    if(ypp_ce!=0){ FUERZA[48] = ypp_e * ypp_ce;   aux[48]=1;}
    if(ypg_ce!=0){ FUERZA[49] = ypp_e * ypg_ce;   aux[49]=1;}
  }
}

```

```

if(ym_nt!=0)
{
  if(yng_ce!=0){ FUERZA[50] = ypp_e * yng_ce;   aux[50]=1;}
  if(ynp_ce!=0){ FUERZA[51] = ypp_e * ynp_ce;   aux[51]=1;}
  if(ycero_ce!=0){ FUERZA[52] = ypp_e * ycero_ce;   aux[52]=1;}
  if(ypp_ce!=0){ FUERZA[53] = ypp_e * ypp_ce;   aux[53]=1;}
  if(ypg_ce!=0){ FUERZA[54] = ypp_e * ypg_ce;   aux[54]=1;}
}

```

```

if(ya_nt!=0)
{
  if(yng_ce!=0){ FUERZA[55] = ypp_e * yng_ce;   aux[55]=1;}
  if(ynp_ce!=0){ FUERZA[56] = ypp_e * ynp_ce;   aux[56]=2;}
  if(ycero_ce!=0){ FUERZA[57] = ypp_e * ycero_ce;   aux[57]=2;}
  if(ypp_ce!=0){ FUERZA[58] = ypp_e * ypp_ce;   aux[58]=2;}
  if(ypg_ce!=0){ FUERZA[59] = ypp_e * ypg_ce;   aux[59]=2;}
}
}

```

```

if(ypg_e!=0)
{
  if(yb_nt!=0)
  {
    if(yng_ce!=0){ FUERZA[60] = ypg_e * yng_ce;   aux[60]=1;}
    if(ynp_ce!=0){ FUERZA[61] = ypg_e * ynp_ce;   aux[61]=1;}
    if(ycero_ce!=0){ FUERZA[62] = ypg_e * ycero_ce;   aux[62]=1;}
    if(ypp_ce!=0){ FUERZA[63] = ypg_e * ypp_ce;   aux[63]=2;}
    if(ypg_ce!=0){ FUERZA[64] = ypg_e * ypg_ce;   aux[64]=2;}
  }
}

```

```

if(ym_nt!=0)
{
  if(yng_ce!=0){ FUERZA[65] = ypg_e * yng_ce;   aux[65]=2;}
  if(ynp_ce!=0){ FUERZA[66] = ypg_e * ynp_ce;   aux[66]=2;}
  if(ycero_ce!=0){ FUERZA[67] = ypg_e * ycero_ce;   aux[67]=2;}
  if(ypp_ce!=0){ FUERZA[68] = ypg_e * ypp_ce;   aux[68]=2;}
  if(ypg_ce!=0){ FUERZA[69] = ypg_e * ypg_ce;   aux[69]=2;}
}

```

```

if(ya_nt!=0)
{
  if(yng_ce!=0){ FUERZA[70] = ypg_e * yng_ce;   aux[70]=2;}
  if(ynp_ce!=0){ FUERZA[71] = ypg_e * ynp_ce;   aux[71]=2;}
  if(ycero_ce!=0){ FUERZA[72] = ypg_e * ycero_ce;   aux[72]=2;}
  if(ypp_ce!=0){ FUERZA[73] = ypg_e * ypp_ce;   aux[73]=2;}
  if(ypg_ce!=0){ FUERZA[74] = ypg_e * ypg_ce;   aux[74]=2;}
}
}

```

```

//////////base de reglas TEMPERATURA//////////
if(yng_e_temp!=0)

```

```

        { if(yng_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[0] = yng_e_temp * yng_ce_temp;
aux_temp[0]=-2;}
        if(ynp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[1] = yng_e_temp * ynp_ce_temp;
aux_temp[1]=-2;}
        if(ycero_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[2] = yng_e_temp * ycero_ce_temp;
aux_temp[2]=-2;}
        if(ypp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[3] = yng_e_temp * ypp_ce_temp;
aux_temp[3]=-2;}
        if(ypg_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[4] = yng_e_temp * ypg_ce_temp;
aux_temp[4]=-1;}
        }
        if(ynp_e_temp!=0)
        { if(yng_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[5] = ynp_e_temp * yng_ce_temp;
aux_temp[5]=-1;}
        if(ynp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[6] = ynp_e_temp * ynp_ce_temp;
aux_temp[6]=-1;}
        if(ycero_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[7] = ynp_e_temp * ycero_ce_temp;
aux_temp[7]=-1;}
        if(ypp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[8] = ynp_e_temp * ypp_ce_temp;
aux_temp[8]=-1;}
        if(ypg_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[9] = ynp_e_temp * ypg_ce_temp;
aux_temp[9]=-1;}
        }
        if(ycero_e_temp!=0)
        { if(yng_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[10] = ycero_e_temp * yng_ce_temp;
aux_temp[10]=-2;}
        if(ynp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[11] = ycero_e_temp * ynp_ce_temp;
aux_temp[11]=-1;}
        if(ycero_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[12] = ycero_e_temp * ycero_ce_temp;
aux_temp[12]=0;}
        if(ypp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[13] = ycero_e_temp * ypp_ce_temp;
aux_temp[13]=1;}
        if(ypg_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[14] = ycero_e_temp * ypg_ce_temp;
aux_temp[14]=2;}
        }
        if(ypp_e_temp!=0)
        { if(yng_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[15] = ypp_e_temp * yng_ce_temp;
aux_temp[15]=1;}
        if(ynp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[16] = ypp_e_temp * ynp_ce_temp;
aux_temp[16]=1;}
        if(ycero_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[17] = ypp_e_temp * ycero_ce_temp;
aux_temp[17]=1;}
        if(ypp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[18] = ypp_e_temp * ypp_ce_temp;
aux_temp[18]=1;}
        if(ypg_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[19] = ypp_e_temp * ypg_ce_temp;
aux_temp[19]=1;}
        }
        if(ypg_e_temp!=0)
        { if(yng_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[20] = ypg_e_temp * yng_ce_temp;
aux_temp[20]=1;}
        if(ynp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[21] = ypg_e_temp * ynp_ce_temp;
aux_temp[21]=2;}
        if(ycero_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[22] = ypg_e_temp * ycero_ce_temp;
aux_temp[22]=2;}
        if(ypp_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[23] = ypg_e_temp * ypp_ce_temp;
aux_temp[23]=2;}

```

