

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES



TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y  
HUMEDAD PARA LA CÁMARA DE CLIMATIZACIÓN DEL  
LABORATORIO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL  
INEN

MARIO SANTIAGO ROVERE AVILA

TUTOR: ING. MAURICIO ALMINATI

QUITO noviembre 2013

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Graduación certifico:

Que el trabajo de graduación “ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA LA CÁMARA DE CLIMATIZACIÓN DEL LABORATORIO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL INEN ”, presentado por Mario Santiago Rovere Avila, estudiante de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D. M., noviembre de 2013

TUTOR

Ing. Mauricio Alminati V.

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

## AUTORÍA DE TESIS

El abajo firmante, en calidad de estudiante de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, declaro que los contenidos de este Trabajo de Graduación, requisito previo a la obtención del Grado de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, son absolutamente originales, auténticos y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito D.M., noviembre de 2013

Mario S. Rovere A.

CC: 1721036406

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado, aprueban la tesis de graduación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Tecnológica Israel para títulos de pregrado.

Quito D.M., noviembre de 2013

Para constancia firman:

TRIBUNAL DE GRADO

PRESIDENTE

MIEMBRO 1

MIEMBRO 2

## AGRADECIMIENTO

Primero y ante todo, doy gracias a Dios y a mi hermano Francisco, por estar conmigo día a día, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante mi vida de estudiante.

A mi madre Paulina por brindarme su apoyo incondicional en todo momento y educarme para ser una persona de bien.

A mi padre Pablo por darme la oportunidad de estudiar lo que era mi vocación y darme los recursos necesarios para desenvolverme, además de su comprensión y apoyo en situaciones críticas que pasé en mi vida universitaria.

A mi Familia como pilar fundamental en el desarrollo no sólo como estudiante sino como persona.

A mi tutor Ing. Mauricio Alminati quien más que profesor se ha ganado no sólo mi respeto, amistad y admiración por su apoyo, sus consejos y las mejores enseñanzas que he recibido en toda mi carrera universitaria.

Al Ing. Diego Almeida y al Ing. Paúl Canseco, quienes me han impartido sus conocimientos y buena voluntad para lograr desarrollar el proyecto de grado en los laboratorios del INEN

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi familia por creer en mí y brindarme su apoyo incondicional, y al Ing. Mauricio Alminati, por creer en mis conocimientos, habilidades e impulsarme para desarrollar este proyecto.

# Índice general

<b>1. PROBLEMATIZACIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	1
1.2. Problema Investigado . . . . .	3
1.3. Problema Principal . . . . .	5
1.4. Problemás Secundarios . . . . .	5
1.5. Justificación . . . . .	6
1.6. Objetivos . . . . .	8
1.6.1. Objetivo Principal . . . . .	8
1.6.2. Objetivos Específicos . . . . .	8
1.7. Metodología . . . . .	9
<b>2. MARCO DE REFERENCIA.</b>	<b>11</b>
2.1. Marco teórico . . . . .	11
2.1.1. Cámaras de climatización. . . . .	11
2.1.2. Medición de humedad relativa con psicrómetro . . . . .	12
2.1.3. Métodos de sintonización de controladores PID . . . . .	13
2.1.3.1. Control de lazo cerrado o realimentado . . . . .	13
2.1.3.2. Métodos en Lazo Abierto. . . . .	15
2.1.3.3. Método de Ziegler y Nichols en Lazo Cerrado o de la Oscilaciones sostenidas. . . . .	15

2.1.3.4.	Método de Ziegler y Nichols en Lazo Abierto o de la Curva de respuesta. . . . .	17
2.1.4.	Controles proporcionales . . . . .	18
2.1.4.1.	Control por fase . . . . .	20
2.1.4.2.	Control por ciclos enteros. . . . .	21
2.1.5.	Equipo de adquisición de datos (DAQ) . . . . .	22
2.1.6.	Microcontrolador PIC . . . . .	22
2.2.	Marco conceptual . . . . .	23
2.2.1.	NI USB-6009 DAQ Multifunción de Bajo Costo de 14 Bits, 48 kS/s . . . . .	23
2.2.2.	NI USB-6008 DAQ Multifunción de Bajo Costo de 12 Bits, 10 kS/s . . . . .	23
2.2.3.	Comparación NI USB-6008 DAQ y NI USB-6009 DAQ	24
2.2.4.	PIC 16F873A/16F876A/16F874A/16F877A . . . . .	24
2.2.5.	Comparación entre PIC 16F873A/16F876A/16F874A/16F877A	24

### **3. ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA LA CÁMARA DE CLIMATIZACIÓN DEL LABORATORIO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL INEN**

**27**

3.1.	Estudio de datos técnicos para el diseño del sistema de control de la cámara de climatización del INEN . . . . .	28
------	---	----

3.2. Diseño de un sistema de control para la cámara de climatización del INEN . . . . .	30
3.2.1. Diagrama de bloque general . . . . .	30
3.2.2. La fuente . . . . .	32
3.2.2.1. Regulador $\mu$ PC1093J Plano eléctrico de potencia . . . . .	32
3.2.3. SENSORES . . . . .	33
3.2.3.1. RTD PT 100 . . . . .	33
3.2.3.2. Acondicionamiento de los PT100 . . . . .	34
3.2.3.3. Ventajas de los RTD . . . . .	35
3.2.3.4. Inconvenientes de los RTD . . . . .	36
3.2.4. Sistema de climatización . . . . .	36
3.2.4.1. Sistema de calentamiento . . . . .	36
3.2.4.2. Control por ciclo integral	
38	
3.2.4.3. Sistema de humidificación . . . . .	43
3.2.4.4. Sistema de enfriamiento . . . . .	45
3.2.5. Acoplamiento óptico . . . . .	46
3.2.6. Diseño de software de sistema de control para la cámara de climatización del INEN . . . . .	47
3.2.6.1. Diseño de PID . . . . .	49

3.3.	Montaje del sistema de control de la cámara de climatización del INEN . . . . .	52
3.3.1.	Montaje de hardware . . . . .	52
3.3.2.	Montaje de software . . . . .	53
3.4.	Implementación de un sistema de control para la cámara de climatización del INEN . . . . .	58
3.4.1.	Implementación hardware . . . . .	58
3.4.2.	Implementación software . . . . .	60
3.5.	Pruebas de validación de un sistema de control para la cámara de climatización del INEN . . . . .	63
3.6.	Análisis de los resultados . . . . .	67
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS FODA Y COSTOS</b>	<b>69</b>
4.1.	Análisis FODA . . . . .	69
4.2.	Costo del proyecto . . . . .	70
4.2.1.	Costos de la materia prima directa (MPD) . . . . .	70
4.2.2.	Costos de la mano de obra directa (MOD) . . . . .	72
4.2.3.	Costo de equipos utilizados en el laboratorio . . . . .	73
4.2.4.	Costo total del proyecto . . . . .	73
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>74</b>
5.1.	Conclusiones . . . . .	74
5.2.	Recomendaciones . . . . .	75

# Índice de tablas

2.1. Valores recomendados de sintonización . . . . .	16
2.2. Sintonización lazo abierto . . . . .	18
2.3. COMPARACIÓN de DAQ NI-USB 6008 Y NI-USB 6009 . . . . .	24
2.4. Comparación entre PIC 16F873A/16F876A/16F874A/16F877A	25
3.1. Relación de trabajo vs cantidad de ciclos . . . . .	41
3.2. Distribución de pines del bus de datos . . . . .	42
3.3. Condiciones de Temperatura y Humedad de la cámara . . . . .	49
3.4. Estado de encendido apagado de niquelinas refrigeradores y humidificadores . . . . .	50
3.5. Condiciones de calibración de señales de calentamiento, enfria- miento y humidificación de la cámara . . . . .	51
3.7. Prueba de estabilidad subir de 0°C a 40 °C y 40 % humedad . . . . .	66
4.1. Matriz FODA del proyecto. . . . .	70
4.2. Costos de placa de control . . . . .	71
4.3. Costos de sistema de adquisición de datos . . . . .	72
4.4. Valor total de materia prima directa . . . . .	72
4.5. Costos de Materia prima – Costos MOD . . . . .	72
4.6. Costo de equipos utilizados en la calibración . . . . .	73
4.7. Costo total del proyecto . . . . .	73

5.2.	Características DAQ NI USB-6009 . . . . .	91
5.4.	Características DAQ NI USB-6008 . . . . .	94
5.5.	Descripción de los Pines de DAQ NI USB-6008/6009 . . . . .	96
5.6.	Características PIC16F877A y PIC16F874A . . . . .	97
5.7.	Características PIC16F873A . . . . .	98
5.8.	Propiedades de materiales para construcción de RTD . . . . .	100
5.9.	Valor equivalentes de temperatura y resistencia de RTD Pt100	101

# Índice de figuras

2.1.	Sistema de control realimentado . . . . .	14
2.2.	Oscilaciones sostenidas . . . . .	16
2.3.	Curva de respuesta . . . . .	17
2.4.	Curva de funcionamiento de control proporcional . . . . .	19
2.5.	Control de fase . . . . .	20
2.6.	Control de cruce por cero . . . . .	21
3.1.	Diagrama General del estado inicial de la cámara de climatización . . . . .	29
3.2.	Diagrama de bloque general . . . . .	31
3.3.	Circuito equivalente de regulador <b>μPC1093J</b> . . . . .	33
3.4.	RTD PT 100 Bulbo seco y Bulbo húmedo . . . . .	33
3.5.	Circuito de acondicionamiento de señal de los PT100 . . . . .	35
3.6.	Sistema de calentamiento trifásico . . . . .	37
3.7.	Detector de cruce por cero . . . . .	37
3.8.	Señal de cruce por cero obtenida a la entrada del PIC 16F876A puerto RB2 y señal de la red rectificadas. . . . .	38
3.9.	Relés de estado sólido . . . . .	39
3.10.	Driver de disparo para el relé de estado sólido . . . . .	40

3.11. Control a una relación de trabajo del 50 % equivalente a 900 WATTS . . . . .	41
3.12. Control de disparo de las niquelinas y terminales de acoplamiento del DAQ y módulo de control. . . . .	42
3.13. Sistema de humidificación . . . . .	44
3.14. Sistema de refrigeración . . . . .	45
3.15. Tarjeta de control principal comandada a través del acoplamiento óptico . . . . .	46
3.16. Diagrama de flujo diseño de software . . . . .	47
3.17. Adquisición de datos bulbo seco y húmedo . . . . .	54
3.18. Convención de dato de voltaje en temperatura . . . . .	54
3.19. Configuración de las salidas digitales del DAQ . . . . .	55
3.20. PID temperatura y humedad . . . . .	56
3.21. Cálculo de la humedad relativa y validación de que los flotadores 2 y 3 estén activos . . . . .	57
3.22. Hoja de reportes . . . . .	57
3.23. Placa de control . . . . .	58
3.24. Pistas en la placa de control . . . . .	58
3.25. Sistema de control de la cámara de climatización del INEN .	59
3.26. Implementación de la caja de ensayos en la cámara de climatización de los laboratorios de temperatura y humedad del INEN	60
3.27. Software de control pantalla de bienvenida . . . . .	60
3.28. Pantalla de simulación de cámara y muestreo de condiciones	61

3.29. Pantalla de control y muestreo de temperatura y humedad . . . . .	62
3.30. Pantalla de calibración de PID . . . . .	63
3.31. Curvas de validación de la cámara temperatura y humedad . . . . .	67
5.1. DAQ NI USB-6008/6009 . . . . .	94
5.2. Pines de salida de DAQ NI USB-6008/6009 . . . . .	95
5.3. Encapsulado PIC16F877A y PIC16F874A . . . . .	97
5.4. Encapsulado PIC 16f873A/PIC 16F876A . . . . .	99

# RESUMEN

El proyecto de titulación presentado en estas páginas, está estructurado en líneas generales de la siguiente manera:

El capítulo 1 contiene los antecedentes y problemás investigados de un sistema de control de temperatura y humedad de una cámara de climatización, que se desglosan en los problemás principal y secundarios, para alcanzar objetivos general y específicos que se deben cumplir para dar solución al problema investigado. Adicionalmente en este capítulo se presenta la metodología adecuada para desarrollar el proyecto de grado.

El capítulo 2 trata sobre los conceptos de los componentes utilizados y describe las características de los dispositivos analizados para finalmente presentar las tablas de comparación con las cuales se pudo decidir los elementos electrónicos que se van a utilizar en el desarrollo del proyecto.

El capítulo 3 trata sobre el diseño de los circuitos utilizados y describe las funciones de los dispositivos analizados para finalmente llegar al diseño más adecuado con el cual se desarrolló el proyecto. Presenta además el montaje e implementación del sistema.

El capítulo 4 trata de la implementación del sistema y pruebas realizadas en el laboratorio se procedió a tabular los resultados obtenidos y hacer un

análisis de los mismos. Para terminar con un análisis FODA del sistema y costos del proyecto.

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones a las que se llegó tras la finalización de este proyecto de titulación, además de recomendaciones para trabajos posteriores a fines a éste.

En la sección de anexos se presentan el glosario de términos, el manual original de la cámara y el diagrama circuital de potencia de la cámara.

# ABSTRACT

This degree project is introduced by the following resumen.

## CHAPTER 1.-

Problems and antecedents about a temperature and moisture system for an acclimatization chamber are established. Besides, principal and specific problems are located thus, general and secondary objectives are set up to find a solution. To finish the chapter, the methodology to develop the Project is explained.

## CHAPTER 2.-

All basic concepts about the necessary components are explained. In addition, characteristics about the different devices are described, comparative charts are done and the electronic elements needed to develop the project are chosen.

## CHAPTER 3.-

Circuit design and device functions are analyzed and defined to reach the best development strategy for the project. To finish with, the assembling and installation system is labeled.

## CHAPTER 4.-

Different laboratory tests are applied to calculate and prove the installation system. Lastly, a SWOT analysis for both, the system and the financial investment of the project are done.

## CHAPTER 5.-

All conclusions and recommendations related to this project are given.

Included in the appendix section: Glossary, acclimatization original chamber manual and acclimatization chamber power circuit diagram.

# Capítulo 1

## PROBLEMATIZACIÓN

### Introducción

Este capítulo contiene los antecedentes y problemás investigados de un sistema de control de temperatura y humedad de una cámara de climatización, que se desglosan en los problemás principal y secundarios, para alcanzar objetivos general y específicos que se deben cumplir para dar solución al problema investigado. Adicionalmente en este capítulo se presenta la metodología adecuada para desarrollar el proyecto de grado.

#### 1.1. Antecedentes

INEN El Instituto Ecuatoriano de Normalización, es una entidad de servicio público, fundada el 28 de agosto de 1970. La parte operativa de la Institución está constituida de cuatro procesos:

1. Normalización Técnica.

2. Verificación.

3. Certificación.

4. Servicios Tecnológicos con:

- Laboratorio Nacional de Metrología.
- Laboratorio de Ensayos Analíticos.
- Laboratorio de Ensayos Físicos y Mecánicos.

El INEN siendo un organismo técnico nacional, eje principal del Sistema Ecuatoriano de la Calidad en el país, competente en Normalización, Reglamentación Técnica, Metrología y Certificación de la Conformidad; tiene como misión contribuir a garantizar el cumplimiento de los derechos ciudadanos relacionados con la seguridad, la protección de la vida y la salud humana, animal y vegetal, la preservación del medio ambiente, la protección del consumidor; y promueve la cultura de la calidad y el mejoramiento de la competitividad en la sociedad ecuatoriana. Tiene como visión satisfacer la demanda nacional en los campos de la Normalización, Reglamentación Técnica, Procedimientos de Evaluación de la Conformidad, Metrología y Certificación de la Conformidad; que contribuye al mejoramiento de la competitividad, de la salud y seguridad del consumidor, la conservación del medio ambiente y promueve la cultura de la calidad para alcanzar un comercio justo.

La matriz del INEN está ubicada entre las calles Baquerizo Moreno E8-29 y Diego de Almagro, y sus laboratorios están ubicados en la Autopista General

Rumiñahui, Puente No.5, vía Conocoto.

## 1.2. Problema Investigado

El laboratorio de temperatura y humedad del INEN cuenta con una cámara de climatización donada en los años 80 por una fundación japonesa, la cual se utilizaba en la calibración de termómetros y termohidrómetros, pero siendo un equipo para la calibración de un instituto de metrología es de alta exactitud por lo cual los elementos que éste posee son de alta precisión y con un índice de error mínimo.

Para simular estas condiciones de climatización el equipo consta de:

- 2 termómetros de platino (RTD) modelo pt100 el uno es para controlar la temperatura y el otro para controlar la humedad (los cuales se encuentran funcionando).
- Sistema refrigerante para bajar la temperatura y un sistema de calefacción para elevar la temperatura (los cuales se encuentran funcionando); tanto el sistema de refrigeración como el de calefacción se activan a través de un control que posee varias tarjetas electrónicas. La primera tarjeta verificada a la cual se le realizó pruebas para su reutilización es la fuente, la misma que se encuentra funcionando correctamente. La segunda tarjeta tiene varios PICS que se encuentran quemados. El resto

de tarjetas constan de varios filtros que están siendo verificados para su reutilización.

- La comunicación entre el control con la placa de relés se realiza a través de un puerto serial de salida, que permite encender los sistemas para subir o bajar la temperatura; las demás opciones de la cámara de climatización se comunican con un puerto serial de entrada, conectado a un control manual para seleccionar el grado de temperatura y humedad que se requiere para realizar el acondicionamiento climático en el interior de la cámara de climatización. Para casos de emergencia o de mal funcionamiento del equipo se cuenta con un pulsador reseteador del sistema; de igual manera, para verificar las condiciones climáticas previstas dentro de la cámara de climatización, el equipo muestra en un display dicha información.

El control de temperatura y humedad de la cámara de climatización se encuentra dañado por lo que los técnicos que trabajan en el laboratorio de temperatura y humedad del INEN han implementado uno de los varios métodos que existen para este tipo de calibraciones. El método que están utilizando en este momento es antiguo pero preciso a través de un proceso químico por sales. El inconveniente que muestra este proceso es el acondicionamiento climático que lleva demasiado tiempo.

Tras haber realizado una inspección a la cámara de climatización se ha tratado de localizar datos técnicos, diagramas circuitales, esquemas de funciona-

miento o alguna información relevante que permita conocer más de este tipo de cámaras pero no existe ya que se trata de un equipo de tecnología antigua. Por otra parte en el internet existen páginas que muestran cámaras de climatización modernas controladas a través de varios sistemas de control como PLC, computadores, pantallas táctiles, etc., tecnología que se encuentra a disposición en el mercado.

### **1.3. Problema Principal**

La cámara de climatización del laboratorio de temperatura del INEN tiene dañado su sistema de control de temperatura y humedad.

### **1.4. Problemás Secundarios**

- No existe ningún estudio ni información técnica de la cámara de climatización.
- No se cuenta con un diseño, datos técnicos ni diagramás esquemáticos electrónicos de la cámara.
- No se a implementado un sistema de control con los requerimientos pedidos, para el funcionamiento de la cámara de climatización.
- No se conoce de pruebas estándares para validar el correcto funcionamiento de la cámara de climatización.

## 1.5. Justificación

- Este sistema de automatización para la cámara de climatización ayudará a realizar las calibraciones de los termómetros y termohidrómetros en menor tiempo de lo que se realiza actualmente, donde se utiliza un proceso químico para simular el acondicionamiento climático.
- Se proveerá al sistema de una interfaz gráfica a través de un computador para llevar un mejor control y registro de las variaciones de los diferentes cambios de temperatura y humedad de la cámara de climatización, de acuerdo a las necesidades de los técnicos encargados del laboratorio.
- Con el uso adecuado de este sistema se evitará diversas formas de realizar un control humano en la cámara de climatización, ya que todo estará registrado en el computador. Las personas encargadas del laboratorio de temperatura y humedad del INEN tendrán la facilidad de saber si el termómetro puesto a prueba funciona de manera adecuada, o a su vez si tiene alguna falencia para calibrarlo nuevamente; el monitoreo de las variaciones climáticas quedará registrado en la memoria del computador, el mismo que guardará cada cierto tiempo lo que va sucediendo dentro de la cámara.
- En el momento que los técnicos deseen podrán observar en la pantalla del computador la variación de temperatura y humedad dentro de la cámara de climatización, así como cambiar la temperatura o humedad a

la que fuese necesaria para poner a prueba a los termómetros calibrados hasta validar la calibración adecuada de los mismos.

- La interfaz gráfica a diseñarse, permitirá a los técnicos que monitorearán el sistema puedan manejar de una manera sencilla y rápida.
- El sistema propuesto tendrá la flexibilidad de presentar un reporte de toda la información que los sensores provean al control de la cámara de climatización; así mismo dará aviso de las variaciones de temperatura y humedad no programadas dentro del controlador y que se puedan presentar en el interior de la cámara, para que se corrijan inmediatamente de forma manual o automática; los mismos que serán registrados y guardados en la PC.
- Para el desarrollo del proyecto de acorde a la necesidad de automatizar la cámara de climatización y reducir el tiempo que tardan en realizar las calibraciones de los termómetros y termohidrómetros, se necesitará de la electrónica digital ayudada con sensores alternativos y equipos mecánicos para la simulación de distintas condiciones climáticas dentro de la cámara de climatización .
- Con la facilidad que ofrecen los PLCs y microcontroladores se estructurará como el sistema principal de control y monitoreo a una PC la que recopilará los datos que entreguen los distintos sensores ubicados dentro de la cámara de climatización.

