

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **Título del Proyecto:**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA VARIACIÓN DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DENTRO DE UN AMBIENTE CERRADO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACION INDUSTRIAL DEL DECEM”

### **Previa la obtención del Título de:**

INGENIERO MECÁNICO

### **Realizado por:**

LUIS MIGUEL ESTRELLA REGALADO  
JORGE ANDRÉS LEGARDA LEON

**Sangolquí, 26 de Enero del 2010**



## **CERTIFICADO DE LA ELABORACION DEL PROYECTO**

El proyecto de grado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA VARIACIÓN DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DENTRO DE UN AMBIENTE CERRADO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACION INDUSTRIAL DEL DECEM” fue realizado en su totalidad por los Srs. LUIS MIGUEL ESTRELLA REGALADO y JORGE ANDRES LEGARDA LEON como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico.

-----  
Ing. Luis Echeverría.  
Director

-----  
Ing. Ernesto Soria.  
Codirector

**Sangolquí, 19 de Febrero del 2010**



## LEGALIZACION DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA VARIACIÓN DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DENTRO DE UN AMBIENTE CERRADO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACION INDUSTRIAL DEL DECEM”

**Elaborado por:**

-----  
Luis M. Estrella R.

CI: 171506575-9

-----  
Jorge A. Legarda L.

CI: 171816305-6

-----  
Ing. Emilio Tumipamba

**DIRECTOR DE LA CARRERA**



## DEDICATORIA

*El proyecto realizado y toda mi carrera universitaria se lo dedico a Dios por todas sus bendiciones en mi vida y por darme las fuerzas para seguir adelante día a día, a mis padres Luis Miguel Estrella y Jane Regalado que me dieron la vida, me apoyaron y dieron lo más valioso en mi formación que es la educación, a toda mi familia y seres queridos por siempre estar pendientes de mi y su apoyo incondicional.*

*Luis Miguel Estrella Regalado.*

*El trabajo realizado se lo dedico en primer lugar a Dios, a mis padres Jorge Legarda y Rocío León por el apoyo incondicional, por darme el regalo más grande que es la vida y que gracias a su esfuerzo y dedicación he alcanzado a llegar al lugar donde me encuentro, a mi hermana Verónica quien me ha apoyado en los momentos de dificultad y ha sido mi mano amiga y por ser mi ejemplo a seguir, a mis tías Pepita por todos sus consejos y Sarita que aunque ya no se encuentre con nosotros se que siempre me va a cuidar, a mi primo Víctor por siempre estar pendiente de mi, a toda mi familia y seres queridos gracias por su apoyo.*

*Jorge Andrés Legarda León.*





## **AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento sincero a la Escuela Politécnica del Ejército, por habernos dado la oportunidad de prepararnos en sus aulas y laboratorios con anhelo de superación y éxito.

Al departamento de ciencias de la energía y mecánica, por habernos dado todas las facilidades de sus instalaciones para la construcción de nuestro proyecto.

A nuestros directores del proyecto por el apoyo y las facilidades brindadas al personal docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica por los conocimientos y enseñanzas impartido a lo largo de nuestra formación profesional.

A nuestros compañeros y amigos con los cuales hemos compartido muchas experiencias académicas como de vida.