```

        if(ypg_ce_temp!=0){ FUERZA_temp[24] = ypg_e_temp* ypg_ce_temp;
aux_temp[24]=2;}
    }

```

```

area = 0;
F = 0;
for(i=0; i<75; i++)
{ if(FUERZA[i]!=0)
  { A[i] = 43690 * (FUERZA[i] - FUERZA[i]*FUERZA[i]*0.5);
  }
  else
  { A[i] = 0;
  }
  area = area + A[i];
  if (aux[i] == 0)
  { A[i] = A[i] * 0;
  }
  else if (aux[i] == -1)
  { A[i] = A[i] * -21845;
  }
  else if (aux[i] == -2)
  { A[i] = A[i] * -43690;
  }
  else if (aux[i] == 1)
  { A[i] = A[i] * 21845;
  }
  else if (aux[i] == 2)
  {A[i] = A[i] * 43690;
  }
  F = F + A[i];
}

```

```

area_temp = 0;
F_temp = 0;
for(j=0; j<25; j++)
{ if(FUERZA_temp[j]!=0)
  { A_temp[j] = 43690 * (FUERZA_temp[j] - FUERZA_temp[j]*FUERZA_temp[j]*0.5);
  }
  else
  { A_temp[j] = 0;
  }
  area_temp = area_temp + A_temp[j];
  if (aux_temp[j] == 0)
  { A_temp[j] = A_temp[j] * 0;
  }
  else if (aux_temp[j] == -1)
  { A_temp[j] = A_temp[j] * -21845;
  }
  else if (aux_temp[j] == -2)
  { A_temp[j] = A_temp[j] * -43690;
  }
  else if (aux_temp[j] == 1)
  { A_temp[j] = A_temp[j] * 21845;
  }
  else if (aux_temp[j] == 2)

```

```

    {A_temp[j] = A_temp[j] * 43690;
    }
    F_temp = F_temp + A_temp[j];
}

F=F/area;
F_temp = F_temp/area_temp;

printf("\nfuerza humedad=%f",F);

printf("\nfuerza teperatura=%f",F_temp);

//////////SALIDA TEMPERATURA

if(F_temp>=2000)
{

RESISTENCIAS=(int)ceil (F_temp);
AIRE=0;

}

if (F_temp<2000 && F_temp>=-4500)
{

RESISTENCIAS=0;
AIRE=0;

}

if (F_temp<(-4500))
{

RESISTENCIAS=0;
AIRE=64535;

}

//////////SALIDA HUMEDAD
if(F>=7000)
{

HUMIDIFICADOR=(int)ceil (F);
DESHUMIDIFICADOR=0;

}

else if (F<7000 && F>=-1000)
{

HUMIDIFICADOR=0;

```

```

        DESHUMIDIFICADOR=0;
    }
    else if (F < -1000&& F > -66000)
    {

        HUMIDIFICADOR=0;
        DESHUMIDIFICADOR=64535;
    }
    Data[0] = RESISTENCIAS;
    Data[1] = RESISTENCIAS>>8;
    Data[2] = AIRE;
    Data[3] = AIRE>>8;
    Data[4] = HUMIDIFICADOR;
    Data[5] = HUMIDIFICADOR>>8;
    Data[6] = DESHUMIDIFICADOR;
    Data[7] = DESHUMIDIFICADOR>>8;
    usb_bulk_write(dev, EP_OUT,Data,32,TimeOut);

    /*
    //64535
    RESISTENCIAS=0;
    //AIRE=0;
    AIRE=0;
    HUMIDIFICADOR=0;
    DESHUMIDIFICADOR=0;