- Para el diseño del control de temperatura y humedad de la cámara de climatización se realizará cálculos de termodinámica para conseguir la transformación de variables como temperatura y humedad en variables eléctricas las cuales puedan ser detectadas por el control y con éste activar los mecanismos de enfriamiento y calefacción y así adecuar a las condiciones climáticas requeridas por los técnicos

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo Principal**

Estudiar, diseñar e implementar un sistema de control de temperatura y humedad de la cámara de climatización del laboratorio de temperatura y humedad del INEN.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Estudiar datos técnicos útiles para el diseño de la cámara de climatización.
- Diseñar un sistema de control de temperatura y humedad según las exigencias de funcionamiento de la cámara de climatización.
- Implementar el sistema de control de temperatura y humedad.

- Buscar un método de prueba preciso para validar el funcionamiento óptimo del sistema de control de temperatura y humedad.

## **1.7. Metodología**

Para la realización de este proyecto se tuvo cuatro etapas:

- La primera etapa del proyecto se desarrolló utilizando el método de análisis y síntesis con el cual se reunió datos relevantes e información referente a las cámaras de climatización, se analizó y sintetizó para su mayor facilidad en el momento de establecer el diseño de planos del equipo así como conceptos idóneos para la elaboración del proyecto.
- En la segunda etapa se utilizó el método sistemático que se refiere a modelar un objetivo planteado, reuniendo los conocimientos referentes a la investigación para obtener un diseño acorde a las necesidades que se plantearon para el proyecto de grado y dando la facilidad de estructurar un modelo idóneo para la ejecución.
- La tercera etapa se basó en el método sintético ya que se reúnen varios elementos dispersos para una nueva totalidad, que se sometieron a pruebas tentativas en las cuales se observó los errores presentes en el control de la cámara de climatización diseñado para luego tener la habilidad de cambiarlos según el desenvolvimiento de los valores de temperatura y humedad en condiciones reales, ejecutando así perspectivas de solución.

- La cuarta etapa se fundamentó en el método experimental que comprueba, demuestra y reproduce todo el conjunto del proceso establecido para validar que el control de temperatura y humedad de la cámara de climatización del INEN diseñado esté cumpliendo con la exactitud requerida, estableciendo temáticas de conclusiones a lo largo de la ejecución del mismo.

# Capítulo 2

## MARCO DE REFERENCIA.

### Introducción

Este capítulo trata sobre los conceptos de los componentes utilizados y describe las características de los dispositivos analizados para finalmente presentar las tablas de comparación con las cuales se pudo decidir los elementos electrónicos que se van a utilizar en el desarrollo del proyecto.

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Cámaras de climatización.

Las cámaras de climatización son utilizadas en simulaciones de laboratorio para realizar ensayos de resistencia de materiales y su funcionamiento bajo ciertos ambientes adversos. Son capaces de generar varios tipos de climas, tanto naturales como artificiales, para propósitos de investigación.<sup>1</sup>

Estas cámaras de laboratorio permiten comprobar la durabilidad y estudiar la resistencia a la intemperie de los materiales y los sistemas tras su exposición a diversas condiciones atmosféricas a las cuales puedan ser expuestas.

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://cci-calidad.blogspot.com/2010/07/cámaras-de-climatizacion.html>.

Las cámaras pueden simular y reproducir varias condiciones como son: climas más húmedos, punto de rocío, climas desérticos, altas temperaturas, climas helados, etc.

### **2.1.2. Medición de humedad relativa con psicrómetro**

El Psicrómetro es un instrumento de medida de la humedad relativa esta formado por un termómetro de bulbo seco que medirá la temperatura ambiente y otro de bulbo húmedo es decir debe estar recubierto por un material (Gasa) el cual se mantenga siempre húmedo y la evaporación del agua en la gasa provocara que se enfríe. La humedad relativa se calculara a través de la diferencia de temperatura de los dos termómetros

La temperatura depende de la humedad, presión atmosférica y temperatura ambiente. Es necesario conocer la presión y la humedad aproximadas del sitio donde funcionara el psicrómetro para poder obtener un calculo exacto con las medidas de los bulbos húmedo y seco.

Existen dos tipos de psicrómetros que son:

- ventilación natural
- ventilación forzada.

1

---

<sup>1</sup>más información ver anexo 5 documentos bibliográficos

### **2.1.3. Métodos de sintonización de controladores PID**

Es hallar los valores con los cuales se calibran los parámetros de Ganancia (parte Proporcional), Tiempo Integral (Reset) y Tiempo derivativo (Rate), así el sistema funcionara correctamente. Lo primero es obtener los datos dinámicos y estáticos del lazo. Existen diversos métodos para ajustar los parámetros del PID, pero todos se basan en dos tipos:

#### **2.1.3.1. Control de lazo cerrado o realimentado**

El control de lazo cerrado es uno de los más robustos y confiables dentro de los sistemas de control. El control de lazo cerrado tiene una gran ventaja puesto que es inmune ante perturbaciones moderadas de la variable controlada al contrario del control en lazo abierto. Dentro del control de lazo cerrado, el más utilizado en la actualidad, es el control PID (Proporcional, Integral y Derivativo).

El controlador PID es un algoritmo que compara el valor de dato obtenido con un set point o (nivel deseado) determina la respuesta y genera un valor correctivo dicho de otra manera es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error entre la señal de referencia y la respuesta de la planta, sea cero y se mantenga constante en el tiempo, y esto se consigue con la acción integral. Además el controlador tiene la capacidad de anticipación a través de la acción derivativa que tiene una respuesta predictiva a la salida del proceso.

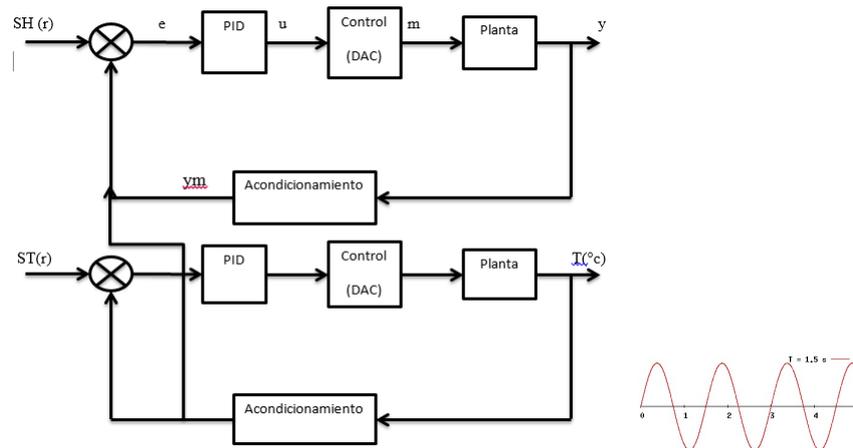


Figura 2.1: Sistema de control realimentado

Donde:

- r: Referencia o Set Point.
- e: Error.
- u: Control.
- m: Variable manipulada.
- y: Salida.
- ym: Variable medida

El control realimentado tiene como principio monitorear la variable de salida ( $y$ ), y comparar con la señal de set point o referencia ( $r$ ) para la obtención de la señal de error ( $e$ ), la cual no cambiara mientras no se presenta una perturbación externa que cambie el valor de la variable controlada como la

variación de la variable de referencia. Cuando se presenta un cambio del sistema de control, existirá una variación en señal del error, el controlador toma esta variación y trata de corregir para a mantener al mismo valor el sistema o llevar a un nuevo valor de referencia.

El control es utilizado en todo proceso, en muchas aplicaciones se utiliza un control PID, y mayormente para controlar equipos de temperatura y humedad como caso particular. Este controlador se lo desarrolla de tal manera que sea un módulo independiente y pueda ser modificado. Este tipo de control puede ser modificado a través de una interfaz con el computador personal y verificar los parámetros de funcionamiento. El módulo de control utiliza las técnicas de control PID a base de microprocesador, por medio de una tarjeta de adquisición de datos para un computador.

#### **2.1.3.2. Métodos en Lazo Abierto.**

Las características dinámicas y estáticas de la planta (Elemento controlado  $\rightarrow$  Proceso  $\rightarrow$  Fuente) nos da como resultado de pruebas en lazo abierto, para con ello obtener la curva de respuesta que generalmente es un escalón.

#### **2.1.3.3. Método de Ziegler y Nichols en Lazo Cerrado o de la Oscilaciones sostenidas.**

Obtener una respuesta de la señal medida en relación a una perturbación como puede ser un pulso en el valor de referencia utilizando el controlador

proporcional como se muestra en la figura 2.2. Al observar la respuesta obtenida y si esta es amortiguada es necesario incrementar la ganancia hasta conseguir oscilaciones de amplitud constante. La ganancia del controlador (proporcional) se denomina “Ganancia Última” y se nota  $K_{cu}$  y el período de la oscilación se llama “Período Último”  $\tau_u$ . Los valores recomendados de sintonización son los que se muestran en la tabla 2.1

1

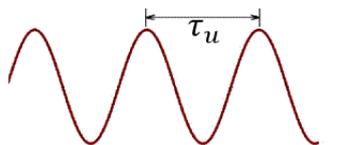


Figura 2.2: Oscilaciones sostenidas

CONTROLADOR	$K_c$	TI	TD
<b>P</b>	$K_{cu}/2$	$\infty$	0
<b>PI</b>	$K_{cu}/2.2$	$\tau_u/1.2$	0
<b>PID</b>	$K_{cu}/1.7$	$\tau_u/2$	$\tau_u/8$

Tabla 2.1: Valores recomendados de sintonización

---

<sup>1</sup>Referencia: CONTROL DE PROCESOS FACET UNT TEMA 4 Nota Auxiliar A MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID

#### 2.1.3.4. Método de Ziegler y Nichols en Lazo Abierto o de la Curva de respuesta.

Se introduce una señal tipo escalón en la señal de control (salida del controlador que actúa sobre el elemento final de control) y se registra el transitorio de la variable medida es decir la curva de respuesta como se muestra en la figura 2.3.

1

Aplicando el Método del Punto de inflexión, se obtiene una caracterización simplificada de la planta a controlar como una capacidad de primer orden más un tiempo muerto:

$$G(s) = G_V(s)G_P(s)G_T(s) = \frac{K_e^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad (\text{Ec.7})$$

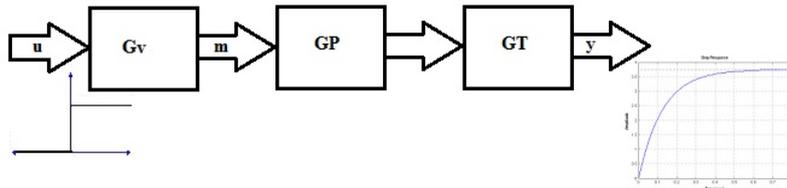


Figura 2.3: Curva de respuesta

Para realizar la sintonización se recomienda tomar en cuenta los valores de la tabla 2.2.

---

<sup>1</sup>CONTROL DE PROCESOS FACET UNT TEMA 4 Nota Auxiliar A MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID

CONTROLADOR	KC	TI	TD
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{\tau}{L}\right)$	$\infty$	0
PI	$\frac{0,9}{K} \left(\frac{\tau}{L}\right)$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$\frac{1,2}{K} \left(\frac{\tau}{L}\right)$	$\frac{L}{0,5}$	$\frac{L}{2}$

Tabla 2.2: Sintonización lazo abierto

#### 2.1.4. Controles proporcionales

En este tipo de controlador proporcional la energía entregada, depende del error, entre mayor sea la diferencia entre la temperatura de referencia y la real mayor potencia entregara el controlador.

Del resultado de la comparación, si es positivo se calentará, la señal será superior y la magnitud del error "dosificará" la potencia que entregará a las niquelinas. La figura 2.4 muestra la temperatura y potencia en relación al tiempo.

1

---

<sup>1</sup>Referencia: Fundamentos de Electrónica Industrial - Hernán Valencia Gallón

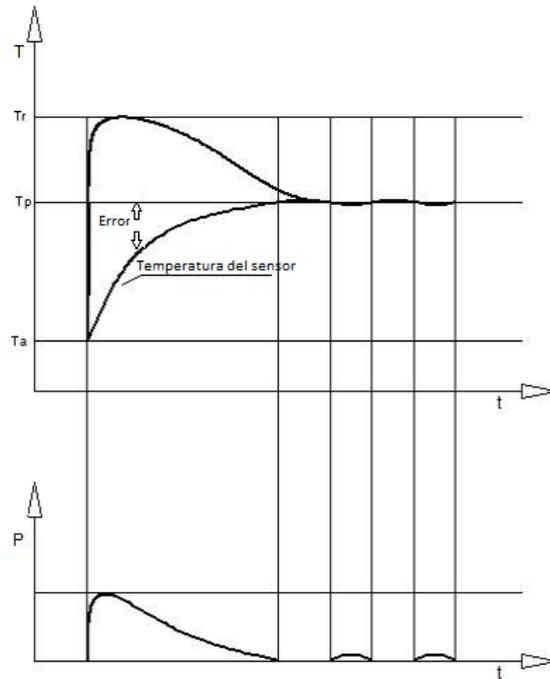


Figura 2.4: Curva de funcionamiento de control proporcional

Donde:

- **Tr** Temperatura bulbo seco (RTD) cuando esta está entregando energía y alcanzó una temperatura constante.
- **Tp** Temperatura prefijada. Es nuestro set point o temperatura deseada
- **Ta** Temperatura ambiente (condiciones iniciales de la cámara)

Existen varias formas de proporcionalidad las cuales son:

- 1) Control integral.
- 2) Control por derivada.
- 3) Control proporcional.

Los cuales se pueden combinar para hacer un control más completo, y formar un control Proporcional Integral Derivativo (PID).

#### 2.1.4.1. Control por fase

En este tipo de control se pueden usar tiristores o triacs depende de la potencia a trabajar, por que los triacs una potencia de manejo menor que los tiristores. El ángulo de disparo es el parámetro a controlar para lograr la dosificación de potencia en función del error. <sup>1</sup>

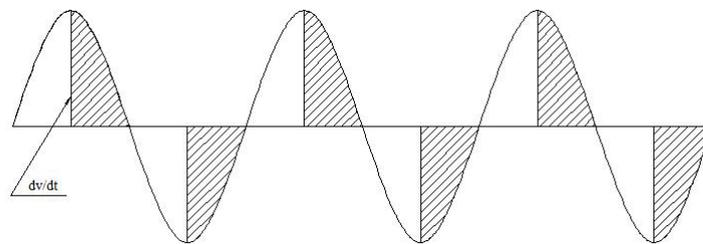


Figura 2.5: Control de fase

Este método tiene una gran desventaja por el alto contenido de armónicos debido al rápido crecimiento de la corriente y la ventaja de ser un sistema simple de control. Un tiristor para encenderse le toma un tiempo en el orden de un microsegundo lo cual hace que la frecuencia sea aproximadamente 1 MHz, que en alta potencia la radiación puede ser nociva a los circuitos electrónicos circundantes.

2

Para eliminar de forma eficaz la interferencia se puede diseñar filtros pero esto elevaría demasiado su costo.

<sup>1</sup>Referencia: Fundamentos de Electrónica Industrial - Hernán Valencia Gallón

<sup>2</sup>Referencia: Fundamentos de Electrónica Industrial - Hernán Valencia Gallón

Por lo anterior se recomienda para potencia de trabajo mayor de 5 KVatios, usar un sistema de ciclos enteros.

#### 2.1.4.2. Control por ciclos enteros.

Se lo conoce también cómo cruce por cero. Este tipo de control funciona de tal manera que cuando la tensión instantánea tiene valor de cero conmuta y la energía entregada dependerá de la relación del tiempo de conducción y el tiempo de no conducción, tomando como base un período de varios ciclos como se muestra en la figura 2.4.<sup>1</sup>

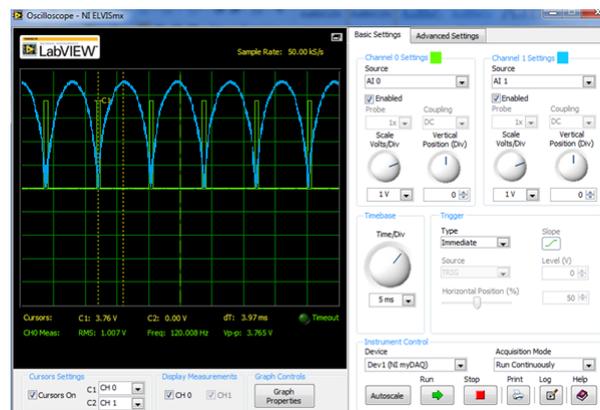


Figura 2.6: Control de cruce por cero

Es análogo a un control por modulación de ancho de pulsos, donde el "pulso" es un conjunto de ciclos enteros. Los circuitos para este tipo de control son algo complejos que los de control por fase, aunque con los PIC esta diferencia será mínima.

<sup>1</sup>Referencia: SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO, Segunda edición, Katsuhiko Ogata. Ed. Prentice Hall Hispanamericana S.A., 1996.

Para la transmisión de señales digitales en la corriente alterna, es indispensable de un detector de cruce por cero. Ya que son circuitos eléctricos que detectan cuando la corriente pasa por el punto de cruce por cero de la onda.

### **2.1.5. Equipo de adquisición de datos (DAQ)**

La adquisición de datos, consiste en la obtención de muestras de un sistema analógico (mundo real), para obtener de respuesta datos que puedan ser observados y modificados a través de la interfaz con un computador o por otro sistema digital. La adquisición de datos consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en voltajes y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un Controlador de Automatización Programable (PAC) o computadora . Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles adecuados con el elemento que hace la transformación a señal digital. El componente que hace posible está transformación es la tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ) o módulo de digitalización.

1

2

### **2.1.6. Microcontrolador PIC**

Un PIC es un circuito integrado programable, el cual ejecuta las ordenes quemadas en su memoria. Contiene varios bloques funcionales, cada parte

---

<sup>1</sup>más información ver anexo 5 documentos bibliográficos

<sup>2</sup>Referencia1: <http://la.flukecal.com/products/daq-gpt?geoip=1>.

Referencia 2: [http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n\\_de\\_datos](http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos).

del bloque cumple una única tarea específica. Un microcontrolador contiene las partes fundamentales de un computador que son:<sup>1</sup>

- Unidad central de procesamiento.
- Memoria.
- Periféricos de entrada/salida.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. NI USB-6009 DAQ Multifunción de Bajo Costo de 14 Bits, 48 kS/s**

Ver anexo 4 datasheet

### **2.2.2. NI USB-6008 DAQ Multifunción de Bajo Costo de 12 Bits, 10 kS/s**

Ver anexo 4 datasheet

---

<sup>1</sup>más información ver anexo 5 documentos bibliográficos

### 2.2.3. Comparación NI USB-6008 DAQ y NI USB-6009 DAQ

CARACTERÍSTICAS	NI-USB 6008	NI-USB 6009
AI Resolución	12 bits diferencial, 11bits de una sola terminal	14 bits diferencial 13 bits de una sola terminal
Frecuencia de muestreo máximo de AI, de un sólo canal	10kS/s	48 kS/s
Frecuencia de muestreo máximo de AI de múltiples canales (agregado)	10KS/s	48 kS/s
DIO configuración	colector abierto	Cada canal puede programar individualmente como colector abierto o una unidad activa

Tabla 2.3: COMPARACIÓN de DAQ NI-USB 6008 Y NI-USB 6009

- Así que por la velocidad de muestreo y la precisión que se necesita en la cámara de climatización tanto para temperatura y humedad se tomó la determinación de utilizar el DAQ NI-USB 6009

### 2.2.4. PIC 16F873A/16F876A/16F874A/16F877A

Ver anexo 4 datasheet

### 2.2.5. Comparación entre PIC

#### 16F873A/16F876A/16F874A/16F877A

El PIC16F876A con el PIC16F877A se diferencia porque viene en encapsulado Dual In line Package (DIP) de 28 pines, y no posee los puertos D (de 8

pinos) y puertos E (de 3 pines). Estos puertos solo se utiliza para la función interface del Parallel Slave Port (PSP) caso contrario no es necesario. En cambio el puerto E son 3 pines adicionales de conversor Analog to Digital Converter (ADC). Por tal motivo, si no se va ha utilizar estas funciones, no habrá problemás de compatibilidad y los programás pueden ser implementados tanto para el PIC16F876A o el PIC16F877A.

Los PIC16F873A y PIC16F874A presentan la misma diferencia. Adicionalmente, estos PICS poseen menos memoria FLASH, EEPROM y RAM, y cambio de disposición en los registros GPR de la RAM. Por lo que se puede tener problemás de compatibilidades en los programás.

La tabla 2.4 resume las diferencias más evidentes entre los PICmicros citados.

Dispositivo	Memoria de Programa (palabras 14-bits)	RAM (bytes)	EEPROM (bytes)	Pines de E/S	Canales del conversor ADC
PIC16F877A	8192	368	256	33	8
PIC16F876A	8192	368	256	22	5
PIC16F874A	4096	192	128	33	8
PIC16F873A	4096	192	128	22	5

Tabla 2.4: Comparación entre PIC 16F873A/16F876A/16F874A/16F877A

De estos 4 PICS se utilizará el PIC16F876A por las siguientes razones:

- Por su tamaño ya que el encapsulado es de 28 Pines al contrario del PIC16F877Ay PIC16F874A que son de 40 pines

- Su memoria RAM es de 368 bytes lo cual supera al PIC16F874A y PIC16F873A
- Su memoria EEPROM es superior al del PIC16F873A y PIC16F874A
- No es necesario más 22 Pines de E/S

# Capítulo 3

## ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA LA CÁMARA DE CLIMATIZACIÓN DEL LABORATORIO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL INEN

### **Introducción**

Este capítulo trata sobre el diseño de los circuitos utilizados y describe las funciones de los dispositivos analizados para finalmente llegar al diseño más adecuado con el cual se desarrolló el proyecto. Presenta además el montaje e implementación del sistema.