## TABLA DE CONTENIDO

|   |          |
|---|----------|
| <b>1.GENERALIDADES.....</b>                       | <b>1</b> |
| 1.1 ANTECEDENTES.....                             | 1        |
| 1.1.1 NECESIDAD INSATISFECHA.....                 | 1        |
| 1.1.2 PROBLEMA A RESOLVER.....                    | 1        |
| 1.1.3 SITUACIÓN ACTUAL.....                       | 2        |
| 1.1.4 DESCRIPCIÓN .....                           | 2        |
| 1.1.5 POSIBLES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....      | 3        |
| 1.1.6 FASES DEL DESARROLLO .....                  | 3        |
| 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....                  | 3        |
| 1.3 OBJETIVOS.....                                | 4        |
| 1.3.1 GENERAL .....                               | 4        |
| 1.3.2 ESPECÍFICOS .....                           | 4        |
| 1.4 ALCANCE.....                                  | 4        |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....              | 5        |
| <b>2.MARCO TEORICO.....</b>                       | <b>7</b> |
| 2.1 SENSORES.....                                 | 7        |
| 2.1.1 QUE ES UN SENSOR.....                       | 7        |
| 2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE UN SENSOR .....          | 9        |
| 2.1.3 SENSOR DE HUMEDAD .....                     | 11       |
| 2.1.4 SENSORES DE TEMPERATURA.....                | 17       |
| 2.2 ACTUADORES.....                               | 24       |
| 2.2.1 QUE ES UN ACTUADOR.....                     | 24       |
| 2.2.2 TIPOS DE ACTUADORES .....                   | 24       |
| 2.3 HUMIDIFICADORES .....                         | 25       |
| 2.3.1 QUE ES UN HUMIDIFICADOR .....               | 25       |
| 2.3.2 TIPOS DE HUMIDIFICADORES .....              | 25       |
| 2.4 DESHUMIDIFICADORES .....                      | 26       |
| 2.4.1 QUE ES UN DESHUMIDIFICADOR.....             | 26       |
| 2.4.2 MÉTODOS DE DESHUMIDIFICACION.....           | 27       |
| 2.5 AISLAMIENTOS TÉRMICOS.....                    | 27       |
| 2.5.1 QUE ES UN AISLAMIENTO TÉRMICO.....          | 27       |
| 2.5.2 OBJETIVOS DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS..... | 28       |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.5.3 TIPOS DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS.....                          | 28        |
| 2.5.4 APLICACIONES.....  | 29        |
| <b>3.REQUERIMIENTOS DE SENSORES Y ACTUADORES.....</b>              | <b>33</b> |
| 3.1 RANGO DE DATOS .....   | 33        |
| 3.2 TIPO DE SEÑAL.....   | 34        |
| 3.3 SELECCIÓN.....   | 34        |
| 3.3.1 INVENTARIO DE MATERIALES Y ELEMENTOS DISPONIBLES.....        | 34        |
| 3.3.2 SENSORES .....   | 35        |
| 3.3.3 ACTUADORES .....   | 41        |
| 3.4 RESTRICCIONES .....  | 44        |
| <b>4.DISEÑO DEL PROTOTIPO.....</b>                                 | <b>45</b> |
| 4.1 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL EQUIPO.....                            | 45        |
| 4.1.1 EVALUACIÓN Y DISPONIBILIDAD DEL ESPACIO FÍSICO .....         | 45        |
| 4.1.2 SELECCIÓN DEL AISLAMIENTO .....                              | 46        |
| 4.1.3 DISEÑO DEL CUBÍCULO INTERIOR .....                           | 47        |
| 4.1.4 MODELO Y SIMULACIÓN .....                                    | 51        |
| 4.1.5 DISEÑO DEL CUBICULO EXTERIOR .....                           | 52        |
| 4.1.6 MODELO.....  | 78        |
| 4.1.7 DISEÑO DEL VAPORIZADOR.....                                  | 79        |
| 4.1.8 MODELO.....  | 83        |
| 4.1.9 SELECCIÓN DE DESHUMIDIFICADOR .....                          | 83        |
| <b>5.PRÁCTICAS DE LABORATORIO .....</b>                            | <b>87</b> |
| 5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....               | 87        |
| 5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA #1.....                           | 88        |
| 5.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA #2.....                           | 88        |
| 5.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA #3.....                           | 89        |
| 5.2 GUÍA DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....                      | 90        |
| 5.2.1 GUÍA DE LA PRÁCTICA #1 .....                                 | 90        |
| 5.2.2 GUÍA DE LA PRÁCTICA #2 .....                                 | 92        |
| 5.2.3 GUÍA DE LA PRÁCTICA #3 .....                                 | 94        |
| <b>6.CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLAJE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....</b> | <b>97</b> |
| 6.1 DIAGRAMA DE PROCESOS.....                                      | 97        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.1.1 CUBÍCULOS .....                        | 98         |
| 6.1.2 VAPORIZADOR .....                      | 101        |
| 6.2 ASPECTOS BÁSICOS DE ENSAMBLAJE .....     | 105        |
| DIAGRAMA DE ENSAMBLE .....                   | 105        |
| 6.3 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.....        | 108        |
| 6.4 ASPECTOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO ..... | 109        |
| 6.5 PRUEBAS DEL SISTEMA .....                | 109        |
| 6.6 RESULTADOS .....                         | 119        |
| <b>7.ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.....</b>  | <b>121</b> |
| 7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.....       | 121        |
| ANTECEDENTES .....                           | 121        |
| 7.1.2 COSTOS DEL EQUIPO .....                | 122        |
| 7.1.3 COSTO TOTAL DEL EQUIPO .....           | 125        |
| 7.1.4 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO .....         | 125        |
| <b>8.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b> | <b>127</b> |
| 8.1 CONCLUSIONES .....                       | 127        |
| 8.2 RECOMENDACIONES.....                     | 129        |