    Data[0] = RESISTENCIAS;
    Data[1] = RESISTENCIAS>>8;
    Data[2] = AIRE;
    Data[3] = AIRE>>8;
    Data[4] = HUMIDIFICADOR;
    Data[5] = HUMIDIFICADOR>>8;
    Data[6] = DESHUMIDIFICADOR;
    Data[7] = DESHUMIDIFICADOR>>8;

    usb_bulk_write(dev, EP_OUT,Data,32,TimeOut);
    */

}
// Cierre de puerto
usbTerminate();
return 1;
}

```

6.2 APÉNDICE B

Código para la integración de módulos en VHDL

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;
use IEEE.NUMERIC_STD.all;

entity prueba_proyecto is
    port(
        CLK : in STD_LOGIC;
        RST : in STD_LOGIC;

-- ADC
        ADC_DCLK : out STD_LOGIC;
        ADC_DIN : out STD_LOGIC;
        ADC_BUSY : in STD_LOGIC;
        ADC_DOUT :in STD_LOGIC;

-- delta_PWM
        Z1: out STD_LOGIC;
        Z2: out STD_LOGIC;
        Z3: out STD_LOGIC;
        Z4: out STD_LOGIC;

--outPWM out STD_LOGIC;

-- DAC
        DAC_SCLK : out STD_LOGIC;
        DAC_SYNC : out STD_LOGIC;
        DAC_DIN : out STD_LOGIC;
        DAC_LDAC : out STD_LOGIC;
        DAC_RST : out STD_LOGIC;

-- USB
        USB_DP : inout STD_LOGIC;
        USB_DM : inout STD_LOGIC);

end prueba_proyecto;

architecture prueba_proyecto of prueba_proyecto is

Component pidMacMultiply
    generic(n : integer := 16;
           m : integer := 2);
    port(
        X : in STD_LOGIC_VECTOR(n-1 downto 0);
        A : in STD_LOGIC_VECTOR(m-1 downto 0);
        R : out STD_LOGIC_VECTOR(m+n-1 downto 0)
    );
end component;
```

```

Component usbUSB_v5_0
  generic(VID : integer := 0;
    PID : integer := 0);
  port (
    RST: in STD_LOGIC;
    CLK48: in STD_LOGIC;
    SLOT: in STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
    USB_DP: inout STD_LOGIC;
    USB_DM: inout STD_LOGIC;
    CS: in STD_LOGIC_VECTOR (2 downto 1);
    STALL: in STD_LOGIC_VECTOR (2 downto 1);
    RDY: out STD_LOGIC_VECTOR (2 downto 1);
    Di : in STD_LOGIC_VECTOR(127 downto 0);
    Do : out STD_LOGIC_VECTOR(255 downto 0));
end component;

```

```

component ADS7841
  port(
    RST : in STD_LOGIC;
    CLK : in STD_LOGIC;
    RD : in STD_LOGIC;
    EOR : out STD_LOGIC;
    Ch0 : out STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
    Ch1 : out STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
    Ch2 : out STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
    Ch3 : out STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
    ADC_DCLK : out STD_LOGIC;
    ADC_DIN : out STD_LOGIC;
    ADC_BUSY : in STD_LOGIC;
    ADC_DOUT : in STD_LOGIC);
end component;

```

```

component DAC7565
  port(
    RST : in STD_LOGIC;
    CLK : in STD_LOGIC;
    WR : in STD_LOGIC;
    EOW : out STD_LOGIC;
    DRST : in STD_LOGIC;
    Ch0 : in STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
    Ch1 : in STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
    Ch2 : in STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
    Ch3 : in STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
    DAC_SCLK : out STD_LOGIC;
    DAC_SYNC : out STD_LOGIC;
    DAC_DIN : out STD_LOGIC;
    DAC_LDAC : out STD_LOGIC;
    DAC_RST : out STD_LOGIC);
end component;

```

```

component delta_PWM
  generic(n : integer := 16);

```

```

    port(
        RST : in std_logic;
        CLK : in std_logic;
        Ai  : in std_logic_vector(n-1 downto 0);
        Z   : out std_logic
    );
end component;

--- MMU
signal Int1,Int2,Int3,Int4,Int5,Int6,Int7,Int8 : std_logic;
signal Ai1,Ai2,Ai3,Ai4,Ai5,Ai6,Ai7,Ai8 : std_logic_vector (24-1 downto 0);
signal ND1,ND2,ND3,ND4,ND5,ND6,ND7,ND8 : std_logic_vector (24-1 downto 0);
signal WR_RD1,WR_RD2,WR_RD3,WR_RD4,WR_RD5,WR_RD6,WR_RD7,WR_RD8 :
std_logic_vector (0 downto 0);
signal WR,WR_1,WR_L,WR_2,WR_WR_DRAM,RD_RD_DRAM : std_logic;
signal RDY1,RDY2,RDY3,RDY4,RDY5,RDY6,RDY7,RDY8 : std_logic_vector (0 downto 0);
signal CS_DRAM,CS_MMU,CS1,CS2,CS3,CS4,CS5,CS6,CS7,CS8 : std_logic_vector (0 downto
0);
signal CLR : std_logic;
-- WR_DRAM
signal H1,H2,H3,H4,H5,H6,H7 : std_logic;
signal NDWR,NDWR1,INDX : std_logic_vector (23 downto 0);
signal Ai_1 : std_logic_vector (23 downto 0);
signal AfWR1 : std_logic_vector (23 downto 0);
signal D1a,D2a,D3a,D4a,D5a,D6a,D7a,D8a : std_logic_vector (15 downto 0);
signal Do1,Do2,Do3,Do4,Do5,Do6,Do7,Do8 : std_logic_vector (15 downto 0);
signal Di,Di_aux,Do_DRAM : std_logic_vector (15 downto 0);
signal ND_DRAM : std_logic_vector (23 downto 0);
--RD_DRAM
signal RDY_USB,CS_USB : std_logic;
signal Ai_RD,Af_RD,ND_BLK,Af_DRAM,Ai_MMU : std_logic_vector (23 downto 0);
signal RDY_RD_DRAM : std_logic;
signal DO_USB : std_logic_vector (127 downto 0);
signal RDY_DRAM : std_logic_vector (0 downto 0);
signal CSUSBL, RDYUSBL : std_logic_vector (1 downto 0);
signal CS_USB1,RDY_USB1 : std_logic;
signal Do_256 : std_logic_vector (255 downto 0);
signal PM : std_logic_vector (23 downto 0); -- Frecuencia de muestreo
signal SSPC : std_logic_vector (7 downto 0); -- pulso START
signal Ch0,Ch1,Ch2,Ch3,Y,Err : std_logic_vector(15 downto 0);
signal EOR,EOW : std_logic;

-- PID
signal WR_PID,RDY_PID : std_logic;
signal Ref,Y_PWM,Y_1,Y_2,a0_1,a1_1,a2_1 : std_logic_vector (15 downto 0);

signal Sensor1: std_logic_vector (17 downto 0);
signal Sensor, SensorS,aire,resistencias,humidificador,deshumidificador : std_logic_vector (15
downto 0);

-- PWM
signal RDY_PWM : std_logic;

signal OP : std_logic;

-- delta_PWM