### **3.1. Estudio de datos técnicos para el diseño del sistema de control de la cámara de climatización del INEN**

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama general de como se encontró la cámara en un principio y cual fue el daño que provoco la inutilización del equipo, al realizar la revisión se encontró que el daño se ocasiono en las placas de control original por un daño en la fuente.

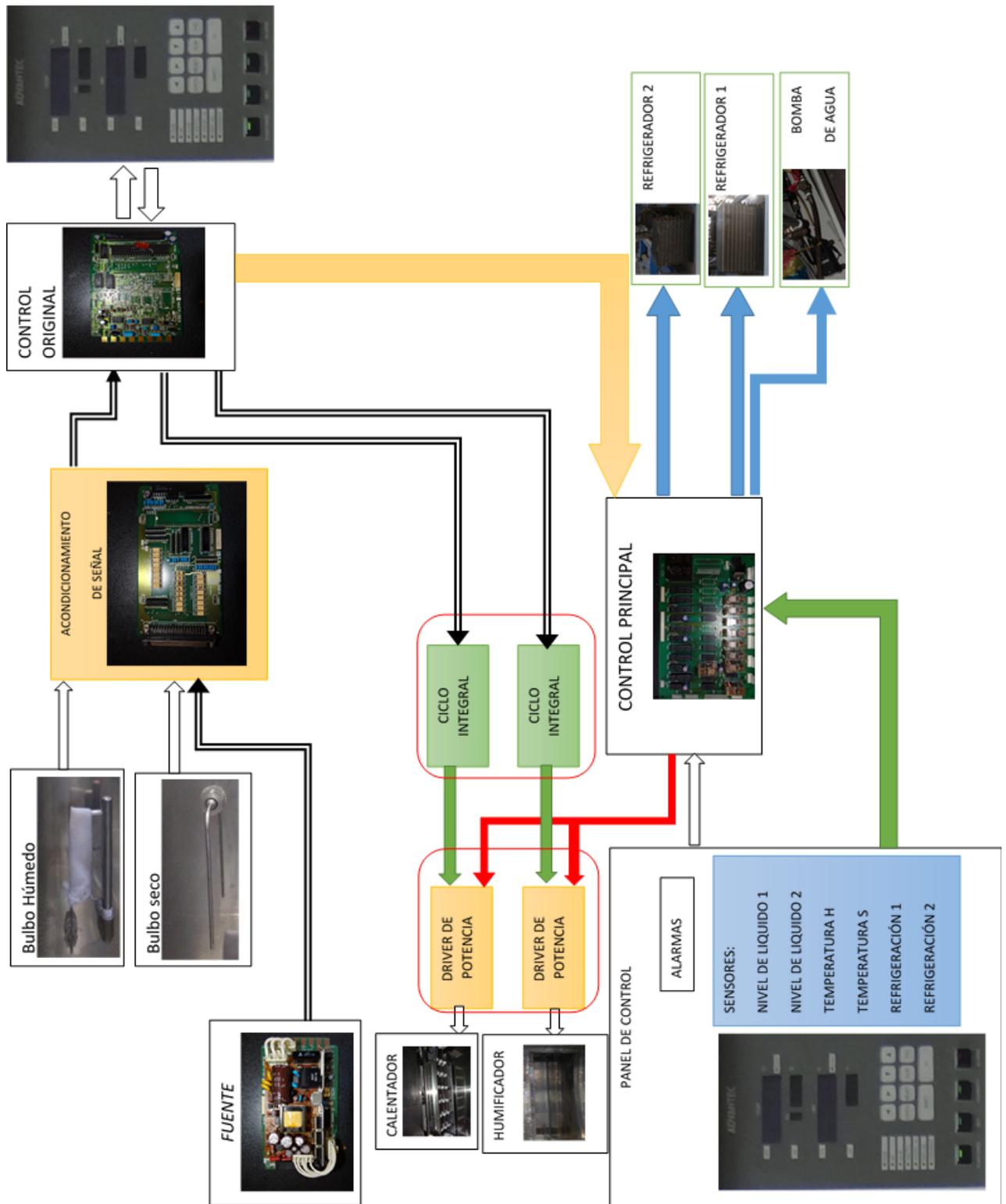


Figura 3.1: Diagrama General del estado inicial de la cámara de climatización

## **3.2. Diseño de un sistema de control para la cámara de climatización del INEN**

El diseño esta basado en la necesidad de mantener estable la humedad y la temperatura con un rango de tolerancia de  $\pm 0.5$  °C y con el  $\pm 3\%$  de humedad; estos datos fueron obtenidos del manual de funcionamiento originales del equipo ver en el ANEXO 2

### **3.2.1. Diagrama de bloque general**

El diagrama de bloques presenta de forma general el funcionamiento del control; el sistema implementado y la forma de acceso a cada parte del sistema por un medio microprocesado como se muestra en la figura 3.2.

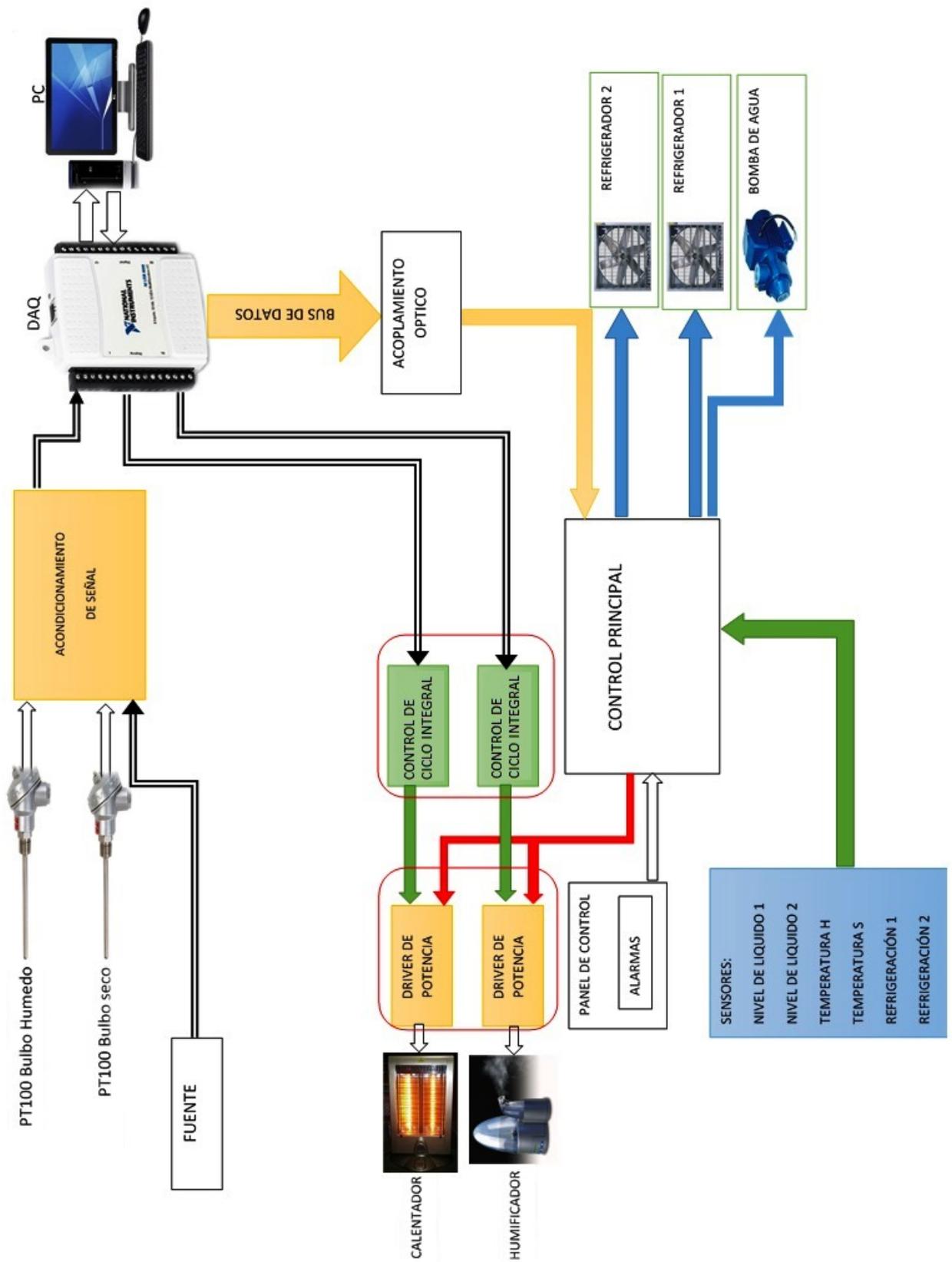


Figura 3.2: Diagrama de bloque general

### **3.2.2. La fuente**

La fuente por su precisión, estabilidad y confiabilidad se decidió utilizar la misma sólo se realizó el remplazo del regulador **μPC1093J** al encontrarse dañado y el cual fue el responsable del daño en la cámara provocando un sobre voltaje en las salidas de la fuente de +5v

#### **3.2.2.1. Regulador μPC1093J Plano eléctrico de potencia**

Ver anexo 4 Datasheet

Lamentablemente este regulador fue diseñado especialmente para la cámara y no se encontró un remplazo adecuado en el mercado por lo que se lo implementó con su circuito equivalente según el datasheet figura 3.3.

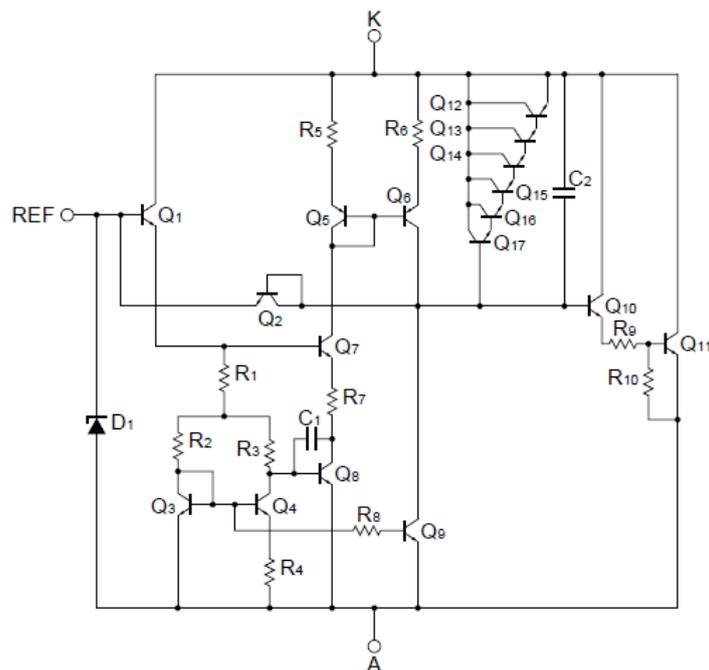


Figura 3.3: Circuito equivalente de regulador  $\mu\text{PC1093J}$

### 3.2.3. SENSORES

#### 3.2.3.1. RTD PT 100

Es un sensor de temperatura tipo resistivo. En la figura 3.4 se muestra los RTD instalados en la cámara<sup>1</sup>.

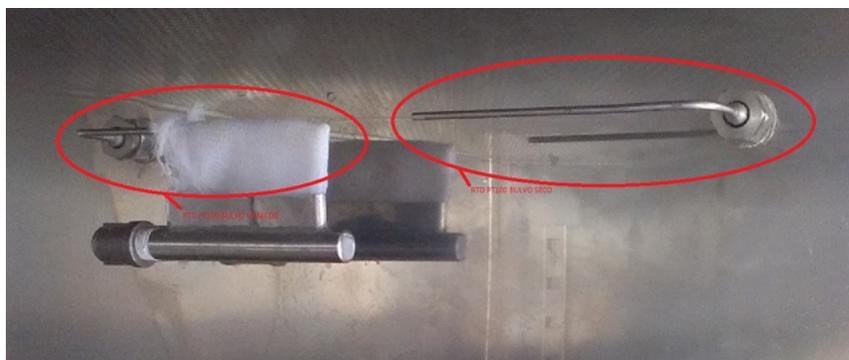


Figura 3.4: RTD PT 100 Bulbo seco y Bulbo húmedo

<sup>1</sup>más información ver anexo 4 Datasheet

Al calentarse la vaina de protección del sensor de temperatura habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación y mayor resistencia.

La variación de la resistencia se la puede expresar de manera matemática. Por lo general, la variación es bastante lineal en márgenes amplios de temperatura.

$$R = R_0 \times (1 + \alpha \times \Delta T) \quad (\text{Ec.3.1.3.1})$$

Donde:

- $R_0$  es la resistencia a la temperatura de referencia  $T_0$
- $\Delta T$  es la desviación de temperatura respecto a  $T_0$  ( $\Delta T = T - T_0$ )
- $\alpha$  es el coeficiente de temperatura del conductor especificado a  $0^\circ\text{C}$ , interesa que sea de gran valor y constante con la temperatura

### 3.2.3.2. Acondicionamiento de los PT100

En primera instancia se optó por reutilizar los circuitos de acondicionamientos propios del controlador original de la máquina, por su alta estabilidad y rechazo al ruido en modo común como se muestra en la figura 3.5.

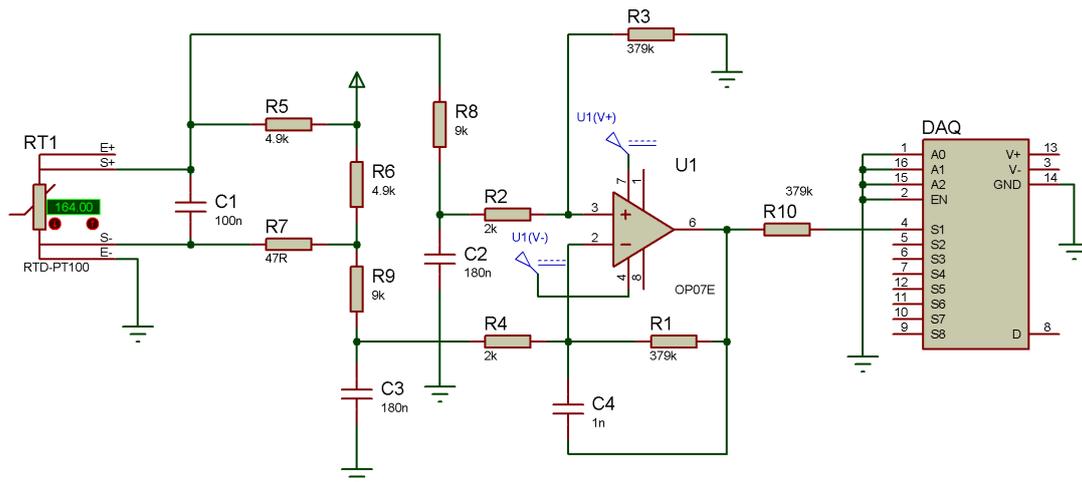


Figura 3.5: Circuito de acondicionamiento de señal de los PT100

### 3.2.3.3. Ventajas de los RTD

- Margen de temperatura amplio.
- Las medidas de temperatura poseen mayor exactitud.
- La resistencia del RTD puede reajustarse para obtener una tolerancia mínima y que sea más estable con el tiempo.
- Los RTD que con el tiempo puede tener una variación mínima con el uso en el tiempo a un  $0.1 \text{ } ^\circ\text{C/año}$ .
- La temperatura y la resistencia es de manera más lineal.
- Los sensibilidad que poseen los RTD es mayor que los termopares.
- Existen curvas para calibrar la variedad de tipos de sensores RTD (por material conductor,  $R_0$  y  $\alpha$ ).

- No es necesario conectar con cables ni ajustes especiales.

#### **3.2.3.4. Inconvenientes de los RTD**

- Por los materiales de construcción el costo de un sensor RTD es mayor que el de un termopar o un termistor.
- El RTD es mayor en tamaño que un termopar o un termistor limitando su velocidad de reacción.
- El RTD es afectado por calentamiento de su vaina protectora y condiciones externas.
- La durabilidad ante caídas o golpes es baja.
- Ya que su conexión es con cable normal afectara con la resistencia del cable al conectarlo por la distancia.

Los RTD son utilizados en aplicaciones en las que se necesite mayor exactitud en la medida.

#### **3.2.4. Sistema de climatización**

##### **3.2.4.1. Sistema de calentamiento**

La cámara dispone de un sistema de calentamiento trifásico a base de niquelinas conectadas en Y como se muestra en la figura 3.6.

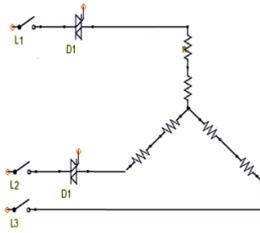


Figura 3.6: Sistema de calentamiento trifásico

Para realizar este control es necesario que los pulsos de disparo estén sincronizados con la red eléctrica, para que el interruptor de estado sólido conduzca ciclos completos, por ende se ha diseñado un circuito que detecte cuando la onda sinusoidal cruza por cero como se muestra en la figura 3.7. En la figura 3.8 se muestra la señal de cruce por cero obtenida a la entrada del PIC 16F876A puerto RB2 y señal de la red rectificada..

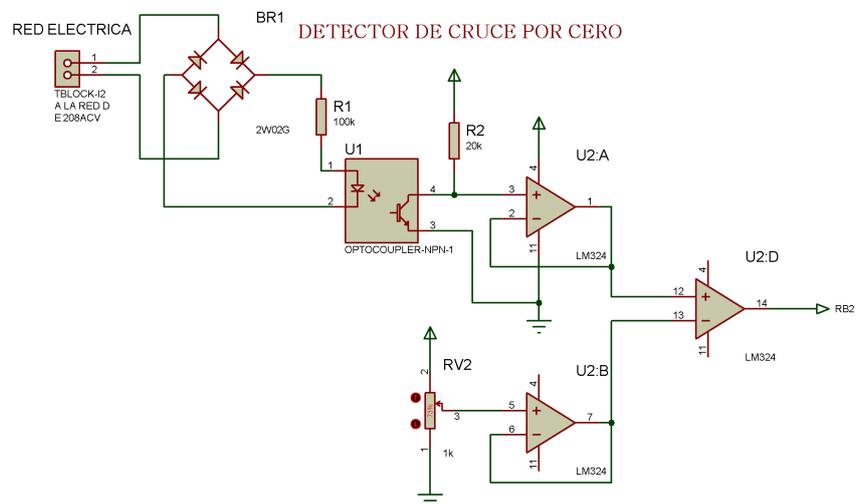


Figura 3.7: Detector de cruce por cero

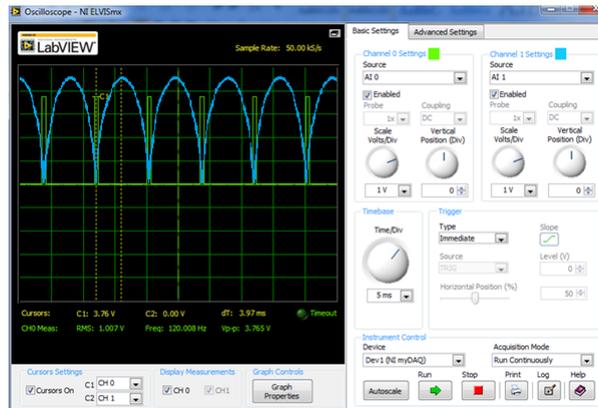


Figura 3.8: Señal de cruce por cero obtenida a la entrada del PIC 16F876A puerto RB2 y señal de la red rectificadas.

### 3.2.4.2. Control por ciclo integral

Una vez obtenido el sincronismo con la red, se ha implementado la lógica necesaria en el PIC 16F876A, que permite trabajar con un periodo fijo de 20 ciclos de la línea, es decir una frecuencia de trabajo de 3Hz, y la relación de trabajo variable, que determina cuantos ciclos pasan a la carga y cuantos no se dejan pasar. Se debe evitar el semiciclaje garantizando que los pulsos de disparo siempre se den en pares, pues de esta manera siempre pasarán el mismo número de semiciclos positivos y negativos.

El contactor K5 Alimenta las niquelinas, ver Anexo #3 plano eléctrico del equipo. Este se enciende al presionar el botón de control de arranque de la cámara, con este contactor no se puede realizar el control de ciclo integral ya que se tendría que conmutar a una frecuencia de 60Hz además se tendría un calentamiento excesivo de partes móviles y contactos por fricción y por el

arco eléctrico respectivamente quedando su uso dedicado como aislamiento eléctrico por esta razón se utiliza relés de estado sólido como se muestra en la figura 3.9 los mismos que presentan las siguientes características:



Figura 3.9: Relés de estado sólido

- Conexión con o sin función de paso por cero
- Desconexión a  $I=0$
- Gran resistencia a choques y vibraciones
- No ocasionan arcos ni rebotes al no existir partes móviles
- Vida de trabajo óptima
- Frecuencia de conmutación elevada
- Facilidad de mantenimiento
- Funcionamiento silencioso

- Control a baja tensión, compatible TTL/CMOS

Cada relé de estado sólido tiene su propio driver de disparo que controla la cantidad de corriente que circula por el led de disparo del relé como se muestra en la figura 3.10.