## LISTADO DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 2.1: Psicómetro .....  | 15  |
| Figura 2.2: Aplicación del Sensor capacitivo. ....  | 17  |
| Figura 3.1: Termocupla Phywe.....   | 36  |
| Figura 3.2: Sensor de temperatura.....  | 37  |
| Figura 3.3: Controlador de Temperatura .....  | 38  |
| Figura 3.4: Sensor de Humedad Phywe .....   | 39  |
| Figura 3.5: Ventana de Measure .....  | 40  |
| Figura 3.6 Cable USB de adquisición de datos Utilizado .....  | 41  |
| Figura 3.7: Resistencia seca .....  | 42  |
| Figura 3.8: Vaporizador de Electrodo s .....  | 43  |
| Figura 3.9 Deshumidificador con efecto Peltier .....  | 43  |
| Figura 4.1: Esquema del Equipo a construir. ....  | 46  |
| Figura 4.3 Simulación distribución de temperatura en el cubículo interior .....                             | 51  |
| Figura 4.4 Modelo cubículo exterior a construir .....   | 79  |
| Figura 4.6 Modelo del vaporizador a construir.....  | 83  |
| Figura 4.7 Ejemplo del montaje de una célula Peltier .....  | 84  |
| Figura 4.8 Deshumidificador seleccionado .....  | 85  |
| Figura 6.1: Prueba uno de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure110                       |     |
| Figura 6.2: Prueba uno de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure<br>curva suavizada ..... | 111 |
| Figura 6.3: Prueba dos de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure112                       |     |
| Figura 6.4: Prueba dos de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure<br>curva suavizada ..... | 112 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.5: Prueba tres de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure                       | 113 |
| Figura 6.6: Prueba tres de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure curva suavizada ..... | 114 |
| Figura 6.7: Prueba uno de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure ...                        | 115 |
| Figura 6.8: Prueba uno de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure curva suavizada.....       | 116 |
| Figura 6.9: Prueba dos de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure....                        | 117 |
| Figura 6.10: Prueba dos de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure curva suavizada.....      | 117 |
| Figura 6.11: Prueba tres de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure .                        | 118 |
| Figura 6.12: Prueba tres de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure curva suavizada.....     | 119 |



## LISTADO DE TABLAS

|  |      |
|--|------|
| Tabla 2.1: Escalas de Temperatura.....   | 20   |
| Tabla 2.2: Tipos de aislamientos térmicos.....   | 29   |
| Tabla 3.1: Materiales a Utilizar en el Proyecto.....   | 35   |
| Tabla 3.2: Elementos Eléctrico/Electrónicos a Utilizar en el Proyecto.....                   | 35   |
| Tabla 3.3 Especificaciones señor de temperatura.....   | 36   |
| Tabla 3.4 Especificaciones señor de temperatura.....   | 37   |
| Tabla 3.5 Especificaciones del Controlador de Temperatura.....                               | 37   |
| Tabla 3.6 Especificaciones señor de Humedad.....   | 38   |
| Tabla 3.3 Especificaciones Interface USB de adquisición de datos.....                        | 41   |
| Tabla 4.1 Características técnicas del Deshumidificador.....                                 | 85   |
| Tabla 6.1: Parámetros de funcionamiento prueba uno para la variación de temperatura...110    |      |
| Tabla 6.2: Parámetros de funcionamiento prueba dos para la variación de<br>Temperatura.....  | 111  |
| Tabla 6.3: Parámetros de funcionamiento prueba tres para la variación de<br>Temperatura..... | 113  |
| Tabla 6.4: Parámetros de funcionamiento prueba uno para la variación de<br>Humedad.....      | 115  |
| Tabla 6.5: Parámetros de funcionamiento prueba dos para la variación de<br>Humedad.....      | 116  |
| Tabla 6.6: Parámetros de funcionamiento prueba tres para la variación de<br>Humedad.....     | 118  |
| Tabla 6.7: Resultados de las pruebas de Temperatura.....                                     | 119  |
| Tabla 6.8: Resultados de las pruebas de humedad.....   | 1190 |
| Tabla 7.1 Costo de Remuneraciones.....   | 122  |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 7.2: Lista de materiales y precios.....            | 123 |
| Tabla 7.3 Lista de Costos Indirectos.....                | 124 |
| Tabla 7.4 Costos de Equipos Similares en el Mercado..... | 125 |