```

```

--signal Z: std_logic;

signal NOT_ADC_BUSY : std_logic;

begin

    Sensor <= (others=>'0') when Ch0(15)='1' or Ch0 (15 downto 0)<= "0000101011110000"
else Ch0(14 downto 0) & '0';

    Do_USB <= deshumidificador & humidificador & aire & resistencias &Ch3&Ch2&Ch1&Ch0;

    CSUSBL <= NOT_ADC_BUSY & NOT_ADC_BUSY;

    NOT_ADC_BUSY<=NOT(ADC_BUSY);

    USB1 : usbUSB_v5_0 generic map (9001,7929)
    port map
(RST,CLK,"00000000",USB_DP,USB_DM,CSUSBL,"00",RDYUSBL,Do_USB,Do_256);

    ADC_1 : ADS7841 port map
(RST,CLK,'1',EOR,Ch0,Ch1,Ch2,Ch3,ADC_DCLK,ADC_DIN,ADC_BUSY,ADC_DOUT);

    DAC_1 : DAC7565 port map
(RST,CLK,EOR,EOW,'0',Ch0,Ch1,Ch2,Ch3,DAC_SCLK,DAC_SYNC,DAC_DIN,DAC_LDAC,DAC_
RST);

    resistencias <= Do_256(15 downto 0);
    aire <= Do_256(31 downto 16);
    humidificador <= Do_256(47 downto 32);
    deshumidificador <= Do_256(63 downto 48);

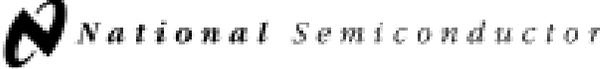
    PWM_1 : delta_PWM generic map (16) port map (RST,CLK,resistencias,Z1);
    PWM_2 : delta_PWM generic map (16) port map (RST,CLK,aire,Z2);
    PWM_3 : delta_PWM generic map (16) port map (RST,CLK,humidificador,Z3);
    PWM_4 : delta_PWM generic map (16) port map (RST,CLK,deshumidificador,Z4);

end prueba_proyecto;

```

6.3 APÉNDICE C

Hoja de datos, sensor de temperatura lm35


November 2000

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in $^{\circ}$ Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/2^{\circ}\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ over a full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only 60 μA from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-48 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^{\circ}$ Celsius (Centigrade)
- Linear $+ 10.0 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^{\circ}\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 60 μA current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/2^{\circ}\text{C}$ typical
- Low impedance output, 0.1Ω for 1 mA load

Typical Applications

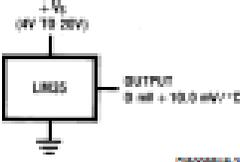
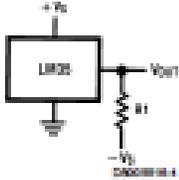


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_1/50 \mu\text{A}$
 $V_{\text{out}} = +1,500 \text{ mV}$ at $+150^{\circ}\text{C}$
 $= +250 \text{ mV}$ at $+25^{\circ}\text{C}$
 $= -550 \text{ mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

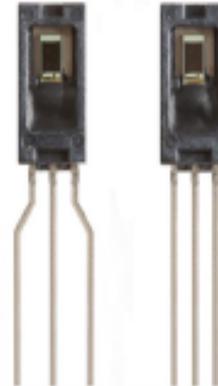
6.4 APÉNDICE D

Hoja de datos, sensor de humedad HIH-4000-02

Honeywell

HIH-4000 Series

Humidity Sensors



DESCRIPTION

The HIH-4000 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users.

Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's near linear voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-4000 Series is often ideally suited for low drain, battery operated systems.

Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

FEATURES

- Molded thermoset plastic housing
- Near linear voltage output vs % RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- Enhanced accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

The HIH-4000 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SIP (Single In-Line Package).

Available in two lead spacing configurations, the RH sensor is a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning.