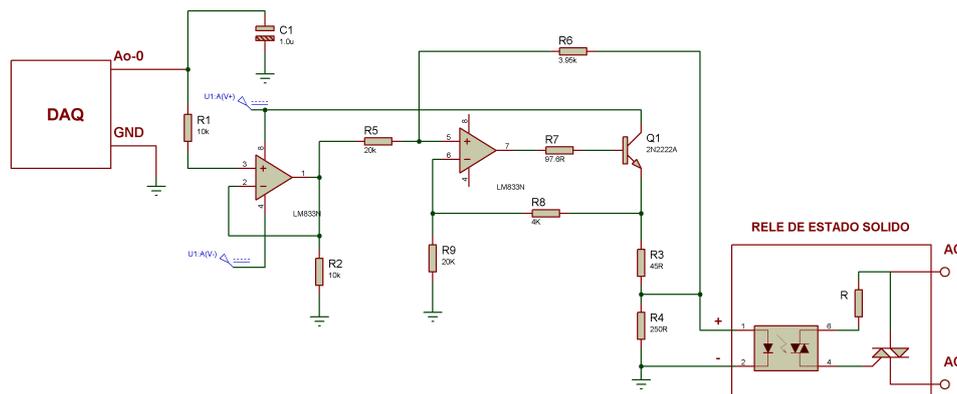


Figura 3.10: Driver de disparo para el relé de estado sólido

El PIC 16F6876A genera los pulsos de disparo que activan a cada driver de disparo.

Los pulsos están sincronizados con la red eléctrica, sin embargo la frecuencia de trabajo de la carga resistiva es de 3Hz ya que en un ciclo de trabajo caben 20 ciclos de la red es decir que cuando las niuelinas estén trabajando a un 50 % deben pasar 10 ciclos como se muestra en la figura 3.11 y ver tabla 3.1.

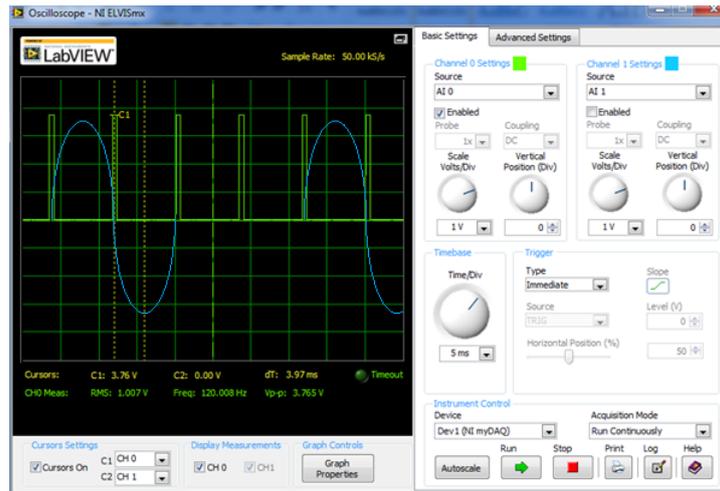


Figura 3.11: Control a una relación de trabajo del 50 % equivalente a 900 WATTS

Dato análogo	Ciclos de trabajo	Porcentaje de potencia	Potencia en (watts)
0-0,2548	0	0	0
0,2744 - 0,49	1	5	83,2
0,5096 - 0,7252	2	10	166
0,744 - 0,9604	3	15	250
0,98 - 1,1956	4	20	333
1,215 - 1,4308	5	25	416
1,4504 - 1,666	6	30	499
1,685 - 1,9012	7	35	582
1,9208 - 2,1364	8	40	666
2,156 - 2,3716	9	45	749
2,3912 - 2,6264	10	50	832
2,646 - 2,8616	11	55	915
2,8812 - 3,0968	12	60	998
3,1164 - 3,332	13	65	1082
3,3516 - 3,5672	14	70	1165
3,5868 - 3,8024	15	75	1248
3,822 - 4,0376	16	80	1331
4,0572 - 4,2728	17	85	1414
4,2924 - 4,508	18	90	1498
4,5276 - 4,7432	19	95	1581
4,7628 - 4,998	20	100	1664

Tabla 3.1: Relación de trabajo vs cantidad de ciclos

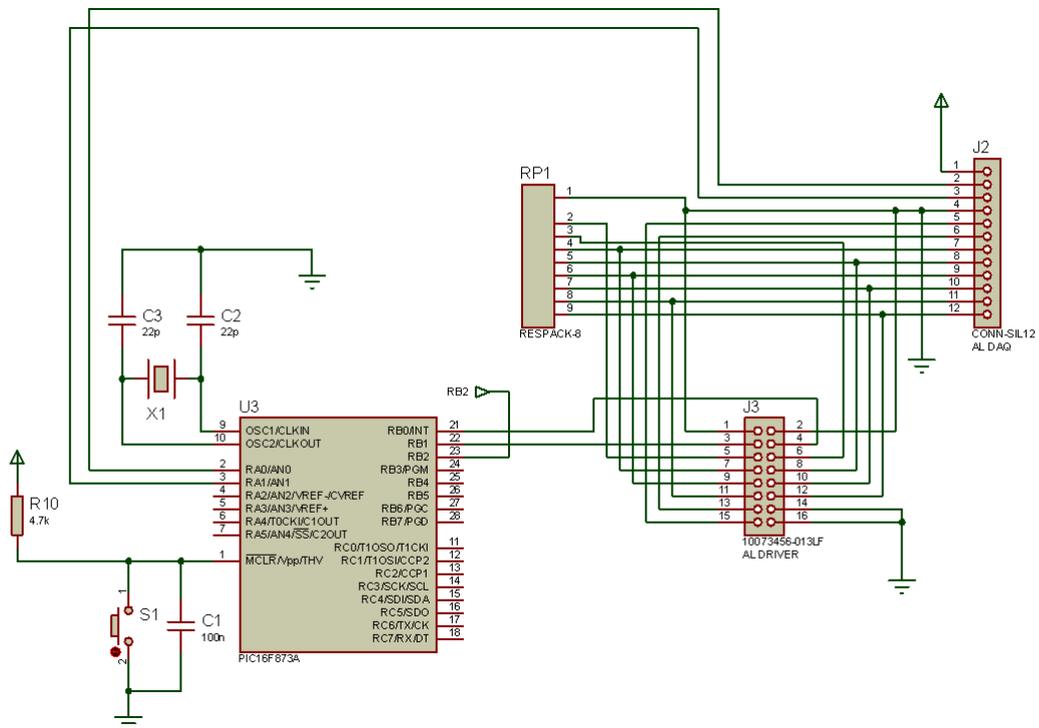


Figura 3.12: Control de disparo de las niquelinas y terminales de acoplamiento del DAQ y módulo de control.

Pin	Descripción	Tipo
7	Bloqueo	Salida digital
8	Alarma Caliente	Salida digital
9	Soplo Alarma	Salida digital
10	Cambio congelador	Salida digital
11	Cambio de vía	Salida digital
12	Encender refrigeradores	Salida digital
3	Niquelina calentador	Salida análoga
4	Niquelina Humidificador	Salida análoga
13	PT bulbo seco	Entrada análoga
15	PT bulbo húmedo	Entrada análoga
1-2-14-16	GND	

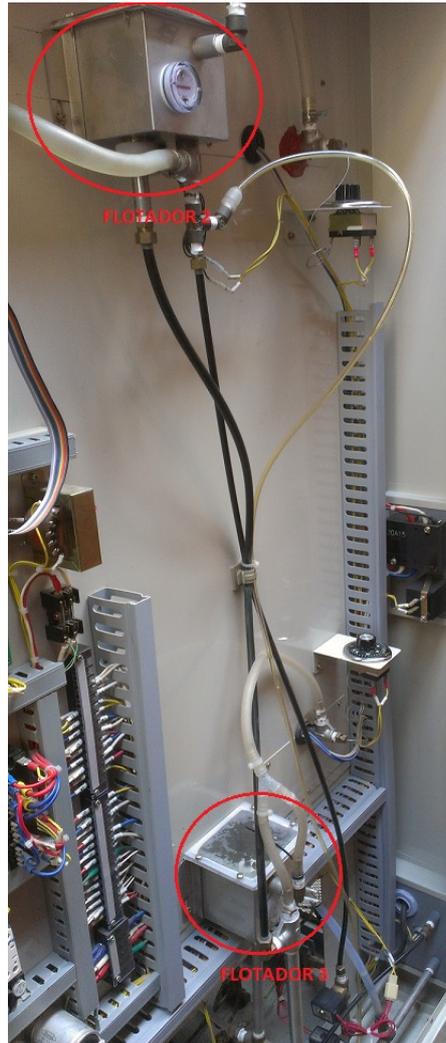
Tabla 3.2: Distribución de pines del bus de datos

Ver código fuente anexo 6

#### **3.2.4.3. Sistema de humidificación**

Para que la cámara lleve a cabo el proceso de humidificación se debe setear el porcentaje de humidificación deseado en la interfaz hombre máquina “HMI”, tomando en cuenta que la cámara trabaja en el rango de mínimo 30 % y como máximo 95 %. Posteriormente se acciona el pulsador de humidificación ubicado en el panel de control de la cámara para que se encienda la bomba de agua destilada, siempre y cuando el flotador 1 NA del tanque de reserva indique que hay la suficiente cantidad de agua, caso contrario se activará la alarma de WATHER ALARM y se detiene la cámara hasta que la condición de nivel bajo de agua se levante.

La bomba llena el tanque superior que surte de líquido a la gasa de bulbo húmedo hasta un nivel fijo sensado por el flotador 2 NC(ver figura 3.13 a), luego comienza a llenar al tanque inferior que surte de líquido a la bandeja de humidificación hasta un nivel sensado por el flotador 3 NC. Al abrirse los contactos de los flotadores 2 y 3 se activa el contactor de alimentación de las niquelinas de humidificación las cuales se encuentran sumergidas en el líquido de la bandeja de humidificación en la parte baja del interior de la cámara de climatización, ver figura 3.13b.



(a) Tanques contenedores de flotadores 2 y 3



(b) Bandeja de Humidificación

Figura 3.13: Sistema de humidificación

Si la humedad medida por el sistema de bulbo seco bulbo húmedo, es baja, el PID del HMI comenzará el proceso de humidificación encendiendo proporcionalmente las niquelinas con los relés de estado sólido hasta llegar al valor porcentual de humedad relativa “HR” deseada.

Si la humedad medida por el sistema de bulbo seco bulbo húmedo, es alta, la salida del PID del HMI es cero, apagando las niquelinas del humidificador, paralelamente se enciende el calentador y el condensador con el objetivo de disminuir el contenido de partículas de agua en el volumen de aire dentro de la cámara.

#### 3.2.4.4. Sistema de enfriamiento

Para el sistema de enfriamiento la cámara dispone de dos unidades de refrigeración, una grande REF1 y una pequeña REF2 (ver figura 3.13) de 600 watts y 400 watts respectivamente, donde la unidad REF1 se utiliza cuando la diferencia de temperatura del set point es muy baja en comparación a la temperatura interna de la cámara. Mientras que la unidad REF2 se utiliza cuando la diferencia de temperatura del set point en relación a la temperatura interna de la cámara es próxima a la del set point . Sin embargo la unidad REF1 dispone de un cambio de línea que activa un segmento del condensador para realizar ajustes pequeños y mantener estable la temperatura o la HR dentro de la cámara.



Figura 3.14: Sistema de refrigeración

### 3.2.5. Acoplamiento óptico

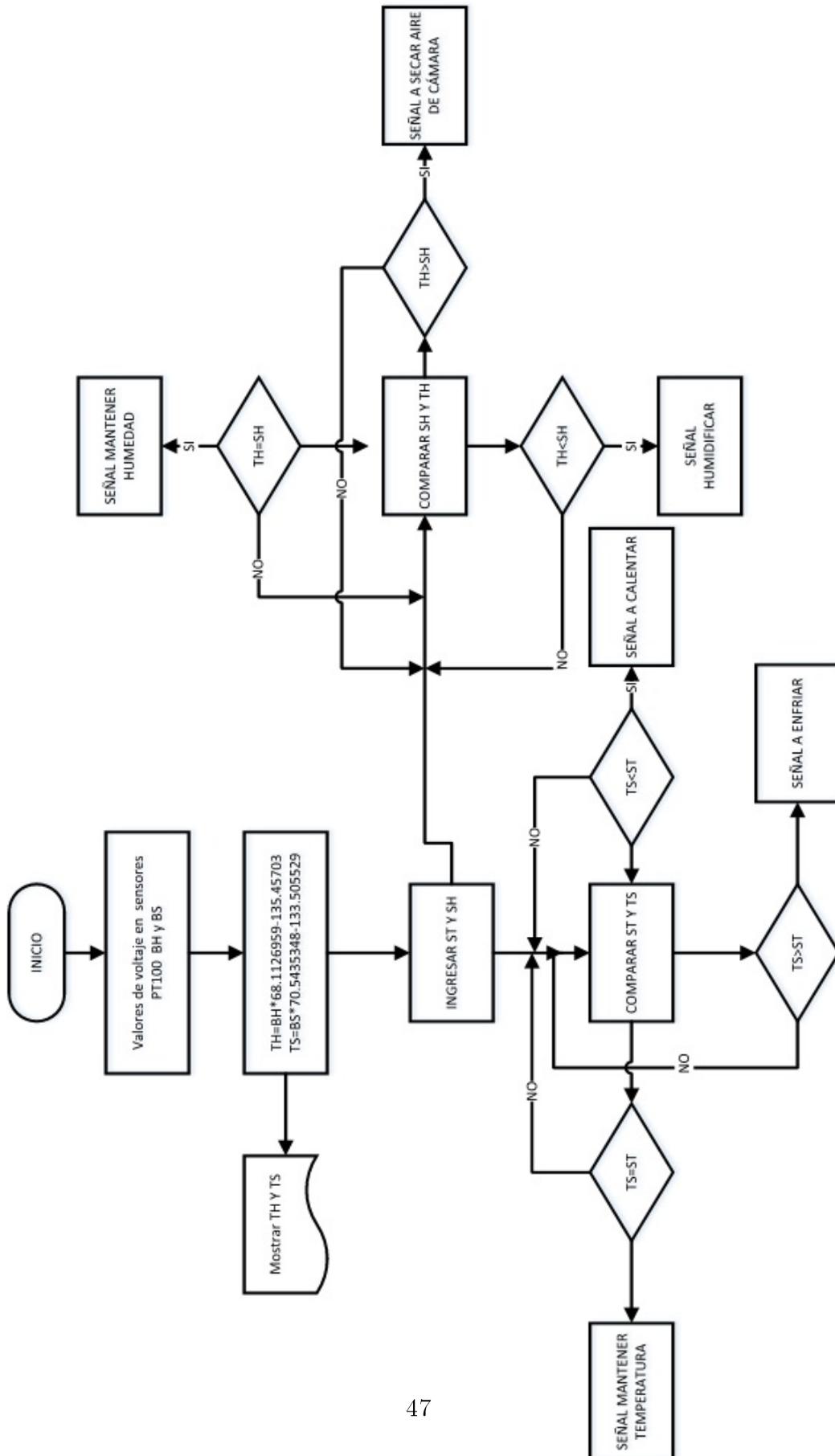
Se reutilizó el acoplamiento óptico de la cámara, el mismo que permite aislar electroestáticamente los circuitos eléctricos y electrónicos propios del equipo del NI-DAQ 6009(ver capítulo 2 figura 2.7b) y el computador para evitar descargas eléctricas y daños por corto circuito y a la vez permite accionar los relés de la tarjeta de control principal.

Las salidas digitales del NI-DAQ 6009 encienden los leds, el led enciende al transistor, el transistor activa una de las salidas del ULN2003 encendiendo al relé correspondiente, como se muestra en la figura 3.15.



Figura 3.15: Tarjeta de control principal comandada a través del acoplamiento óptico

### 3.2.6. Diseño de software de sistema de control para la cámara de climatización del INEN



Donde:

- BH voltaje en bulbo húmedo
- BS voltaje en bulbo seco
- TH temperatura bulbo Húmedo
- TS temperatura bulbo seco
- ST set point temperatura
- SH set point de humedad

En la figura 3.16 se muestra el diagrama de flujo con el que se inició el diseño del software y con esto entender cómo debe funcionar la cámara para mantener estable la temperatura y humedad. Se tomó en cuenta los siguientes parámetros que debe controlar el PID simultáneamente tanto para la temperatura como la humedad los cuales son:

- Para la temperatura:
  - Señal mantener temperatura
  - Señal calentar
  - Señal enfriar
- Para la humedad:
  - Señal mantener humedad

- Secar el aire de la cámara
- Señal humidificar

### 3.2.6.1. Diseño de PID

#### PRUEBA 1

Tabla 3.3: Primero estabilizar la temperatura luego la humedad, ya que la temperatura varía lentamente mientras que la humedad es una variable relativamente rápida.

- ALTA = Mayor que el set point
- BAJA = Menor que el set point

CONDICIÓN		Operación T [°C]	Operación HR [h %]
TEMPERATURA	HUMEDAD		
BAJA	BAJA	Calentar	Humidificar
BAJA	ALTA	Calentar	Calentar
ALTA	BAJA	Enfriar	Humidificar
ALTA	ALTA	Enfriar	Calentar

Tabla 3.3: Condiciones de Temperatura y Humedad de la cámara

Tabla 3.4: condiciones de temperatura y humedad para verificar el estado de las niquelinas refrigeradores y humidificadores de la cámara donde 1 es encendido y 0 es apagado.

CONDICIÓN		Calentador	Humidificador	Refrigerador 1	Refrigerador 2	Bypass
TEMPERATURA	HUMEDAD					
BAJA	BAJA	1	1	0	0	1
BAJA	ALTA	1	0	0	1	0
ALTA	BAJA	0	1	0	1	0
ALTA	ALTA	0	0	1	0	0

Tabla 3.4: Estado de encendido apagado de niquelinas refrigeradores y humidificadores

## Conclusión

- La temperatura funciona con el PID
- El humidificador funciona con el PID
- El humidificador opera sobre el calentador cuando ya se ha estabilizado la temperatura dentro de  $\pm 1^\circ\text{C}$

## PRUEBA 2

En la tabla 3.5 se muestra las condiciones con las que se realizó la calibración del PID tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Estable:  $\pm 0,5\%$  y  $\pm 0,5^\circ\text{C}$
- Bajo:  $\pm 2\%$  y  $\pm 2^\circ\text{C}$
- Alto:  $+2\%$  y  $+2^\circ\text{C}$
- Muy bajo:  $< -2\%$  y  $> +2\%$  //  $< -2^\circ\text{C}$  y  $> +2^\circ\text{C}$

CONDICIÓN		Calentador	Humidificador	Enfriador 1	Enfriador 2	Bypass
TEMPERATURA	HUMEDAD					
MUY BAJA	MUY BAJA	5	1	0	0	1
MUY BAJA	BAJA	5	1	0	0	1
MUY BAJA	ESTABLE	5	0	0	0	1
MUY BAJA	ALTA	5	0	0	0	1
MUY BAJA	MUY ALTA	5	0	0	0	1
BAJA	MUY BAJA	0	1	0	1	0
BAJA	BAJA	0	1	0	1	0
BAJA	ESTABLE	1 PID	0	0	1	0
BAJA	ALTA	1 PID	0	0	1	0
BAJA	MUY ALTA	1 PID	0	0	1	0
ESTABLE	MUY BAJA	0	1	0	0	1
ESTABLE	BAJA	0	1	0	0	1
ESTABLE	ESTABLE	0	0	0	0	1
ESTABLE	ALTA	4	0	0	0	1
ESTABLE	MUY ALTA	4	0	1	0	0
ALTA	MUY BAJA	0	1	0	1	0
ALTA	BAJA	0	1	0	1	0
ALTA	ESTABLE	0	0	0	1	0
ALTA	ALTA	0	0	1	1	0
ALTA	MUY ALTA	0	0	1	0	0
MUY ALTA	MUY BAJA	0	1	1	0	0
MUY ALTA	BAJA	0	1	1	0	0
MUY ALTA	ESTABLE	0	0	1	0	0
MUY ALTA	ALTA	0	0	1	0	0
MUY ALTA	MUY ALTA	0	0	1	0	0

Tabla 3.5: Condiciones de calibración de señales de calentamiento, enfriamiento y humidificación de la cámara

## Conclusión

- El humidificador funciona directamente con el PID de humedad
- El calentador funciona parcialmente con el PID de temperatura

### 3.3. Montaje del sistema de control de la cámara de climatización del INEN

Para realizar el montaje del sistema de control de la cámara se realizó simulaciones y pruebas del control de disparo de las niquelinas, terminales de acoplamiento del DAQ, módulo de control. y el detector de cruce por cero.

#### 3.3.1. Montaje de hardware

Se realizó varias simulaciones y pruebas del sistema de control en el software Proteus el cual permite simular circuitos electrónicos hasta que estas dieran un resultado satisfactorio.