The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as wetting, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

POTENTIAL APPLICATIONS

- Refrigeration equipment
- HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) equipment
- Medical equipment
- Drying
- Metrology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

HIH-4000 Series

Figure 3. Typical Output Voltage vs Relative Humidity (At 25 °C and 5 V.)

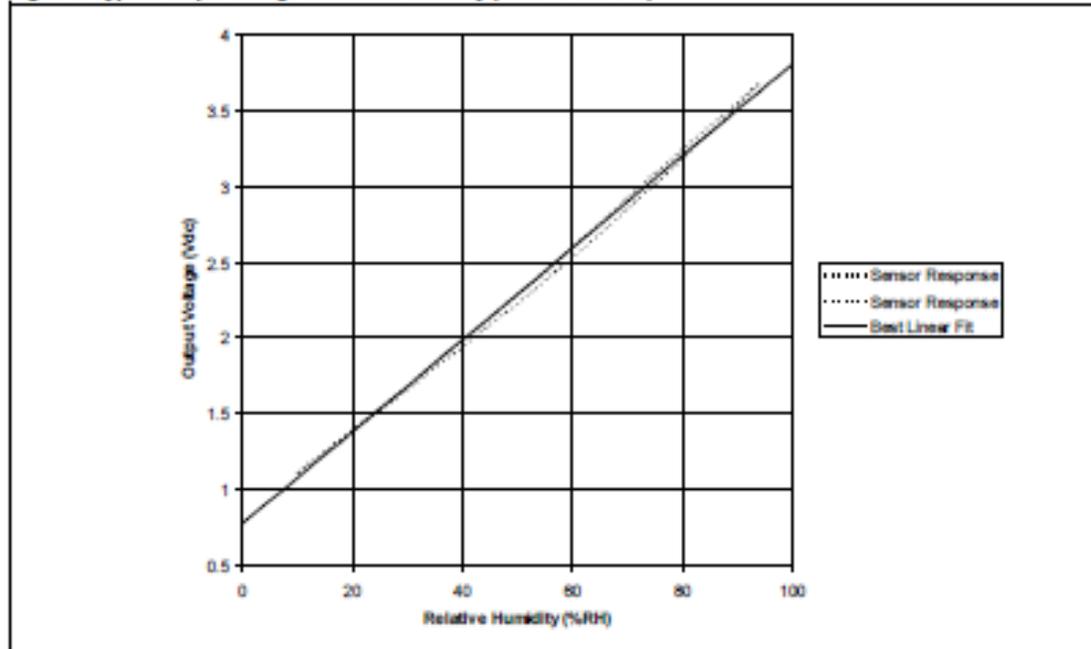
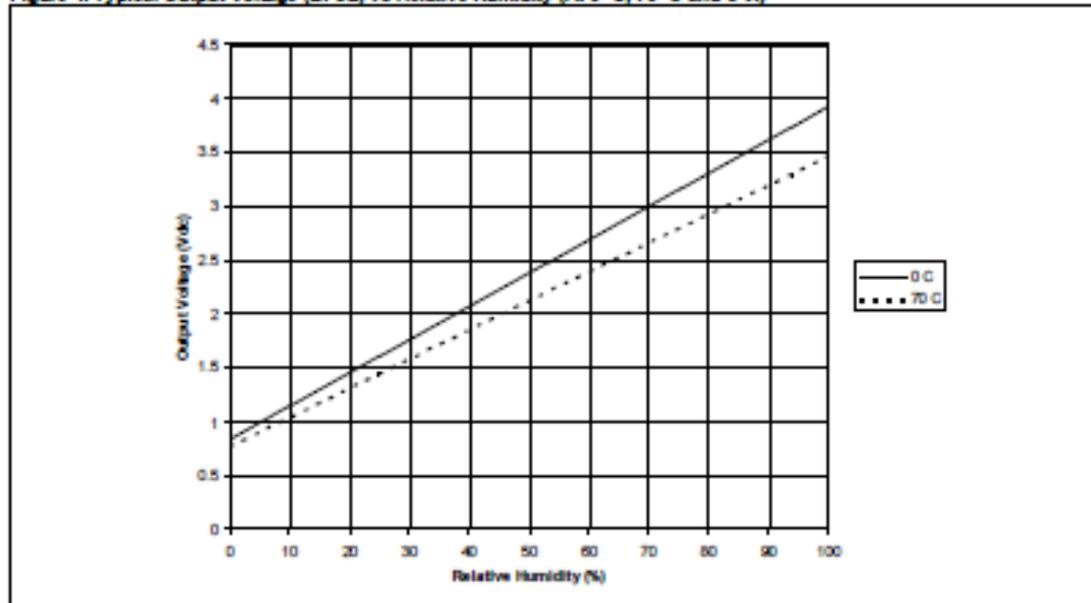


Figure 4. Typical Output Voltage (BF8L) vs Relative Humidity (At 0 °C, 70 °C and 5 V.)