- Capítulo3 Figura 3.5. Circuito de acondicionamiento de señal de los PT100
  - En primera instancia se optó por reutilizar los circuitos de acondicionamientos propios del controlador original de la cámara no obstante se realizo una simulación y pruebas para confirmar que estén trabajando de una manera adecuada
- Capítulo3 Figura 3.7. Detector de cruce por cero
  - Se realizó este control ya que es necesario que los pulsos de disparo estén sincronizados con la red eléctrica, para que el interruptor de estado sólido conduzca ciclos completos, por ende se realizaron

simulaciones de un circuito que detecte cuando la onda sinusoidal cruza por cero

- Capítulo3 Figura 3.8 Driver de disparo para el relé de estado sólido
  - Cada relé de estado sólido tiene su propio driver de disparo que controla la cantidad de corriente que circula por el led de disparo del relé
- Capítulo3 Figura 3.12 Control de disparo de las niquelinas y terminales de acoplamiento del DAQ y módulo de control
  - Este control se realizo ya que es necesario controlar la potencia con la que van a trabajar las niquelinas para conseguir estabilidad dentro de la cámara.

### **3.3.2. Montaje de software**

Luego de la implementación del hardware se procedió a realizar el montaje del software de una manera amigable en el software Labview 2012.

En primera instancia lo que debe realizar el DAQ es obtener los datos de los RTD PT100 los cuales entregan un voltaje tanto para el bulbo seco como para el bulbo húmedo; para esto, se implementó una parte de adquisición como se muestra en la figura 3.17.

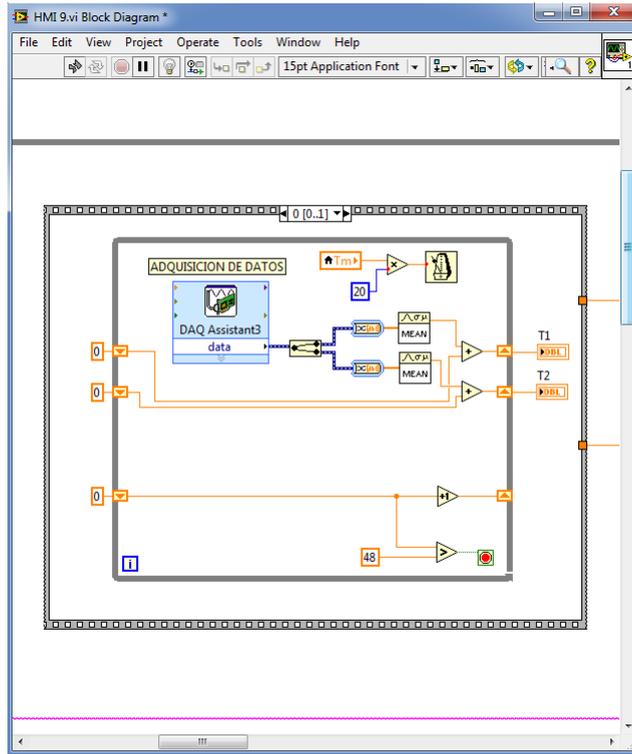


Figura 3.17: Adquisición de datos bulbo seco y húmedo

Luego de haber obtenido el dato de voltaje se debe transformar a un dato de temperatura como se muestra en la figura 3.18.

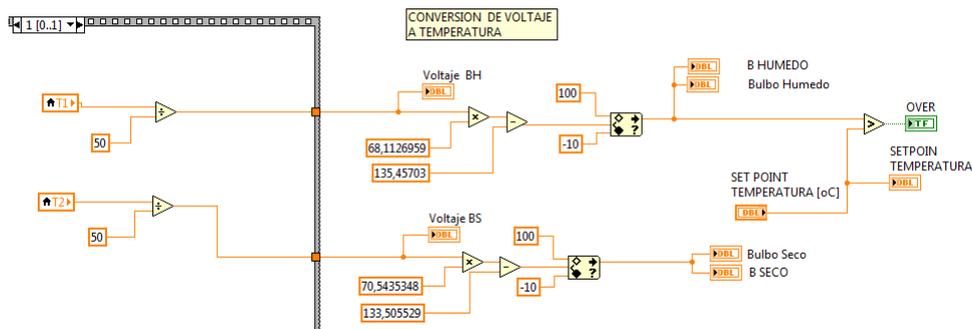


Figura 3.18: Convención de dato de voltaje en temperatura

Después de haber realizado la conversión de un dato de voltaje a un dato de temperatura se realiza la configuración de las salidas digitales del DAQ para

controlar qué debe hacer la cámara frente a las condiciones presentes dentro y fuera de ésta como se muestra en la figura 3.19.

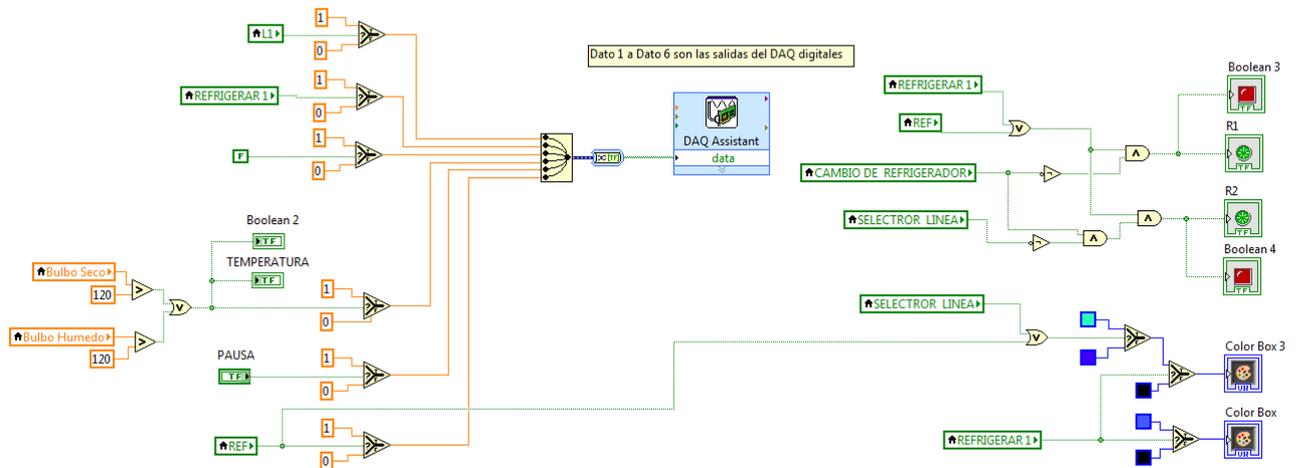


Figura 3.19: Configuración de las salidas digitales del DAQ

Ya obtenidos los valores de Bulbo seco y húmedo ahora el control debe realizar los ajustes según lo programado en el PID del control en la figura 3.20a y 3.20b donde se muestran los PID tanto de temperatura como de humedad.

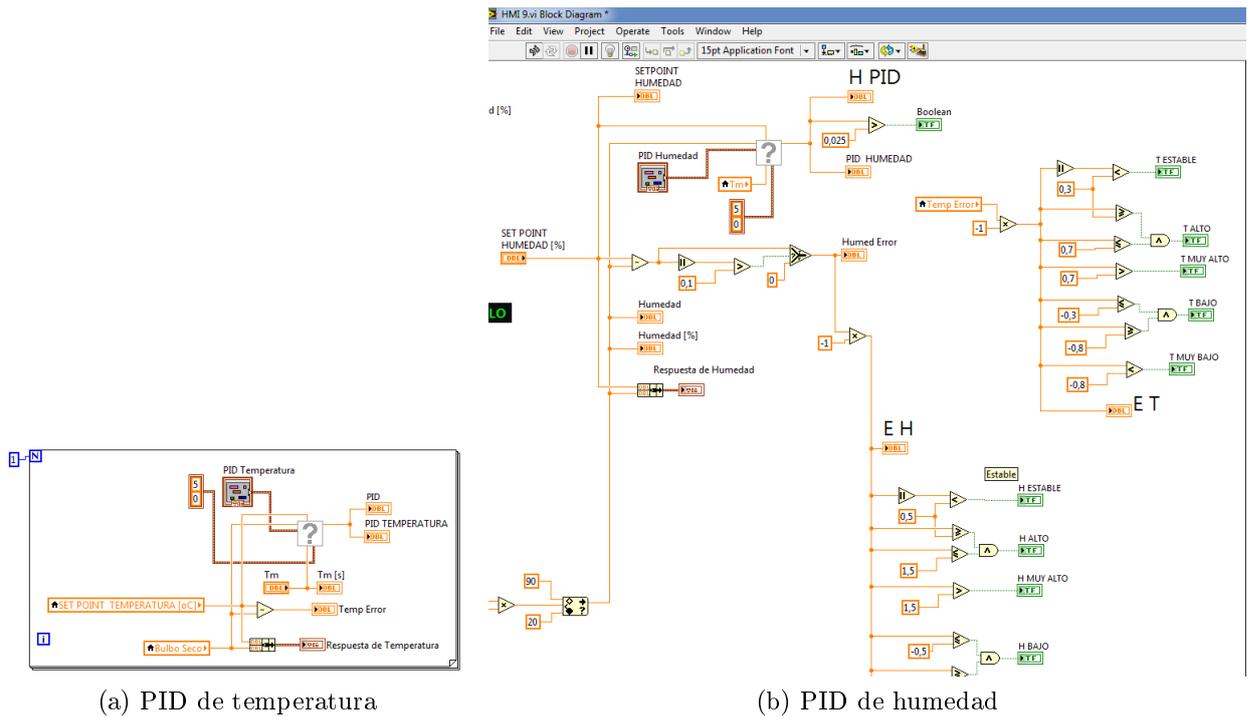


Figura 3.20: PID temperatura y humedad

Para realizar el control de la humedad se debe tener en cuenta dos factores fundamentales que son: el cálculo de la humedad relativa y la activación de los flotadores 2 y 3 (ver capítulo 3 figura 3.13a) para que comience la humidificación, los cuales para validar su estado fueron conectados en la entradas p1.0 y p1.1 del DAQ (ver capítulo 2 figura 2.8) para que estas entradas sean las que validen si la cámara puede o no puede comenzar el proceso de humidificación, como se muestra en la figura 3.21

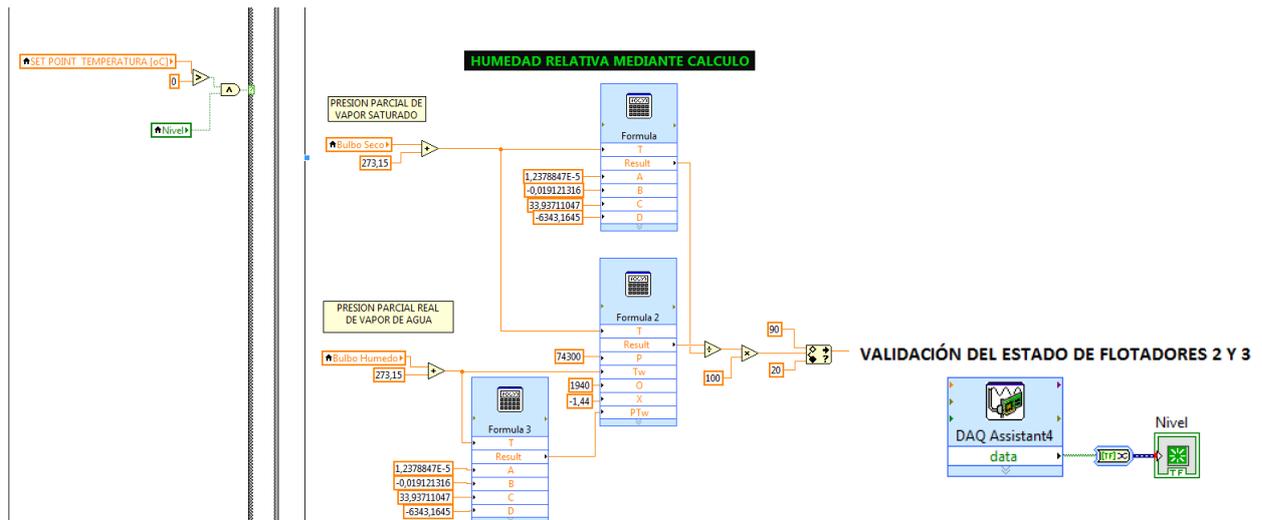


Figura 3.21: Cálculo de la humedad relativa y validación de que los flotadores 2 y 3 estén activos

Para finalizar con la parte de programación del control del DAQ se necesita que la información que se obtenga en la realización del proceso se guarde de alguna manera como texto para que sea legible y monitoreado por el usuario como se muestra en la figura 3.22.

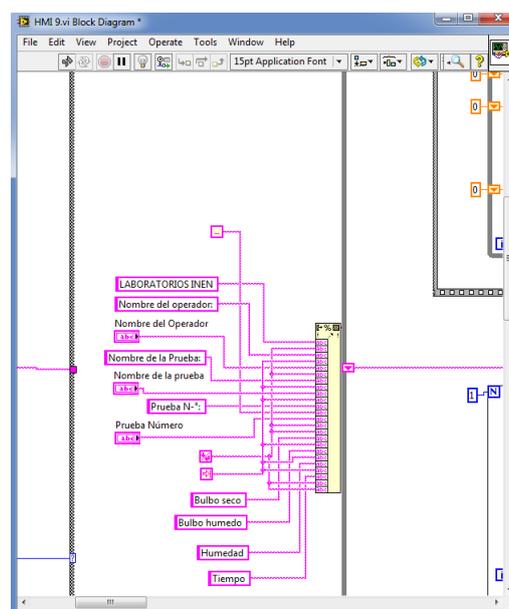
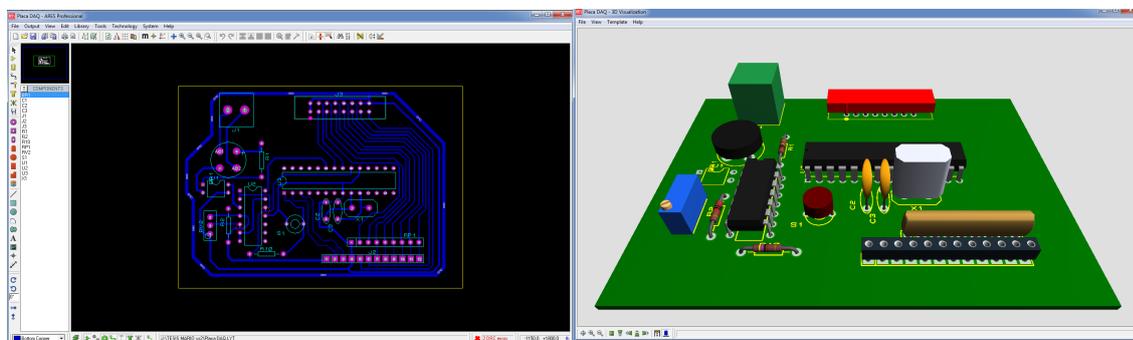


Figura 3.22: Hoja de reportes

## 3.4. Implementación de un sistema de control para la cámara de climatización del INEN

### 3.4.1. Implementación hardware

En la figura 3.23a se muestra el PCB del circuito para terminar con la implementación del circuito electrónico en una placa y en la figura 3.23b se muestra una simulación en 3d de la placa con todos sus elementos.



(a) PCB de la placa de control

(b) Previzualización en 3d de la placa

Figura 3.23: Placa de control

En la figura 3.24 se muestra el producto final de la placa de control con la cual se realizó el proyecto.

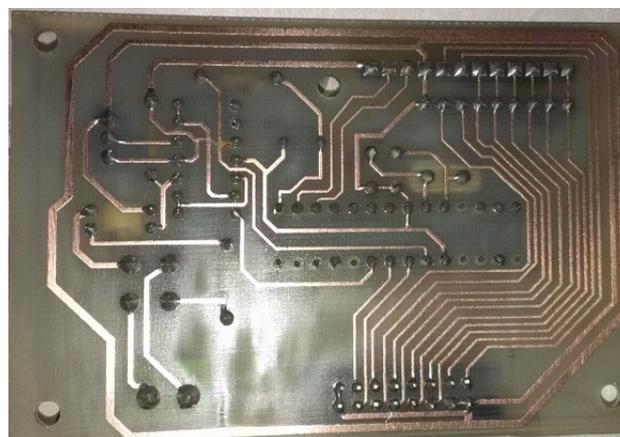


Figura 3.24: Pistas en la placa de control

Luego de haber realizado la placa electrónica se procedió a instalar y soldar los elementos correspondientes para luego ser instalada en la caja de ensayos junto al DAQ los cuales son el cerebro de la cámara como se muestran en la figura 3.25a y 3.25b.



(a) Placa del sistema de control con todos sus elementos (b) DAQ y bus hacia placa de control

Figura 3.25: Sistema de control de la cámara de climatización del INEN

Luego de haber realizado las conexiones dentro de la caja de ensayos se procedió a instalar en la cámara de climatización como se muestra en la figura 3.26.



Figura 3.26: Implementación de la caja de ensayos en la cámara de climatización de los laboratorios de temperatura y humedad del INEN

### 3.4.2. Implementación software

Para realizar el control de la cámara de climatización y la interfaz de usuario sea amigable se realizó un sistema como el que se muestra en la figura 3.27 donde de inicio presenta una pantalla de bienvenida

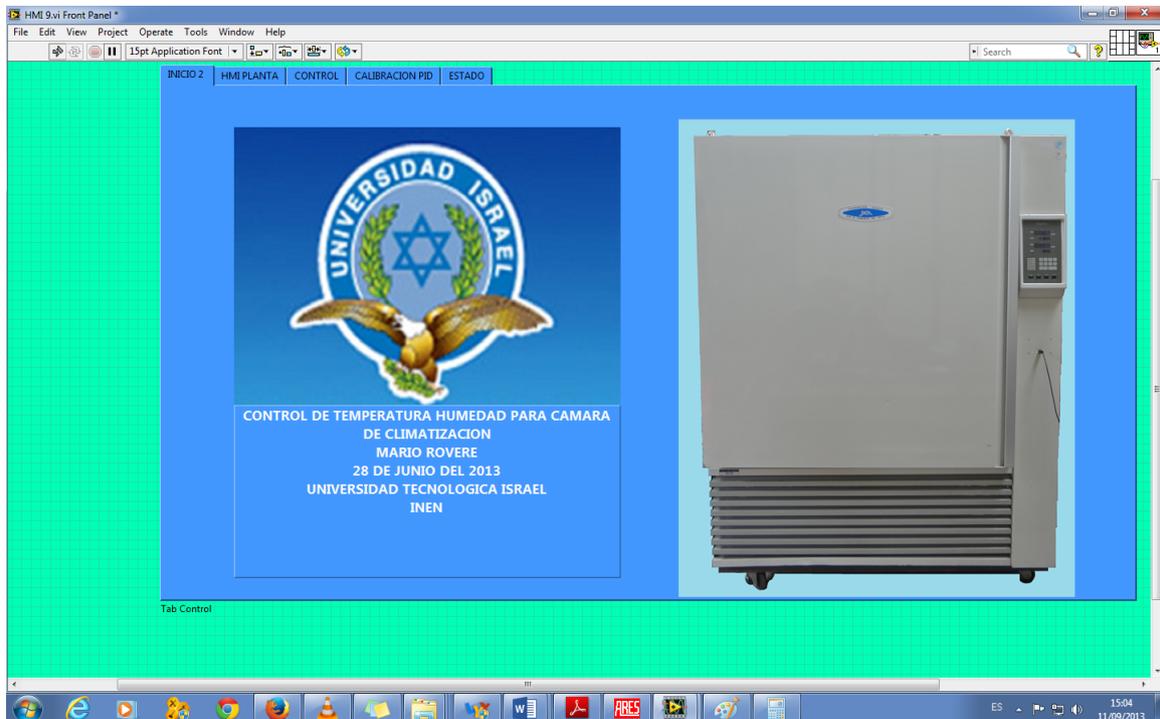


Figura 3.27: Software de control pantalla de bienvenida

Luego en la segunda viñeta muestra una simulación de la cámara donde se observa lo que está haciendo la misma a través de indicadores como: el refrigerador que esté encendido, si se han llenado los flotadores y se puede comenzar a humidificar el momento que se encienden los calentadores. En esta pantalla también el usuario ingresa los datos como su nombre, el número de prueba, el tipo prueba, las opciones de set point y observara las condiciones de temperatura y humedad que se encuentran dentro de la cámara. La figura 3.28 muestra todas estas opciones.

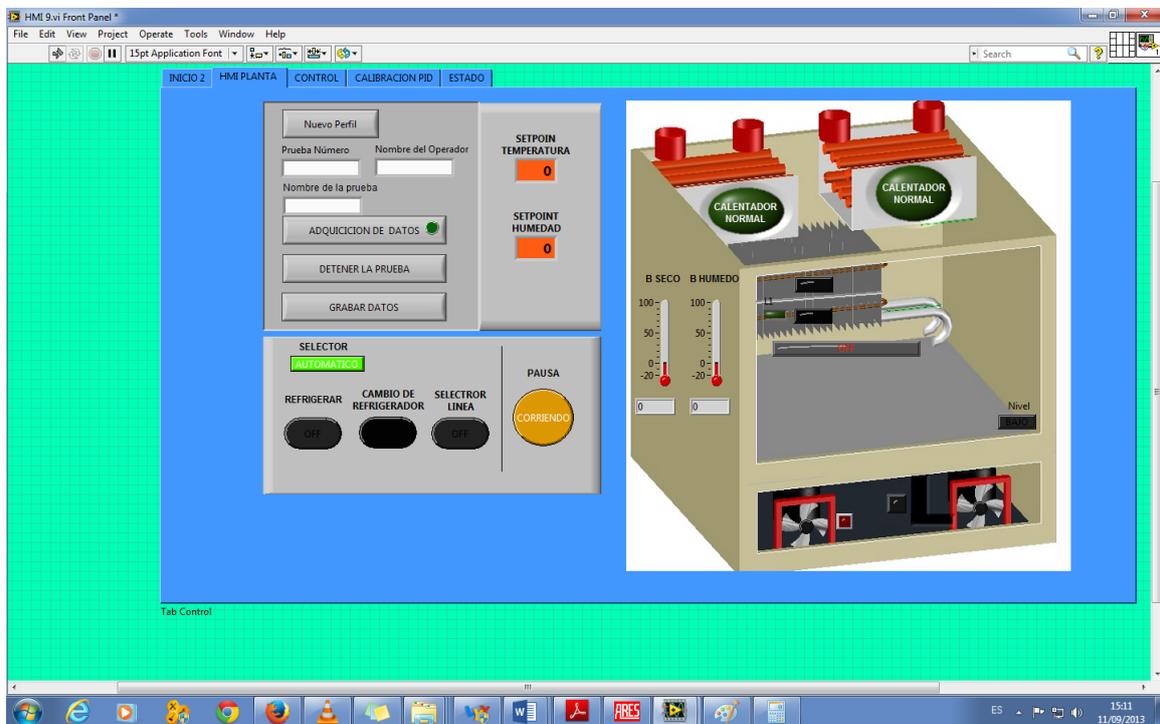


Figura 3.28: Pantalla de simulación de cámara y muestreo de condiciones

En la tercera viñeta del programa se puede ubicar el control de la temperatura y humedad; dos pantallas que muestran las curvas de respuesta de temperatura y humedad; 2 termómetros los cuales muestran la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo; adicionalmente muestra 2 pantallas digita-

les con los valores de voltaje referentes a la temperatura de los bulbos y un medidor tipo reloj de humedad. Como se muestra en la figura 3.29.

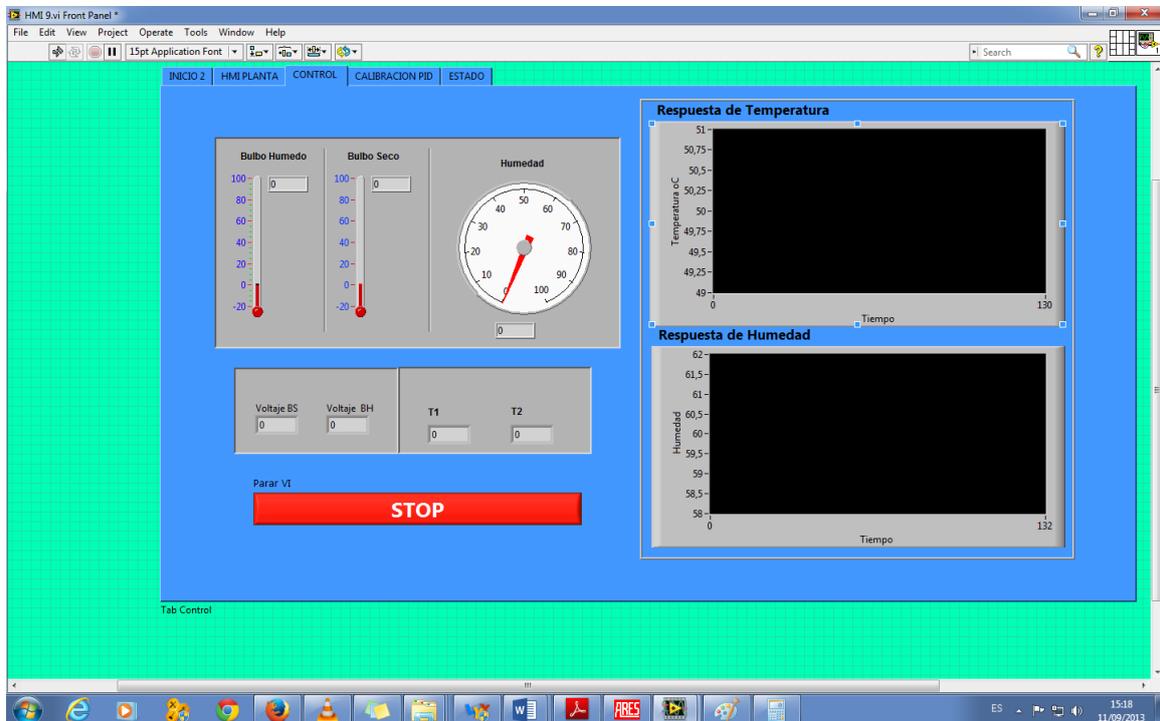


Figura 3.29: Pantalla de control y muestreo de temperatura y humedad

En la cuarta viñeta se encuentra la calibración del PID, esta viñeta es accesible por una contraseña para protección ante modificaciones no autorizadas y posterior descalibración del control de la cámara de climatización como se muestra en la figura 3.30.

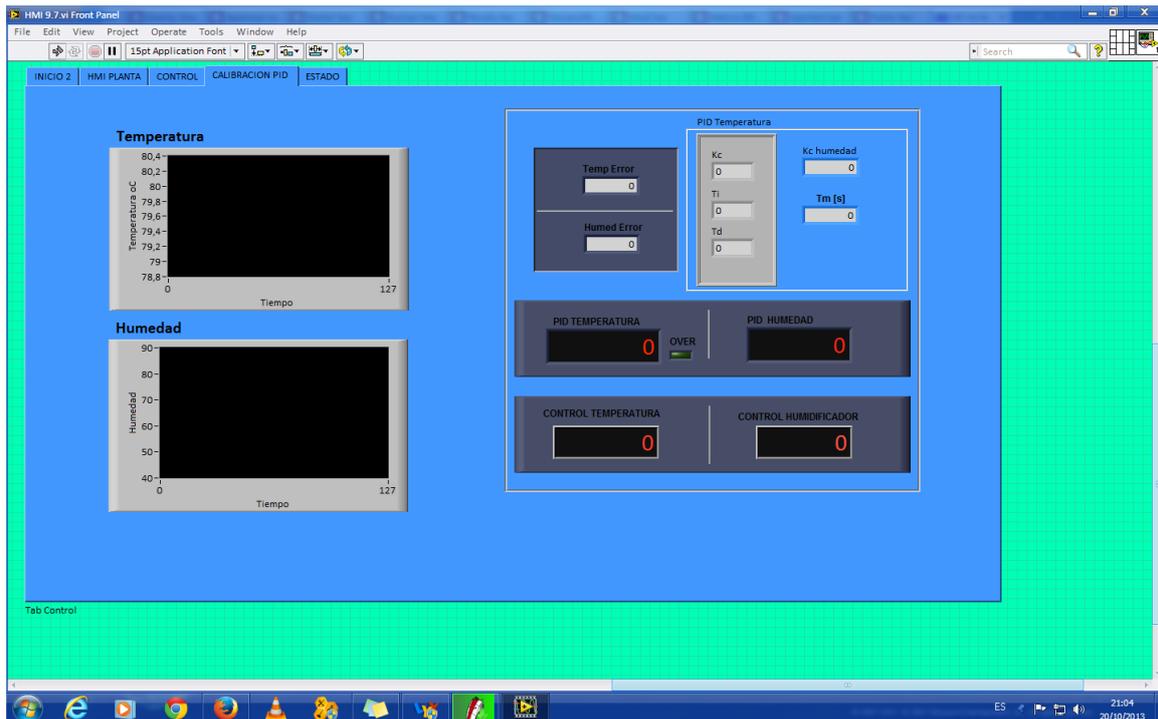


Figura 3.30: Pantalla de calibración de PID

### 3.5. Pruebas de validación de un sistema de control para la cámara de climatización del INEN

En la tabla 3.6 se muestra una hoja de reportes de una de las pruebas realizadas en el laboratorio para validar la cámara. La prueba sirvió para verificar el tiempo en que la máquina tarda en estabilizarse desde una temperatura inicial de  $0^{\circ}\text{C}$  y alcanzar una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  con una humedad del 40 %; la hora de inicio de la prueba es 15H:17M:03.018S y alcanzó la temperatura máxima a las 15H:32M:0.018S

LABORATORIOS INEN			
Nombre del operador:	Mario Rovere		
Nombre de la Prueba:	estabilidad al subir de 0°C a 40 °C y 40 %H		Prueba N-°: xxx
Bulbo seco	Bulbo húmedo	Humedad	Tiempo
0,387	-0,180	90,0	15:17:03,013
-0,379	-0,021	90,0	15:17:04,013
1,113	0,122	88,3	15:17:26,013
1,318	0,163	85,5	15:17:28,013
2,688	0,118	68,9	15:17:38,013
2,785	0,104	66,6	15:17:39,013
3,001	0,222	65,4	15:17:40,013
3,195	0,150	62,3	15:17:42,013
4,899	0,104	46,1	15:17:55,013
5,118	0,157	44,7	15:17:56,013
5,330	0,157	42,7	15:17:58,013
6,071	0,243	37,1	15:18:04,013
7,204	0,268	29,3	15:18:13,013
7,326	0,181	28,8	15:18:14,013
8,045	0,191	23,5	15:18:21,013
8,973	0,184	20,0	15:18:31,013
9,167	0,222	20,0	15:18:32,013
9,314	0,188	20,0	15:18:34,013
10,590	0,219	20,0	15:18:48,013
10,670	0,268	20,0	15:18:49,013
11,137	0,184	20,0	15:18:54,013
11,266	0,243	20,0	15:18:56,013
12,464	0,136	20,0	15:19:12,013

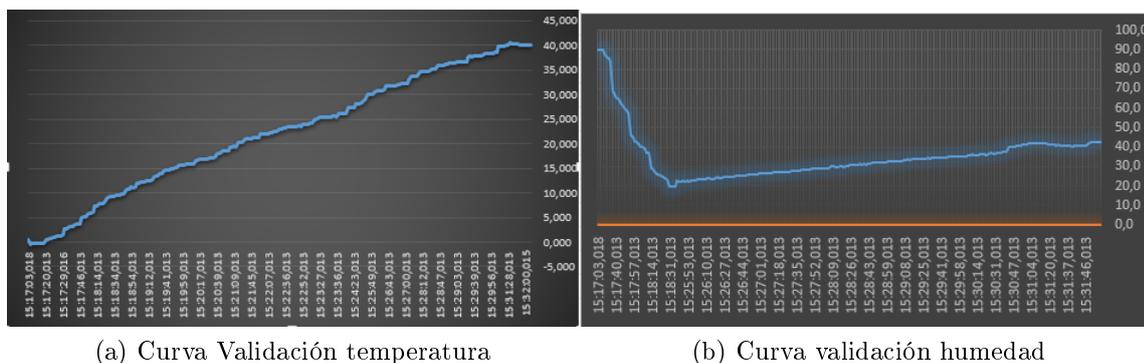
12,661	0,170	20,0	15:19:14,013
13,276	0,170	20,0	15:19:23,013
13,887	0,202	20,0	15:19:31,013
14,768	0,157	20,0	15:19:45,013
14,894	0,160	20,0	15:19:47,013
15,793	0,163	20,0	15:20:02,013
15,922	0,233	20,0	15:20:04,013
16,807	0,170	20,0	15:20:20,013
16,972	0,163	20,0	15:20:22,013
17,900	0,309	20,0	15:20:38,013
17,817	0,097	20,0	15:20:39,013
18,907	0,264	20,0	15:20:58,013
19,730	0,268	20,0	15:21:15,013
19,777	0,216	20,0	15:21:16,013
20,906	0,292	20,0	15:21:42,013
20,995	0,316	20,0	15:21:44,013
21,869	0,473	20,0	15:22:03,013
21,898	0,455	20,0	15:22:04,013
22,736	1,671	20,0	15:22:24,013
22,879	1,956	20,0	15:22:26,013
23,214	3,071	20,0	15:22:35,013
23,990	5,405	20,0	15:22:54,013
24,979	7,677	20,0	15:23:16,013
24,893	7,746	20,0	15:23:18,013
25,058	7,913	20,0	15:23:19,013
26,985	11,102	20,0	15:24:09,013
26,917	11,240	20,0	15:24:11,013

27,952	12,342	20,0	15:24:40,013
27,924	12,432	20,0	15:24:42,013
28,894	13,509	20,3	15:25:13,013
28,938	13,561	20,5	15:25:15,013
29,966	14,745	22,7	15:25:47,013
29,937	14,724	22,5	15:25:48,013
30,696	15,575	23,6	15:26:12,013
31,767	16,812	25,6	15:26:47,013
32,098	17,177	26,2	15:26:57,013
32,979	18,149	27,2	15:27:21,013
33,043	18,156	27,4	15:27:22,013
34,072	19,382	28,8	15:27:50,013
34,848	20,348	30,0	15:28:16,013
35,165	20,685	30,9	15:28:25,013
35,941	21,602	32,2	15:28:49,013
36,157	21,751	32,1	15:28:50,013
37,042	22,832	33,7	15:29:17,013
37,904	23,881	34,7	15:29:43,013
38,933	26,694	42,1	15:31:04,013
38,900	26,607	42,0	15:31:05,013
39,037	26,791	41,8	15:31:06,013
40,144	27,274	40,7	15:31:37,013
40,004	27,893	42,8	15:32:00,018

Tabla 3.7: Prueba de estabilidad subir de 0 °C a 40 °C y 40 % humedad

### 3.6. Análisis de los resultados

La prueba constatada en la hoja de reportes de la tabla 3.7 fue exitosa ya que cumple con los estándares ofrecidos para el funcionamiento de la cámara el cual es  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  de rango de error para la temperatura y  $\pm 3\%$  de error para la humedad; tras esta prueba realizada como muestra en los últimos datos de la tabla la temperatura se encuentra en  $40,004^{\circ}\text{C}$  y su máximo valor en  $40,144^{\circ}\text{C}$  mientras que la humedad en  $40.7\%$  y su máximo  $42,8\%$  de humedad. Para realizar un análisis se trazaron curvas de respuesta para validar estos datos a como se muestran en la figura 3.31a para la temperatura y 3.31b para la humedad



(a) Curva Validación temperatura

(b) Curva validación humedad

Figura 3.31: Curvas de validación de la cámara temperatura y humedad

Al analizar la figura 3.31a y 3.31b se observa que la cámara se estabiliza en un tiempo de 14,43 minutos es decir la cámara sube  $40^{\circ}\text{C}$  en 15 minutos aproximadamente, tanto la temperatura y la humedad alcanzaron los valores

solicitados en el set point con un cierto rango de error aceptable.

# Capítulo 4

## ANÁLISIS FODA Y COSTOS

### Introducción

Después de la implementación del sistema y pruebas realizadas en el laboratorio se procedió a tabular los resultados obtenidos y hacer un análisis de los mismos. Para terminar con un análisis FODA del sistema y costos del proyecto.

### 4.1. Análisis FODA

Mediante la Matriz FODA se analizaron los factores controlables: fortalezas y debilidades y los factores no controlables: oportunidades y amenazas, los cuales permitieron realizar un análisis del producto obtenido en el proyecto de grado.

La tabla 4.1 indica las fortalezas las cuales permiten que el sistema sea valorado, las oportunidades o factores que deben aprovecharse apenas éstos se presenten, las debilidades que deben ser eliminadas con el transcurso del tiempo y las amenazas que deben sortearse cada que éstas se presenten.

<p><b>FORTALEZAS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ya que se utilizó un DAQ se puede rediseñar el software en Labview de acuerdo a las necesidades y requerimientos del usuario.</li> <li>2. El sistema permite controlar, supervisar y monitorear los factores ambientales dentro de la cámara</li> <li>3. El sistema brinda un monitoreo y reporte de actividad de la cámara directamente al CPU sin necesidad de un operario.</li> </ol>	<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dentro de Laboratorios que posean este tipo de cámaras pueden instalarse sistemas parecidos.</li> <li>2. No existe en el mercado un sistema de control para reemplazar al que se diseñó de acuerdo a las necesidades del usuario.</li> <li>3. Sistema protegido contra modificaciones si no es del diseñador.</li> </ol>
<p><b>DEBILIDADES</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sistema no es muy escalable.</li> <li>2. Si el computador sufre algún daño o pérdida de suministro eléctrico éste afectará la prueba que se está realizando.</li> <li>3. La cámara debe permanecer conectada al computador durante la duración de las pruebas.</li> </ol>	<p><b>AMENAZAS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Competencia elevada</li> <li>2. Incremento en el costo de los elementos electrónicos.</li> <li>3. Incremento de fabricación nacional de cámaras de climatización</li> </ol>

Tabla 4.1: Matriz FODA del proyecto.

## 4.2. Costo del proyecto

Este aspecto define la valoración monetaria de los gastos incurridos entre los que se incluyen los costos de los materiales, de la mano de obra, gastos indirectos de fabricación, para de esta manera obtener el costo del proyecto.

### 4.2.1. Costos de la materia prima directa (MPD)

En la tabla 4.2 se muestran los costos de materiales utilizados en la fabricación

de la placa de control .

<b>Materia prima – placa de control</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
PIC16F876A	1	5,63	5,63
Amplificador operacional LM324N	1	2,50	2,50
Optoacoplador P627	1	4,02	4,02
Condensador cerámico 22pF	4	0,07	0,28
Resistencia de 100K	1	0,03	0,03
Resistencia de 20K	1	0,03	0,03
Resistencia de 3.3K	1	0,03	0,03
Resistencias de 220 ohm	6	0,03	0,18
Cristal 4MHz	1	0,49	0,49
Potenciómetro ajustable w102	1	0,50	0,50
Puente de diodos	1	0,50	0,50
Socket 24 pines	1	0,40	0,40
Conector bus 16 pines	1	0,80	0,80
Resistencia en línea de 10k	1	0,50	0,50
Pulsador NA	2	0,31	0,62
Bornera 2P	1	0,22	0,22
Bornera 3P	1	0,40	0,40
Baquelita 20X30cm	1	2,37	2,37
Funda de ácido férrico	2	0,36	0,72
Papel de transferencia térmica	1	1,20	1,20
Caja metálica de ensayos	1	12,00	12,00
Tornillos	4	0,05	0,20
<b>Subtotal</b>			<b>33,62</b>
<b>IVA 12 %</b>			<b>4,0344</b>
<b>Total Placa de Control</b>			<b>\$ 37,65</b>

Tabla 4.2: Costos de placa de control

En la tabla 4.3 se muestra el costo del sistema de Adquisición de datos (DAQ)

<b>Materia prima – sistema de adquisición de datos</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
DAQ NI-USB 6009	1	389,00	389,00
Cable USB 2.0 de alta velocidad	1	20,00	20,00
<b>Subtotal</b>			409,00
<b>IVA 12 %</b>			49,08
<b>Total DAQ</b>			\$ 458,08

Tabla 4.3: Costos de sistema de adquisición de datos

El valor total de la materia prima directa es la suma de los subtotales de las tablas 4.2 y 4.3 el cual da un resultado mostrado en la tabla 4.4

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
Materia prima placas	1	37,65
Materia prima sistema DAQ	1	458,08
<b>Total Materia prima</b>		\$ 495.63

Tabla 4.4: Valor total de materia prima directa

#### 4.2.2. Costos de la mano de obra directa (MOD)

En la tabla 4.5 se indica el costo de la mano de obra directa en función del pago del alquiler de equipos para instalación.

<b>Costos MOD</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Revisión de la cámara (inicial)	1u	60,00	60,00
Habilitación de Tarjetas acondicionadoras	2u	5,00	10,00
Construcción placa de control	1u	20,00	20,00
HMI en Labview	1u	250,00	250,00
Instalación en el laboratorio	10h	5,00	50,00
Hora técnico	100h	25,00	2.500,00
<b>Total MOD</b>			\$ 2.890

Tabla 4.5: Costos de Materia prima – Costos MOD

### 4.2.3. Costo de equipos utilizados en el laboratorio

En la tabla 4.6 se muestran los costos de alquiler de equipos para la validación y calibración del sistema de control instalado en la cámara.

Descripción	Cantidad	Valor
Fluke - Hart Scientific 1529 Chub-E4	60 días	200,00
Fluke Calibration 1620A Precision Thermo-Hygrometer	60 días	200,00
<b>Total gastos de Equipos</b>		<b>\$ 400,00</b>

Tabla 4.6: Costo de equipos utilizados en la calibración

### 4.2.4. Costo total del proyecto

En la tabla 4.7 se muestra el costo total del proyecto

Descripción	Cantidad	Valor
Valor total de materia prima	1	495,63
Costo MOD	1	2890,00
Costo equipos utilizados en el laboratorio	1	400,00
<b>Total de proyecto</b>		<b>\$ 3785,63</b>

Tabla 4.7: Costo total del proyecto

# Capítulo 5

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- En este tipo de cámaras las condiciones externas afectan su funcionamiento especialmente la temperatura ambiente, la humedad, la presión atmosférica y el voltaje de la red.
- Utilizando el método de ZIEGLER-NICHOLS, se logró encontrar los valores del controlador PID, de manera efectiva y precisa confirmados por simulación y posterior integración al sistema de control de la planta.
- Se mejoró el control original de tal manera que mantenga en un rango de temperatura de +- el 0,5°C de error con relación a la del set point y la humedad mantenga un rango de +- el 3 %.
- Tras las pruebas realizadas se llegó a determinar que el tiempo de muestreo para la toma de datos y control depende de la variable que varía más rápido en este caso la humedad.

- De las pruebas iniciales se concluyó que el tiempo que le toma a la cámara para alcanzar la estabilidad mejora si primero se estabiliza la temperatura y luego la humedad.
- Para que la cámara funcione de manera adecuada y suprimir los transitorios de voltaje que producen que el PIC se cuelgue, se utiliza diodos de acción rápida en las bobinas de las electro válvulas
- En las pruebas realizadas se demostró que mientras se incrementa la temperatura, la humedad baja drásticamente ya que el aumento de temperatura seca el aire dentro de la cámara. Así , en la cámara al alcanzar una temperatura de 100°C, la humedad es casi despreciable; caso contrario al alcanzar temperaturas bajo 0°C, la humedad es máxima.