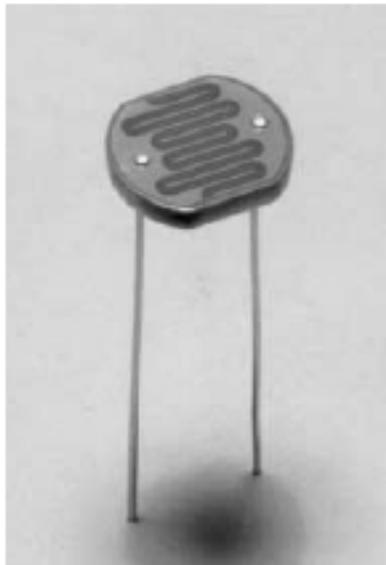


6.5 APÉNDICE E

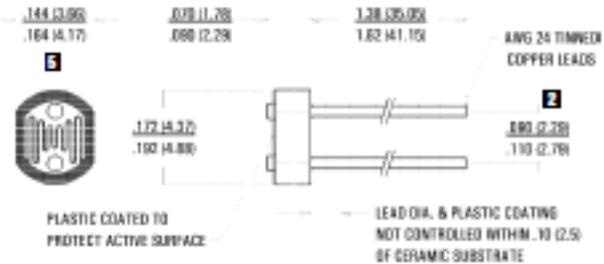
Hoja de datos, LDR VT90N1

Photoconductive Cell

VT90 Series



PACKAGE DIMENSIONS Inch (mm)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Parameter	Symbol	Rating	Units
Continuous Power Dissipation Derate Above 25°C	P_D $\Delta P_D / \Delta T$	80 1.6	mW mW/°C
Temperature Range Operating and Storage	T_A	-40 to +75	°C

ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS @ 25°C (16 hrs. light adapt, min.)

Part Number	Resistance (Ohms)						Material Type	Sensitivity (r. typ.) <small>(see reverse)</small>	Maximum Voltage (V pk)	Response Time @ 1 Hz (ms, typ.)	
	10 lux 2850 K			2 fc 2850 K	Dark					Rise (1-1/e)	Fall (1/e)
	Min.	Typ.	Max.	Typ.	Min.	sec.					
VT90N1	6 k	12 k	18 k	6 k	200 k	5	Ø	0.80	100	78	8
VT90N2	12 k	24 k	36 k	12 k	500 k	5	Ø	0.80	100	78	8
VT90N3	25 k	50 k	75 k	25 k	1 M	5	Ø	0.85	100	78	8
VT90N4	50 k	100 k	150 k	50 k	2 M	5	Ø	0.90	100	78	8
VT93N1	12 k	24 k	36 k	12 k	300 k	5	3	0.90	100	35	5
VT93N2	24 k	48 k	72 k	24 k	500 k	5	3	0.90	100	35	5
VT93N3	50 k	100 k	150 k	50 k	500 k	5	3	0.90	100	35	5
VT93N4	100 k	200 k	300 k	100 k	500 k	5	3	0.90	100	35	5
VT935-G											
Group A	10 k	18.5 k	27 k	9.3 k	1 M	5	3	0.90	100	35	5
Group B	20 k	29 k	38 k	15 k	1 M	5	3	0.90	100	35	5
Group C	31 k	40.5 k	50 k	20 k	1 M	5	3	0.90	100	35	5

See page 13 for notes.

6.6 APÉNDICE F

Hoja de datos panel solar KC130TM

SPECIFICATIONS

KC130TM

Physical Specifications

Unit: mm (in.)



Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (1000 W/m ² , 25°C)	
Maximum Power (P _{max})	130W (+10%/-5%)
Maximum Power Voltage (V _{mp})	17.6V
Maximum Power Current (I _{mp})	7.39A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	21.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.02A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.21×10 ⁻³ V/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	3.15×10 ⁻³ A/°C
*STC: Irradiance 1000W/m ² , AM1.5 spectrum, module temperature 25°C	
Electrical Performance at 800W/m ² , NOCT, AM1.5	
Maximum Power (P _{max})	92W
Maximum Power Voltage (V _{mp})	15.5V
Maximum Power Current (I _{mp})	5.94A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	19.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	6.47A
*NOCT: Maximal Ambient Temperature 45°C	

Cells	
Number per Module	36
Module Characteristics	
Length × Width × Depth	1425mm (56.118110216535433 in.) × 612mm (24.114173228346457 in.) × 34mm (1.33858267716535433 in.)
Weight	11.5kg (25.3 lbs.)
Junction Box Characteristics	
Length × Width × Depth	142mm (5.5905511811021653543 in.) × 61mm (2.39763779527559055 in.) × 34mm (1.33858267716535433 in.)
IP Code	IP65
Reduction of Efficiency under Low Irradiance	
Reduction	4.3%
Reduction of efficiency from an irradiance of 1000W/m ² to 200W/m ² (module temperature 25°C)	

Please contact our office for further information

KYOCERA
KYOCERA Corporation

KYOCERA Corporation Headquarters

COMMERCIAL SOLAR ENERGY DIVISION
8-1-2008 TOKYO-CHO
FUSHIMI-KU, KYOTO
610-8501, JAPAN
TEL: (81)75-824-3478 FAX: (81)75-824-3479
http://www.kyocera.com

KYOCERA Solar, Inc.

7815 BIRCH AVE. SUITE 2010
SCOTTSDALE, AZ 85260, USA
TEL: (1)480-988-0028 or (1)480-988-9880 FAX: (1)480-988-6431
http://www.kyocerasolar.com

KYOCERA Solar do Brasil Ltda.

AV. SERRAS DO LESTE, 1200
21790-100, PARQUE DAS SERRAS, RIO DE JANEIRO, BRASIL
TEL: (55)21-3487-8828 FAX: (55)21-3487-3338
http://www.kyocerasolar.com.br

KYOCERA Solar Pty Ltd.