## 5.2. Recomendaciones

- Ya que la cámara posee 2 tanques con los flotadores 2 y 3(ver Cap.3 figura 3.12 a) se recomienda mantener la cámara nivelada para evitar falsos contactos en los flotadores.
- Se recomienda configurar el computador para deshabilitar la hibernación, suspensión del equipo y que se mantenga un suministro eléctrico respaldado mientras se realizan las pruebas.
- Se recomienda que el computador a ser utilizado sea robusto para el control de la cámara ya que debe tener: buena velocidad, que sea expli-

citamente para el control, la recopilación de reportes y que pueda resistir varios días encendido.

- Al diseñar el controlador para este tipo de cámaras se tuvo que tomar en cuenta todos los rangos de voltaje que maneja el controlador tanto de entrada y en la salida de las señales.
- Si se utilizan actuadores que no sean lineales, se puede recurrir a compensadores externos para mejorar la respuesta especialmente en estado transitorio.
- Se recomienda tener en cuenta que la cámara tarda más en enfriar que en calentar por lo que si se desea realizar pruebas a altas y bajas temperaturas, realizar primero las pruebas en bajas temperaturas.

# ANEXOS

# Anexo 1

## Glosario de términos

1. **Fenómeno de Aliasing:** Este fenómeno ocurre cuando hay una superposición en el desplazamiento, es decir, copias periódicas en nuestra señal  $F(t)$  que se observan como un espectro
2. **Shunt:** es una carga resistiva a través de la cual se deriva una corriente eléctrica. Generalmente la resistencia de un shunt es conocida con precisión y es utilizada para determinar la intensidad de corriente eléctrica que fluye a través de esta carga, mediante la medición de la diferencia de tensión o voltaje a través de ella, valiéndose de ello de la ley de Ohm ( $I = V/R$ ).

## Anexo 2

### Manual original de la cámara

**CONSTANT TEMPERATURE / HUMIDITY CHAMBER**

**MODEL AG**

**INSTRUCTION MANUAL**

No. 37-9501

A 9018

**ADVANTEC TOYO KAISHA, LTD.**

## 1. SPECIFICATION

### Function

System	:	Proportional band shift P. I. D. control, digital indication, readout 1 / 100 °C Humidity ... Relative humidity (%) direct setting, digital indication
Operating Temp. / Humidity Range	:	-20 to 100 °C / 30 to 95 % R. H
Temp. / Humidity Control Band	:	± 0.3 °C / ± 2 % R. H
Temp. / Humidity Uniformity	:	± 0.75 °C / ± 3 % R. H
Temp. Descending Time	:	Within 30 min., + 20 °C to - 10 °C (Ambient Temp. + 20 °C, No load)
Temp. Ascending Time	:	Within 30 min., + 20 °C to 100 °C (Ambient Temp. + 20 °C, No load)

### Construction

Material	Interior	:	304 stainless steel
	Exterior	:	Steel (SPC-1) baked with melamine resin paint
Insulation Material		:	Hard polyurethane foam and glass wool
Refrigerator		:	600W, air-cooled, hermetic type
Circulation Fan		:	90W x 2, sirocco fan
Heater		:	Nicrome strip wire
Humidifier		:	304 stainless steel sheathed heater (surface evaporating type)
Dehumidifier		:	Plate fin cooler
Condenser		:	Plate fin cooler
Safety Device		:	Electric circuit breaker, overheat protection device, over current relay for refrigerator and circulating fan, refrigerator high pressure switch, control circuit overload protection fuse, malfunction warning device for refrigerator, water flow circuit, and operation circuit

1. SPECIFICATION

□ Function

System : Proportional band shift P. I. D. control,  
 digital indication, readout 1 / 100 °C  
 Humidity ... Relative humidity (%)  
 direct setting, digital indication

Operating Temp. / Humidity Range : -20 to 100 °C / 30 to 95 % R. H

Temp. / Humidity Control Band : ± 0.3 °C / ± 2 % R. H

Temp. / Humidity Uniformity : ± 0.75 °C / ± 3 % R. H

Temp. Descending Time : Within 30 min., + 20 °C to - 10 °C  
 (Ambient Temp. + 20 °C, No load)

Temp. Ascending Time : Within 30 min., + 20 °C to 100 °C  
 (Ambient Temp. + 20 °C, No load)

□ Construction

Material Interior : 304 stainless steel  
 Exterior : Steel (SPC-1) baked with melamine resin paint

Insulation Material : Hard polyurethane foam and glass wool

Refrigerator : 600W, air-cooled, hermetic type

Circulation Fan : 90W x 2, sirocco fan

Heater : Nicrome strip wire

Handwritten notes and diagrams on the page:

- Graphs showing temperature and humidity curves over time.
- Block diagrams of control systems with feedback loops.
- Mathematical equations, including transfer functions and characteristic equations.
- Handwritten labels and annotations in various colors.

□ Program Temperature / Humidity Controller

Temperature Indication Range : - 99.9 °C ~ + 199.9 °C

Temperature Setting Range : - 50 °C ~ + 100 °C

Humidity Indication / Setting Range : 0.1 ~ 99.9 % R. H

Indication / Setting Disintegration

Temperature Indication : 0.01 °C setting 0.1 °C

Humidity Indication : 0.1 % R. H setting 0.1 % R. H

Indication / Setting Accuracy

Temperature : ± 0.2 %

Humidity : ± 0.2 % R. H

Setting Method

: Key-in method by key switch on panel

Sensor

: Platinum resistance pt 100 Ω

(Dry / wet bulb detection type)

Control Operation

: Proportional band auto. shift type pulse PID control

Item \ model	AG-227	AG-228
Inner Dimensions	600 x D800 x H850	W1000 x D800 x H1000
Overall dimensions	1050 x D1275 x H1890	W1500 x D1275 x H1940
Capacity	408 lit.	800 lit.
Power Consumption	200V 3 φ , 19A	200V 3 φ , 23A
Weight	310 kg	450 kg

Accessories

1) Shelf : 2

2) Shelf Receiver : 4

ADVANTEC TOYO KAISHA, LTD.  
OVERSEAS TRADE DIVISION  
1510 BLDG. 1-5-10, KOTOBUKI, TAITO-KU, TOKYO, 111-0042  
TEL : +81-3-3842-6293/FAX : +81-3-3842-6294  
E-mail [atk-otd@ADVANTEC.co.jp](mailto:atk-otd@ADVANTEC.co.jp)

TO : INEN  
ATTN : Wilson Angulo Cruz  
FROM : Katsuaki Tanaka  
DATE : April 11, 2006

Dear Mr. Cruz,

Please find the attached manual for AG-228 per your e-mail request.

Kind regards,

Katsuaki Tanaka

Name Wilson Angulo Cruz  
Title/Position Laboratorio de Ensayos F<sub>abric</sub>icos y Mec<sub>anic</sub>icos  
Organization INEN  
Address Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro  
City Quito  
State/Province Pichincha  
Zip/Postal code  
Country Ecuador  
Phone 59322343716  
FAX 59322344394  
E-mail [wangulo@inen.gov.ec](mailto:wangulo@inen.gov.ec)  
URL [www.inen.gov.ec](http://www.inen.gov.ec)

Request or Inquiry:

Please we need MANUAL and information in English about an "ADVANTEC AG-228  
CONSTANT TEMPERATURE/HUMIDITY INCUBATOR". Where we can obtain it?

Regards.

Wilson A.

## Anexo 3

# Plano eléctrico de potencia

# Anexo 4

## Datasheet

## NI USB-6009 DAQ Multifunción de Bajo Costo de 14 Bits, 48 kS/s

El USB-6009 de National Instruments brinda funcionalidad de adquisición de datos básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos de laboratorio. Es lo suficientemente poderoso para aplicaciones de medida más sofisticadas. Para usuarios de Mac OS X y Linux, utilice el software NI-DAQmx Base y programe el USB-6009 con LabVIEW o C. <sup>1</sup>

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s)
- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales; contador de 32 bits
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada La versión OEM está disponible Compatible con LabVIEW, LabWindows/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET
- Software controlador NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos

General	
Producto	USB-6009
Familia de Productos	DAQ Multifunción
Formato Físico	USB
Número de Parte	779026-01
Sistema Operativo/Objetivo	Windows , Linux , Mac OS , Pocket PC

<sup>1</sup>Referencia: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>.

Familia de Productos DAQ	Serie B
Tipos de Medida	Voltaje
Tipo de Aislamiento	None
Compatibilidad con RoHS	Sí
Potencia USB	Energizado por Bus
<b>Entrada Analógica</b>	
Canales	4 , 8
Canales de una sola terminal	8
Canales Diferenciales	4
Resolución	14 bits
Velocidad de Muestreo	48 kS/s
Rendimiento (Todos los Canales)	48 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	7.73 mV
Rango de Voltaje Mínimo	-1 V , 1 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	1.53 mV
Número de Rangos	8
Memoria Interna	512 B
<b>Salida Analógica</b>	
Canales	2
Resolución	12 bits
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	5 V
Rango de Voltaje Máximo	0 V , 5 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	7 mV
Rango de Voltaje Mínimo	0 V , 5 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	7 mV

Razón de Actualización	150 S/s
Capacidad de Corriente Simple	5 mA
Capacidad de Corriente Total	10 mA
<b>E/S Digital</b>	
Canales Bidireccionales	12
Temporización	Software
Niveles Lógicos	TTL
Entrada de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Salida de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Capacidad de Corriente Simple	8.5 mA
Capacidad de Corriente Total	102 mA
Máximo Rango de Entrada	0 V , 5 V
Máximo Rango de Salida	0 V , 5 V
<b>Contadores/Temporizadores</b>	
Número de Contadores/Temporizadores	1
Rango Máximo	0 V , 5 V
Frecuencia Máxima de la Fuente	5 MHz
Resolución	32 bits
Estabilidad de Tiempo	50 ppm
Niveles Lógicos	TTL
<b>Especificaciones Físicas</b>	
Longitud	8.51 cm
Ancho	8.18 cm
Altura	2.31 cm
Conector de E/S	Terminales de tornillo
<b>Temporización/Disparo/Sincronización</b>	
Disparo	Digital

Tabla 5.2: Características DAQ NI USB-6009

## **NI USB-6008 DAQ Multifunción de Bajo Costo de 12 Bits, 10 kS/s**

El USB-6008 de National Instruments brinda funcionalidad de adquisición de datos básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos de laboratorio. Es lo suficientemente poderoso para aplicaciones de medida más sofisticadas. Utilice el NI USB-6008 que incluye el software registrador de datos para empezar a tomar medidas básicas en minutos o prográmelo usando LabVIEW o C y el software de servicios de medida NI-DAQmx Base para un sistema de medida personalizado.

Para cursos de simulación, medidas y automatización, NI desarrolló un Paquete USB-6008 .

- 8 entradas analógicas (12 bits, 10 kS/s)
- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales; contador de 32 bits
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada La versión OEM está disponible Compatible con LabVIEW, LabWindows/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET

- Software controlador NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos

<b>General</b>	
Producto	USB-6008
Familia de Productos	DAQ Multifunción
Formato Físico	USB
Número de Parte	779051-01
Sistema Operativo/Objetivo	Linux , Mac OS , Pocket PC , Windows
Familia de Productos DAQ	Serie B
Tipos de Medida	Voltaje
Tipo de Aislamiento	None
Compatibilidad con RoHS	Sí
Potencia USB	Energizado por Bus
<b>Entrada Analógica</b>	
Canales	4 , 8
Canales de una sola terminal	8
Canales Diferenciales	4
Resolución	12 bits
Velocidad de Muestreo	10 kS/s
Rendimiento (Todos los Canales)	10 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	138 mV
Rango de Voltaje Mínimo	-1 V , 1 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	37.5 mV
Número de Rangos	8
Memoria Interna	512 B

<b>Salida Analógica</b>	
Canales	2
Resolución	12 bits
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	5 V
Rango de Voltaje Máximo	0 V , 5 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	7 mV
Rango de Voltaje Mínimo	0 V , 5 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	7 mV
Razón de Actualización	150 S/s
Capacidad de Corriente Simple	5 mA
Capacidad de Corriente Total	10 mA
<b>E/S Digital</b>	
Canales Bidireccionales	12
Temporización	Software
Niveles Lógicos	TTL
Entrada de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Salida de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Capacidad de Corriente Simple	8.5 mA
Capacidad de Corriente Total	102 mA
Máximo Rango de Entrada	0 V , 5 V
Máximo Rango de Salida	0 V , 5 V
<b>Contadores/Temporizadores</b>	
Número de Contadores/Temporizadores	1
Rango Máximo	0 V , 5 V
Frecuencia Máxima de la Fuente	5 MHz
Resolución	32 bits
Estabilidad de Tiempo	50 ppm

Niveles Lógicos	TTL
<b>Especificaciones Físicas</b>	
Longitud	8.51 cm
Ancho	8.18 cm
Altura	2.31 cm
Conector de E/S	Terminales de tornillo
<b>Temporización/Disparo/Sincronización</b>	
Disparo	Digital

Tabla 5.4: Características DAQ NI USB-6008

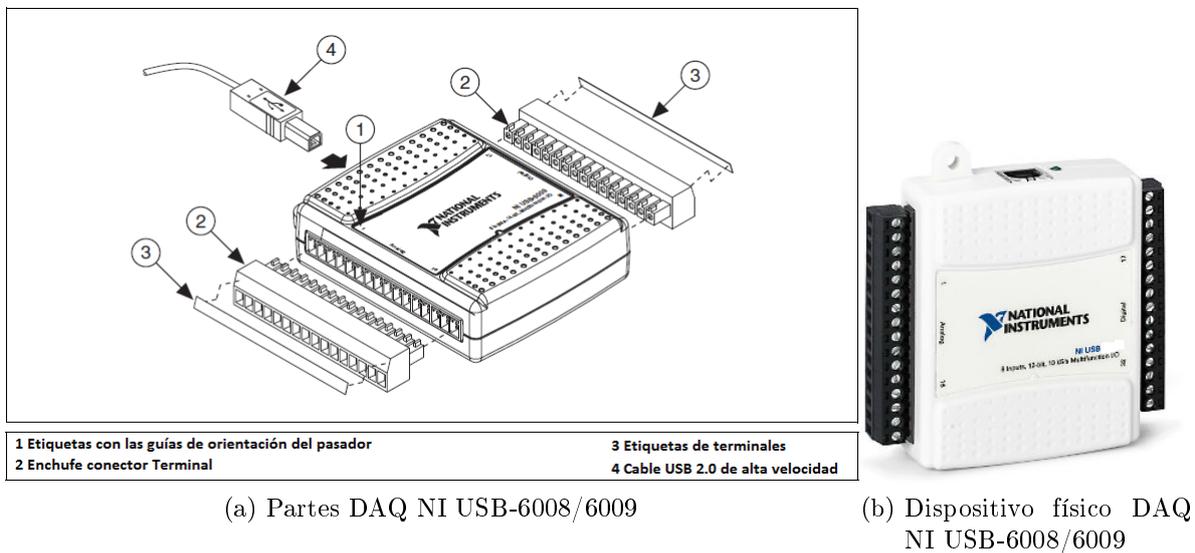


Figura 5.1: DAQ NI USB-6008/6009

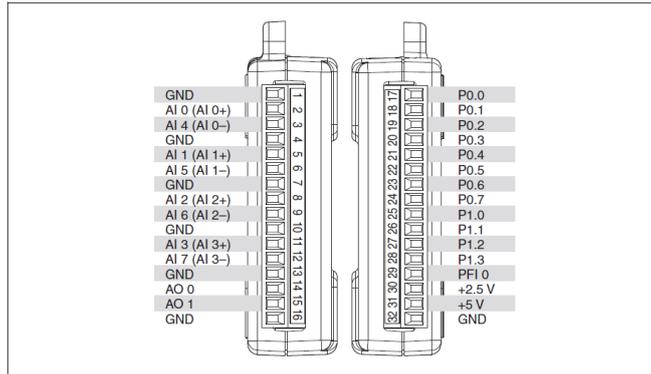


Figura 5.2: Pines de salida de DAQ NI USB-6008/6009

Tipo de señal	Referencia	Dirección	Descripción
GND	—	—	<b>Tierra:</b> El punto de referencia para la entrada analógica de terminación única mediciones, voltajes de salida analógicos, señales digitales, de suministro 5 VDC, y 2,5 VCC en el conector de E / S, y el punto de retorno para la corriente de polarización mediciones de modo diferencial.
AI <0..7>	Varies	Entrada	<b>Canales de Entrada Analógica 0 a 7:</b> Para las mediciones de una sola terminal, cada uno la señal es un canal de tensión de entrada analógica. Para las mediciones diferenciales, AI AI 0 y 4 son las entradas positivas y negativas de analógica diferencial canal de entrada 0. Los siguientes pares de señales también forman entrada diferencial canales: AI <1, 5>, EA <2, 6> y EA <3, 7>
AO <0, 1>	GND	Salida	<b>Canales de salida analógica 0 y 1:</b> Suministros de la salida de voltaje de AO canal 0 o canal 1 AO.
P0.<0..7>	GND	Entrada o Salida	<b>Puerto 0 Canales Digitales E / S 0-7:</b> puede configurar de forma individual cada señal como una entrada o salida.
P1.<0..3>	GND	Entrada o Salida	<b>Puerto 1 canales digitales de E / S de 0 a 3:</b> puede configurar de forma individual cada señal como una entrada o salida.
PFI 0	GND	Entrada	<b>PFI 0:</b> Este pin se puede configurar ya sea como un disparador digital o un evento entrada del contador.
+2.5 V	GND	Salida	<b>+2.5 V</b> externo de referencia proporciona una referencia para el abrigo de devolución pruebas.
+5 V	GND	Salida	<b>+5 V Fuente de energía:</b> proporciona +5 V de potencia de hasta 200 mA.

Tabla 5.5: Descripción de los Pines de DAQ NI USB-6008/6009

## PIC16F877A y PIC16F874A

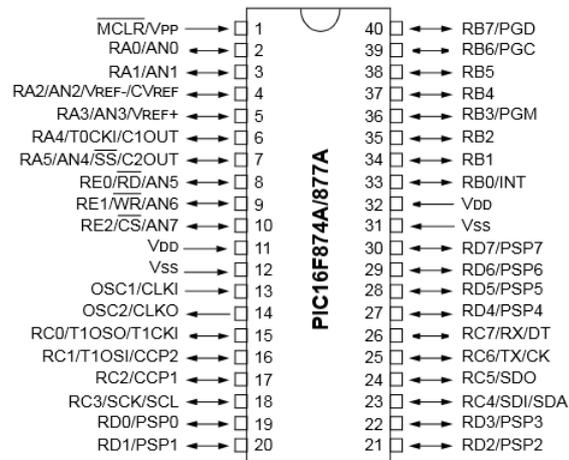


Figura 5.3: Encapsulado PIC16F877A y PIC16F874A

CARACTERÍSTICAS	16F877A	16F874A
Frecuencia máxima	DX-20MHZ	DX-20MHZ
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8 KB	4 KB
Posiciones RAM de datos	368	192
Posiciones EEPROM de datos	256	128
Puertos de E/S	A,B,C,D,E	A,B,C,D,E
Número de pines	40	40
Interrupciones	15	15
Timers	3	3
Módulos CCP	2	2
Comunicaciones serie	MSSP, USART	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP	PSP
Modulo Analógico a Digital de 10 bit	8canales de entrada	8canales de entrada
Juego de instrucciones	35 Instrucciones	35 instrucciones
Longitud de instrucción	14 bits	14 bits
Arquitectura	Harvard	Harvard
CPU	Risc	Risc
Módulos comparador/comparador/Pwm	2	2

Tabla 5.6: Características PIC16F877A y PIC16F874A

## PIC16F876A y PIC16F873A

Los PIC16F87XA forman una subfamilia de microcontroladores PIC (Peripheral Interface Controller) de gama media de 8 bits, fabricados por Microchip Technology Inc.<sup>1</sup>

Cuentan con memoria de programa de tipo EEPROM Flash mejorada, lo que permite programarlos fácilmente usando un dispositivo programador de PIC. Esta característica facilita sustancialmente el diseño de proyectos, minimizando el tiempo empleado en programar los microcontroladores ( $\mu\text{C}$ ).

Consta de las siguientes características:

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Frecuencia de operación	20 MHz
Memoria Flash de programa (palabra de 14 bits)	4K
Memoria de datos (bytes)	192
Memoria de datos EEPROM (bytes)	128
Interrupciones	13
Puertos de Entrada/Salida	Puertos A,B,C
Temporizadores	3
Módulos de Captura/Comparación/PWM	2
Comunicación serial tipo	MSSP, USART
Módulo Análogo-Digital (10 bits)	5 canales de entrada
Conjunto de instrucciones	35

Tabla 5.7: Características PIC16F873A

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://es.wikipedia.org/wiki/PIC16F87X>

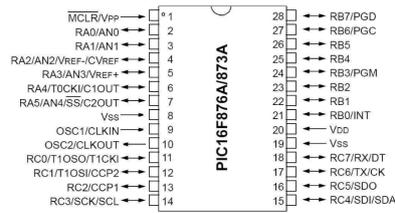


Figura 5.4: Encapsulado PIC 16f873A/PIC 16F876A

## Regulador $\mu$ PC1093J Plano eléctrico de potencia

Es un regulador **shunt**<sup>1</sup> de precisión ajustable con estabilidad térmica garantizada. La tensión de salida puede ajustarse a cualquier valor entre tensión de referencia (2.495 V) y 36 V por dos resistencias externas. Estos circuitos integrados se puede aplicar a un amplificador de error de los reguladores de conmutación.

### CARACTERÍSTICAS

- Alta Precisión  $V_{REF} = 2,495 \text{ V} \pm 2\%$
- Bajo coeficiente de temperatura  $\Delta V_{REF} / \Delta T \leq 100 \text{ ppm} / ^\circ \text{C}$
- Tensión de salida ajustable por dos resistencias externas  $V_{REF} \leq V_O \leq 36 \text{ V}$
- Impedancia dinámica baja  $|Z_{KA}| = 0.1 \Omega \text{TYP.}$

### RTD PT100

Los materiales empleados para la construcción de sensores RTD suelen ser

<sup>1</sup> Anexo #1 - Glosario de términos

conductores tales como el cobre, el níquel o el platino. Las propiedades de algunos de éstos se muestran en la tabla 3.1. Para esta cámara se utilizan los RTD de platino (Pt) tanto para bulbo seco como para bulbo húmedo.

Parámetro	Platino (Pt)	Cobre (Cu)	Níquel (Ni)	Molibdeno (Mo)
Resistividad ( $\mu\Omega cm$ )	10.6	1.673	6.844	5.7
$\alpha(\Omega/\Omega/K)$	0.00385	0.0043	0.00681	0.003786
$R_0(\Omega)$	25, 50, 100, 200	10	50, 100, 120	100, 200, 500
margen ( $^{\circ}C$ )	-200 a +850	-200 a +260	-80 a +230	-200 a +200

Tabla 5.8: Propiedades de materiales para construcción de RTD

De todos ellos es el platino el que ofrece mejores prestaciones, como:

- alta resistividad. . . para un mismo valor óhmico, la masa del sensor será menor, por lo que la respuesta será más rápida
- margen de temperatura mayor
- alta linealidad
- su sensibilidad ( $\alpha$ ) es menor

Un sensor muy común es el Pt100 (RTD de platino con  $R=100\Omega$  a  $0^{\circ}C$ ).

En la tabla 3.2 se muestran valores estándar de resistencia a distintas temperaturas para un sensor Pt100 con  $\alpha = 0.00385 K^{-1}$ .

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	0 $^{\circ}$	20 $^{\circ}$	40 $^{\circ}$	60 $^{\circ}$	80 $^{\circ}$	100 $^{\circ}$
Resistencia ( $\Omega$ )	100	107.79	115.54	123.24	130.87	138.50

Tabla 5.9: Valor equivalentes de temperatura y resistencia de RTD Pt100

# Anexo 5

## Documentos bibliográficos

## **PICS**

Los PIC son fabricados por Microchip Technology Inc. Originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument. Su nombre completo es PICmicro, pero es más conocido como Peripheral Interface Controller (controlador de interfaz periférico).

El PIC, se mejoró con con la implementación de la memoria EPROM para conseguir un controlador de canal programable. Hoy en día multitud de PICS vienen con varios periféricos incluidos (módulos de comunicación serie, UARTs, núcleos de control de motores, etc.) y con memoria de programa desde 512 a 32.000 palabras (una palabra corresponde a una instrucción en lenguaje ensamblador, y puede ser de 12, 14, 16 ó 32 bits, dependiendo de la familia específica de PICmicro).

## **Medición de Humedad Relativa con Psicrómetro Por**

**Ing. Silvia Medrano M e t A s , S . A . d e C . V . M e  
t r ó l o g o s A s o c i a d o s**

### **Ventilación natural**

Son dos termómetros, los cuales pueden ser termómetros de mercurio o RTD's. Ya que los sensores de temperatura no están sujetos al movimiento de aire forzado, estos se vuelven menos exactos.

El termómetro de bulbo seco se usa para medir la temperatura ambiente y el termómetro de bulbo húmedo (cubierto por un tejido el cual permanece en contacto con un depósito de agua) se utiliza para medir la diferencia de temperatura debido a la evaporación de agua alrededor del bulbo húmedo. Produciendo que la evaporación de agua enfríe el recubrimiento del termómetro de bulbo húmedo.

Conociendo las temperaturas de los termómetros de bulbo seco y de bulbo húmedo, la humedad relativa puede determinarse mediante tablas, cartas psicrométricas, o calculada por ecuaciones correspondientes.

## **Ventilación forzada**

En los psicrómetro con ventilación forzada los dos sensores de temperatura se exponen a una corriente de aire.

Estos pueden ser:

- Termistores,
- RTD's,
- Termopares
- Termómetros de mercurio.

Dentro de este tipo de ventilación se tiene:

- **Psicrómetro de giro**

Al hacer girar el psicrómetro, el aire fluye sobre los bulbos húmedo y seco. Este tipo de psicrómetros no es tan exacto como uno ventilado por otros métodos, porque la temperatura del elemento húmedo comienza a elevarse tan pronto como el movimiento cesa para leer los termómetros .

- **Psicrómetro de aspiración (tipo Assman)**

Es el más utilizado, consta de ventilador accionado por un motor eléctrico el cual lleva el aire axialmente sobre los sensores de temperatura. El agua debe ser agregada manualmente al termómetro de bulbo húmedo entre cinco a quince minutos antes de la medición bajo condiciones ambientales normales

## **Determinación de la humedad relativa mediante cálculo:**

### **Humedad Relativa**

Es la humedad presente relativa (con respecto) a la máxima humedad posible a la misma temperatura ambiente (bulbo seco).

Se define como la razón de: la presión de vapor de agua, presente en ese momento con respecto a la presión de vapor en saturación (de agua) a la misma temperatura. Se expresa como porcentaje.

$$HR = \frac{e(T)}{e_s(T)} * 100 \% \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

- HR = humedad relativa en %,
- $e(T)$  = presión parcial real del vapor de agua en aire húmedo, en Pa.
- $e_s(T)$  = presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado, en Pa.

### Presión parcial de vapor saturado

Expresa el hecho de que a una temperatura dada, existe un máximo en la cantidad de vapor de agua que puede estar presente, en otras palabras es la máxima presión parcial  $e_s(T)$  que puede ejercer el vapor de agua a una temperatura (bulbo seco) particular ( $t$  ó  $T$ ).

$$e_s(T) = 1Pa * e^{(A.T^2+B.T+C+\frac{D}{T})} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

- $e_s(T)$  = presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado en Pa, a la temperatura de bulbo seco  $T$
- $e = 2,718\ 281\ 828\ 46$  = base de logaritmo natural (neperiano) o número de Euler.
- $A = 1,237\ 884\ 7 \cdot 10^{-5}$
- $B = -1,912\ 131\ 6 \cdot 10^{-2}$
- $C = 33,937\ 110\ 47$

- $D = -6,343 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^3$
- $T = \text{temperatura ambiente de bulbo seco en K} = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

### Presión parcial real de vapor de agua

De acuerdo con la ecuación de Ferrel, la cual es utilizada en el cálculo de la humedad relativa con el psicrómetro de giro:

$$e(T) = e_s(Tw) - P * (T - Tw) * (\psi + \phi * Tw) \quad (\text{Ec.3})$$

O bien mediante la ecuación experimental de Carrier:

$$e(T) = e_s(Tw) - \frac{[P - e_s(Tw)] * (T - Tw)}{\Theta + \chi * Tw} \quad (\text{Ec.4})$$

donde:

- $e(T)$  = presión parcial real de vapor de agua en aire húmedo en Pa, a la temperatura de bulbo seco  $t$  ó  $T$
- $e_s(Tw)$  = presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado en Pa, a la temperatura de bulbo húmedo  $Tw$  ó  $tw$
- $P$  = presión atmosférica local en Pa
- $Tw$  = temperatura de bulbo húmedo en
- $K = tw(^{\circ}\text{C}) + 273,15$
- $\phi$  (psi) =  $4,53 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$  (Ferrel)

- $\phi(\text{fi}) = 7,59 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$  (Ferrel)
- $\vartheta$  (theta) = 1 940 (Carrier)
- $\chi$  (ji) = -1,44 (Carrier)

Sustituyendo en la ecuación (Ec.1) se tiene que:

$$\text{Ferrel: } HR = \frac{e_s(Tw) - P * (T - Tw) * (\psi + \phi * Tw)}{e_s(T)} * 100 \% \quad (\text{Ec.5})$$

$$\text{Carrier: } HR = \frac{\left[ e_s(Tw) - \frac{[P - e_s(Tw)] * (T - Tw)}{\vartheta + \chi * Tw} \right]}{e_s(T)} * 100 \% \quad (\text{Ec.6})$$

## Proceso de adquisición de datos

Los parámetros que intervienen en el proceso de adquisición de datos son los siguientes:

- **Dato:** Se trata de la representación numérica, alfabética, atributo o característica de un valor. No tiene sentido en sí mismo, pero convenientemente procesado se puede utilizar en la toma de decisiones o relación de cálculos.
- **Adquisición:** Recopilación de un conjunto de variables físicas, convertidas en voltaje y digitalización de manera que se puedan procesar en un ordenador.
- **Sistema:** Conjunto de dispositivos que interactúan entre sí ofreciendo prestaciones más completas y de más alto nivel. Una vez que las señales

eléctricas se digitalizarón, se envían a través del bus de datos a la memoria del PC. Una vez los datos están en memoria pueden procesarse con una aplicación adecuada.

- **Bit de resolución:** Número de bits que el convertidor analógico a digital (ADC) utiliza para representar una señal.
- **Rango:** Valores máximo y mínimo entre los que el sensor, instrumento o dispositivo funcionan bajo unas especificaciones.
- **Teorema de Nyquist:** Al muestrear una señal, la frecuencia debe ser mayor que dos veces el ancho de banda de la señal de entrada, para poder reconstruir la señal original de forma exacta a partir de sus muestras. En caso contrario, aparecerá el **fenómeno del aliasing**<sup>1</sup>. que se produce al infra-muestrear. Si la señal sufre aliasing, es imposible recuperar el original. Velocidad de muestreo recomendada:
  - 2 veces la frecuencia mayor (medida de frecuencia)
  - 10 veces la frecuencia mayor (detalle de la forma de onda)

---

<sup>1</sup>Anexo #1 - Glosario de términos

# Anexo 6

## Código fuente

DEFINE ADC\_BITS 8 ' Set number of bits in result

DEFINE ADC\_CLOCK 3 ' Set clock source (rc = 3)

DEFINE ADC\_SAMPLEUS 50 ' Set sampling time in microseconds

TRISA=%111111

X var BYTE Y var BYTE

Z VAR BYTE

DATO var byte

HUM var byte

CAL var byte

TRISB=%11000101

Q1 VAR PORTB.1 ;

Q2 VAR PORTB.0

S1 VAR PORTB.2 ;DET CRUCE X CERO

X=0

y=0

Z=0

LOW Q1

;

; PROGRAMA PRINCIPAL

;

INICIO:

adcin 0,dato

adcin 1,CAL

INICIO1:

if S1=0 then goto inicio1

GOSUB TABLA

GOSUB TABLA1

FOR Y=0 TO 15

PAUSEUS 996

NEXT Y

LOW Q1

x=x+1

IF X>=20 THEN :X=0: GOTO INICIO

goto inicio1

;

---

; TABLA

---

TABLA:

SELECT CASE DATO

CASE IS<=6 ;0

LOW Q1

CASE IS<=18 ;5

IF X=0 THEN HIGH Q1:GOTO SALIR

IF X>=1 THEN LOW Q1

CASE IS<=30 ;10

IF X=0 OR X=10 THEN HIGH Q1 :GOTO SALIR

IF X>=1 THEN LOW Q1

CASE IS<=42 ;15

IF X=0 OR X=7 OR X=14 THEN HIGH Q1 :GOTO SALIR

IF X>=1 THEN LOW Q1

CASE IS<=54 ;20

IF X=0 OR X=5 OR X=10 OR X=15 THEN HIGH Q1 :GOTO SALIR

IF X>=1 THEN LOW Q1

CASE IS<=66 ;25

IF X=0 OR X=4 OR X=8 OR X=12 OR X=16 THEN HIGH Q1 :GOTO  
SALIR

IF X>=1 THEN LOW Q1

CASE IS<=78 ;30

IF X=0 OR X=3 OR X=6 OR X=10 OR X=13 OR X=16 THEN HIGH Q1  
:GOTO SALIR

IF X>=1 THEN LOW Q1

CASE IS<=90 ;35

IF X=0 OR X=3 OR X=6 OR X=9 OR X=12 OR X=15 OR X=18 THEN  
HIGH Q1 :GOTO SALIR

IF X>=1 THEN LOW Q1

CASE IS<=102 ;40

IF X=0 OR X=1 OR X=5 OR X=6 OR X=10 OR X=11 OR X=15 OR  
X=16 THEN HIGH Q1 :GOTO SALIR

IF X>=2 THEN LOW Q1

CASE IS<=114 ;45

IF X=0 OR X=2 OR X=4 OR X=6 OR X=8 OR X=11 OR X=13 OR X=15  
OR X=17 THEN HIGH Q1 :GOTO SALIR

IF X>=1 THEN LOW Q1

CASE IS<=126 ;50

IF X=0 OR X=2 OR X=4 OR X=6 OR X=8 OR X=10 OR X=12 OR X=14  
OR X=16 OR X=18 THEN HIGH Q1 :GOTO SALIR

IF X>=1 THEN LOW Q1

CASE IS<=138 ;55

IF X=1 OR X=3 OR X=5 OR X=7 OR X=10 OR X=12 OR X=14 OR  
X=16 OR X=18 THEN LOW Q1 :GOTO SALIR

IF X>=0 THEN HIGH Q1

CASE IS<=150 ;60

IF X=1 OR X=4 OR X=6 OR X=9 OR X=11 OR X=14 OR X=16 OR  
X=19 THEN LOW Q1 :GOTO SALIR

IF X>=0 THEN HIGH Q1

CASE IS<=162 ;65

IF X=1 OR X=4 OR X=7 OR X=10 OR X=13 OR X=16 OR X=19 THEN  
LOW Q1 :GOTO SALIR

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q1

CASE IS $\leq$ 174 ;70

IF X=2 OR X=5 OR X=9 OR X=12 OR X=15 OR X=19 THEN LOW Q1  
:GOTO SALIR

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q1

CASE IS $\leq$ 186 ;75

IF X=3 OR X=7 OR X=11 OR X=15 OR X=19 THEN LOW Q1 :GOTO  
SALIR

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q1

CASE IS $\leq$ 198 ;80

IF X=4 OR X=9 OR X=14 OR X=19 THEN LOW Q1 :GOTO SALIR

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q1

CASE IS $\leq$ 210 ;85

IF X=6 OR X=13 OR X=19 THEN LOW Q1 :GOTO SALIR

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q1

CASE IS $\leq$ 222 ;90

IF X=9 OR X=19 THEN LOW Q1 :GOTO SALIR

```

IF X >= 0 THEN HIGH Q1

CASE IS <= 234 ; 95

IF X = 9 THEN LOW Q1 : GOTO SALIR

IF X >= 0 THEN HIGH Q1

CASE ELSE

HIGH Q1

END SELECT

SALIR:

RETURN

TABLA1:

SELECT CASE cal

CASE IS <= 6 ; 0

LOW Q2

CASE IS <= 18 ; 5

IF X = 0 THEN HIGH Q2 : GOTO SALIR1

IF X >= 1 THEN LOW Q2

CASE IS <= 30 ; 10

```

IF X=0 OR X=10 THEN HIGH Q2 :GOTO SALIR1

IF X $\geq$ 1 THEN LOW Q2

CASE IS $\leq$ 42 ;15

IF X=0 OR X=7 OR X=14 THEN HIGH Q2 :GOTO SALIR1

IF X $\geq$ 1 THEN LOW Q2

CASE IS $\leq$ 54 ;20

IF X=0 OR X=5 OR X=10 OR X=15 THEN HIGH Q2 :GOTO SALIR1

IF X $\geq$ 1 THEN LOW Q2

CASE IS $\leq$ 66 ;25

IF X=0 OR X=4 OR X=8 OR X=12 OR X=16 THEN HIGH Q2 :GOTO  
SALIR1

IF X $\geq$ 1 THEN LOW Q2

CASE IS $\leq$ 78 ;30

IF X=0 OR X=3 OR X=6 OR X=10 OR X=13 OR X=16 THEN HIGH Q2  
:GOTO SALIR1

IF X $\geq$ 1 THEN LOW Q2

CASE IS $\leq$ 90 ;35

IF X=0 OR X=3 OR X=6 OR X=9 OR X=12 OR X=15 OR X=18 THEN  
HIGH Q2 :GOTO SALIR1

IF X>=1 THEN LOW Q2

CASE IS<=102 ;40

IF X=0 OR X=1 OR X=5 OR X=6 OR X=10 OR X=11 OR X=15 OR  
X=16 THEN HIGH Q2 :GOTO SALIR1

IF X>=2 THEN LOW Q2

CASE IS<=114 ;45

IF X=0 OR X=2 OR X=4 OR X=6 OR X=8 OR X=11 OR X=13 OR X=15  
OR X=17 THEN HIGH Q2 :GOTO SALIR1

IF X>=1 THEN LOW Q2

CASE IS<=126 ;50

IF X=0 OR X=2 OR X=4 OR X=6 OR X=8 OR X=10 OR X=12 OR X=14  
OR X=16 OR X=18 THEN HIGH Q2 :GOTO SALIR1

IF X>=1 THEN LOW Q2

CASE IS<=138 ;55

IF X=1 OR X=3 OR X=5 OR X=7 OR X=10 OR X=12 OR X=14 OR  
X=16 OR X=18 THEN LOW Q2 :GOTO SALIR1

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q2

CASE IS $\leq$ 150 ;60

IF X=1 OR X=4 OR X=6 OR X=9 OR X=11 OR X=14 OR X=16 OR  
X=19 THEN LOW Q2 :GOTO SALIR1

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q2

CASE IS $\leq$ 162 ;65

IF X=1 OR X=4 OR X=7 OR X=10 OR X=13 OR X=16 OR X=19 THEN  
LOW Q2 :GOTO SALIR1

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q2

CASE IS $\leq$ 174 ;70

IF X=2 OR X=5 OR X=9 OR X=12 OR X=15 OR X=19 THEN LOW Q2  
:GOTO SALIR1

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q2

CASE IS $\leq$ 186 ;75

IF X=3 OR X=7 OR X=11 OR X=15 OR X=19 THEN LOW Q2 :GOTO  
SALIR1

IF X $\geq$ 0 THEN HIGH Q2

CASE IS $\leq$ 198 ;80

IF X=4 OR X=9 OR X=14 OR X=19 THEN LOW Q2 :GOTO SALIR1

IF X>=0 THEN HIGH Q2

CASE IS<=210 ;85

IF X=6 OR X=13 OR X=19 THEN LOW Q2 :GOTO SALIR1

IF X>=0 THEN HIGH Q2

CASE IS<=222 ;90

IF X=9 OR X=19 THEN LOW Q2 :GOTO SALIR1

IF X>=0 THEN HIGH Q2

CASE IS<=234 ;95

IF X=9 THEN LOW Q2 :GOTO SALIR1

IF X>=0 THEN HIGH Q2

CASE ELSE

HIGH Q2

END SELECT

SALIR1:

RETURN

end

# Bibliografía

- [1] Medición de Humedad Relativa con Psicrómetro Por Ing. Silvia Medrano MetAs, S. A. de C. V. Metrólogos Asociados
- [2] CONTROL DE PROCESOS FACET UNT TEMA 4 Nota Auxiliar A MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID
- [3] Medrano, S. (2003). Procedimiento MA-TEM04-04/03: Calibración de higrómetros en higróstatos de sales saturadas y Calibración de generadores de humedad. MetAs, Metrólogos Asociados. Cd. Guzmán, Jalisco, México.
- [4] Bentley, R. (1998). Temperature and Humidity Measurement Volume 1. Springer.Australia
- [5] UNE 7523-1 (1997). Atmósferas para acondicionamiento y ensayo. Determinación de la humedad relativa. Parte 1: Método del psicrómetro de aspiración.
- [6] UNE 7523-2 (1997). Atmósferas para acondicionamiento y ensayo. Determinación de la humedad relativa. Parte 2: Método del psicrómetro rotatorio.

- [7] Rodríguez R. F. Lopez S. M. J.; Control Adaptativo y Robusto. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1996.
- [8] ELECTRÓNICA DE POTENCIA Electrónica IV A-4.32.2 Electrónica II E-4.30.2 CONTROL DE TEMPERATURA ING. ROBERTO GIBBONS 2007.
- [9] Electrónica de potencia Circuitos, dispositivos y aplicaciones segunda edición MUHAMMAD H. RASHID
- [10] SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO Segunda edición Katsuhiko Ogata University of Minnesota
- [11] CONTROL DE PROCESOS FACET UNT TEMA 4 Nota Auxiliar A MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID
- [12] sitio web: <http://la.flukecal.com/products/daq-gpt?geoip=1>.
- [13] sitio web: <http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici>
- [14] sitio web: <http://es.wikipedia.org/wiki/MicrocontroladorPIC>
- [15] sitio web: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>
- [16] sitio web: <http://es.wikipedia.org/wiki/PIC16F87X>