Level 2, 8-10 TERNES ROAD, NORTH RYDE
N.S.W. 2113, AUSTRALIA
TEL: (61)2-9870-0968 FAX: (61)2-9888-8888
http://www.kyocerasolar.com.au

KYOCERA Fineceramics GmbH

MIL MAYER STRASSE 107, D-72780 BRUNZEL, GERMANY
TEL: (49)714-8824-817 FAX: (49)714-8824-880
http://www.kyocerasolar.com

KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd.

280 TONG ANSON ROAD, #12-02/03
CENTRAL PLACE, SINGAPORE 158720
TEL: (65)6771-8800 FAX: (65)6771-0800

KYOCERA Asia Pacific Ltd.

ROOM 801-803, TOWER 1 SOUTH BEAS CENTRE, 78 MOSEY ROAD,
TAMPARAKAI BEAS, HYDRABAD, INDIA 500075
TEL: (91)800-1037183 FAX: (91)800-7544801

KYOCERA Asia Pacific Ltd. Taipei Office

107 PL. NO. 88, HANGKANG WEST ROAD, TAIPEI, TAIWAN
TEL: (886)2-2688-2608 FAX: (886)2-2688-1331

KYOCERA(Tianjin) Sales & Trading Corporation

18F TOWER C HANGBO BUILDING 88 QUANGZHOU RD.,
CHINA TANG CITY, 300303, CHINA
TEL: (86)10-8880-2270 FAX: (86)10-8880-2280

Kyocera reserves the right to modify these specifications without notice

LE16SL0702-SAGRM

6.7 APÉNDICE G

Cotización, cámara de crecimiento comercial conviron A1000



Thermolab, S.A. de C.V.
RFC: THE0411046H6
E-mail: clientes@thermolab.com.mx

T (5255) 5603-4700
(5255) 5673-3743
clientes@thermolab.com
www.thermolab.com
Instituto Tecnológico de Atoyac, S.C. S. de C.V.
Cal. Granjer Coapa C.R. 14330
Del. Tlalpex, México D.F.



ATENCIÓN Nestor Velázquez Neyra
 Universidad Autónoma de Queretaro

TIPO DE COTIZACIÓN: LAB

FECHA: 01-abr-2013

COTIZACIÓN No: 3,981

TELÉFONO: 2533197192 ext 5527

CORREO ELECTRÓNICO: rotsenm@hotmail.com

En atención a su amable solicitud, la inversión requerida para este proyecto es de:

No	CANT.	CATALOGO	DESCRIPCION	PRECIO U.	TOTAL
001	1.00	A1000	Cámara de crecimiento. Modelo A1000. Marca Conviron	17,840.25	17,840.25

Cámara de crecimiento. Modelo A1000. Marca Conviron

Cámara de crecimiento Mca. Conviron
Con diferentes intensidades luminosas, Mod. Adapts A1000
Capacidad de la cámara: 35 fls / 1000 L.

- Rango de temperatura: +5°C a +40°C con luz apagada y 10°C a +45°C con luz encendida
- Control: +/- 0.5°C
- Rango de humedad: 90% RH ± 6%
- Interior de acero inoxidable pulido con exterior de acero Rolado y pintado
- Panel aislado con espuma
- Unidad de condensación cargada con refrigerante libre de CFC
- Unidad de condensación de aire frío con un sistema de paso de aire caliente para la operación continua del Compresor
- Válvula solenoide de larga vida que modula suavemente el calentamiento y enfriamiento
- Cuenta con ruedas de uso rudo
- Sistema de control de estado sólido PID
- Despliega los datos programados y las condiciones dentro de la cámara
- Sistema de control serie CMP6000 que incluye despliegue de gráficas, operación en tiempo real, alarmas audibles y visibles y la ayuda en la pantalla
- Programación simple que permite programar varios parámetros por día y agendado para varios días
- Reloj en tiempo real con batería de respaldo para la Retención de los programas
- Límites de temperatura alto y bajo ajustables
- Dimensiones interiores: 940 W x 635 D x 1385 H mm
- Dimensiones exteriores: 1040 W x 825 D x 2020 H mm



*El avance de la Ciencia está en ustedes,
en nosotros el Equipamiento*

VBRV

002	1.00	A1000PG	Kit crecimiento de plantas para Adaptis. Modelo A1000PG. Marca Conviron	4,428.00	4,428.00
-----	------	---------	---	----------	----------

Kit crecimiento de plantas para Adaptis. Modelo A1000PG. Marca Conviron

Rango de temperatura: + 10°C a +45°C con Luz y 4-40 C sin luz.

Area de crecimiento 2.1 m²

Altura de Crecimiento: 200mm

Dimensiones exteriores: 1040x825x2020 mm

Capacidad Interna: 736L

Intensidad de Luz: 225 mmol/m²/s

Peso Kg

VBRV

Suma:	USD	22,268.25
Descuento	USD	0.00
Subtotal	USD	22,268.25
IVA:	USD	3,562.92
Precio total de la propuesta:	USD	25,831.17

(VEINTICINCO MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y UN DOLARES 17/180 USD)

Beneficios por comprar en Thermolab:

Al comprar con Thermolab, le da la seguridad y confianza de adquirir equipos y productos de la más alta calidad, mejor tiempo de entrega, garantía y soporte técnico.



*El avance de la Ciencia está en ustedes,
en nosotros el Equipamiento*

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Amella Adolfo. Efectos del premarchitamiento de la alfalfa en el campo sobre su valor nutritivo. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Pastos, Vol.6, No.1 (1976), páginas 163-172. 2011.
- [2]. Benítez Pina Israel F., Pérez Ajo Pablo, Iglesias Rodríguez Narda, Milá Vega Juan C., Uribazo Arzuaga Ernesto, Reyes Hernández Jaime, Rojas Peña Leandro F., Villafruela Loperena Luisa, Cristóbal Suárez Raul, Fi Menéndez José. Automatización del fitotrón. Tecnología química Vol. 18, Nos. 1 y 2, 1998. Universidad de Oriente, Instituto de Investigación Fundamental de la Agricultura Tropical, Habana.
- [3]. Contreras L.M., Monitoreo de vibraciones para detección de fallas mecánicas. Tesis de Maestría. 2008. Universidad de Guanajuato.
- [4]. Duarte Ruiz Edgar Francisco, Control híbrido de iluminación aplicado a un fitotrón mediante técnicas neuronal-difusas y redes de Petri. Tesis Maestría. 2004. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [5]. El-Medany Wael M., "FPGA implementation for humidity and temperature remote sensing system," *ims3tw*, pp.1-4, 2008 IEEE 14th International Mixed-Signals, Sensors, and Systems Test Workshop, 2008.
- [6]. Fan Xiaoping and Liu Yaowu. Alterable-Phase Fuzzy Control Based on Neuronal Network. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*. Volume 8, Issue 1, 2008.
- [7]. García Escalante Juan José. Control climático de invernaderos basado en el modelo del cultivo y procesamiento de imágenes. Tesis maestría. 2004. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [8]. García Águilar L., Gómez Kosky R., Albany N. R., Vilchez J. A., Alvarado Y., Reyes M. Influencia de las condiciones de iluminación en la germinación de embriones somáticos del cultivar híbrido de plátano (FHIA-21). *Revista de Facultad de Agronomía* 2007, Universidad del Zulia.
- [9]. Glaría Jaime y Kuoro Samir. Automatización Industrial: Sensores de Humedad, Universidad Técnica Federico Santa María, departamento de electrónica. (2001).

- [11]. Gómez Meléndez José. Control Fuzzy-PID aplicado a un sistema de riego localizado para invernaderos. Tesis maestría. 2005. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [12]. Kuo T. C., Lin J. S., Takeuchi Y., Huang Y. J. Intelligent Daylight Panel control System based on Fuzzy Control for Green Building. Proceeding of the World Congress on Engineering 2009 Vol 1.
- [13]. Lozano Gutiérrez Carmen, Fuentes Martín Federico, Tratamiento borroso del intangible en la valoración de empresas en internet, universidad politécnica de Cartagena, 2003.
- [14]. Maroto J. V. Elementos de horticultura general. 2008. 3ª edición. Grupo Mundi-Prensa. Editorial Andos.
- [15]. Martín José D. Implementación de Redes Neuro-Difusas para ser aplicadas en problemas de clasificación y modelización, Proyecto de Fin de Carrera, Universal-Publishers, 2008.
- [16]. McCulloch W.S. and Pitts W. A logical calculus of ideas immanent in nervous activity. Bulletin of Mathematical Biophysics, 5: 115-133, 1943.
- [17]. National Instruments, NI Developer Zone, Tutorial: Sensores de Temperatura. 25-oct-2010.
- [18]. Morales I., Fereres A., Umbral de temperatura para el inicio edel vuelo de los pulgones de la lechuga, *Nasonovia Ribisnigri* y *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae) Bol. San. Veg. Plagas, 34: 275-285, 2008
- [19]. Pasgianos, G. D, Arvanitis, K. G., Polycarpou, P. Sigrimis 2003, A nonlinear feedback technique for greenhouse environmental control, Department of electrical and computer engineering, national technical, university of Athens.

- [20]. Pallás Areny Ramón. Sensores y acondicionadores de señal, 4ª edición, editorial marcombo, 2003.
- [21]. Razo Montes Carlos Alfredo. Control neuro-difuso de humedad para un fitotrón. Tesis maestría. 2011. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [22]. Rojano Aguilar Fernando. Identificación experimental del clima de un invernadero hidropónico. Tesis maestría. 2006. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [23]. Rojas Molina Adriana. Control difuso para el sistema de riego de un invernadero. Tesis maestría. 2003. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [24]. Ruffykiri, G.; Nootens, D.; Dufey, J.E.; Delvaux, B. Efecto del aluminio en bananos (#Musa#spp.) cultivados en soluciones ácidas. I. Crecimiento y composición química de las plantas. 2000. 367-379.55.
- [25]. Sulaiman F., Ahmad A., Kamarulzaman M. S. Automated Fuzzy Logic Light Balanced Control Algorithm Implemented in Passive Optical Fiber Daylighting System. AIML 06 International Conference, 13-15 June 2006, Sharm El sheikh, Egypt.
- [26]. Toledano Ayala Manuel. Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto para un invernadero. Tesis maestría. 2006. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [27]. TSKAN, Tecnología Solar Canaria. Funcionamiento panel solar. 3 agosto 2010