## **LISTADO DE ANEXOS**

Anexo A: Manual de usuario

Anexo B: Software measure

Anexo C: Cartas Psicométricas

Anexo D: Tablas de Propiedades

Anexo E: Manual del controlador de temperatura



## NOMENCLATURA UTILIZADA

|                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| AT:                  | ÁREA TRANSVERSAL               |
| DDC:                 | DIÁMETRO DEL DUCTO             |
| ET <sub>ESP</sub> :  | ENTALPIA ESPECÍFICA            |
| H:                   | COEFICIENTE DE CONVECCIÓN      |
| HR:                  | HUMEDAD RELATIVA               |
| K:                   | COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD   |
| LC:                  | LONGITUD CARACTERÍSTICA        |
| LDC:                 | LONGITUD DEL DUCTO             |
| M <sub>AGUA</sub> :  | MASA DE AGUA                   |
| M <sub>AIRE</sub> :  | MASA DE AIRE SECO              |
| NU:                  | NÚMERO DE NUSSELT              |
| P:                   | POTENCIA                       |
| PR:                  | NÚMERO DE PRANT                |
| Q:                   | CALOR                          |
| R:                   | RESISTENCIA POR CONDUCTIVIDAD  |
| REI:                 | NÚMERO DE REYNOLDS             |
| T:                   | TEMPERATURA                    |
| T:                   | TIEMPO                         |
| V:                   | VELOCIDAD                      |
| VCB:                 | VOLUMEN CUBÍCULO INTERIOR      |
| VDC:                 | VOLUMEN DEL DUCTO              |
| V <sub>MAGUA</sub> : | VOLUMEN MÍNIMO DEL VAPORIZADOR |
| V <sub>TOTAL</sub> : | VOLUMEN TOTAL DEL AIRE         |

B: COEFICIENTE DE EXPANSIÓN VOLUMÉTRICA

s: DENSIDAD

v: VISCOSIDAD CINEMÁTICA

## RESUMEN

El proyecto fue realizado en Sangolquí – Ecuador en la Escuela Politécnica del Ejército, una vez realizado los estudios de factibilidad del proyecto se lo llevo a cabo desde abril de 2009 hasta enero del 2010, consiguiendo el diseño y la construcción óptimos para que su desempeño sea el adecuado.

Se realizó el diseño y construcción de un prototipo para la variación de humedad y temperatura dentro de un ambiente cerrado para la realización de prácticas en el laboratorio de Automatización Industrial del DECEM. Debido a la falta de equipos que modifiquen dichas variables fue necesaria la construcción del prototipo, ya que actualmente los estudiantes pueden estar trabajando con sensores con altos porcentajes de error sin tener conocimiento de ello, lo cual dificulta la enseñanza y la comprensión integral de la cátedra.

El equipo consta de dos cubículos aislados térmicamente entre sí, con lana de vidrio que evitara y reducirá perdidas de calor con el medio ambiente la misma que tendrá fácil acceso para su respectivo mantenimiento.

El prototipo constará con una tapa desmontable que facilitará el mantenimiento y al ser de cristal permitirá observar la variación de la intensidad de la resistencia y el ingreso del vapor, también brindará facilidad en la realización de las practicas ya que permitirá la salida rápida del vapor regresando a las condiciones iniciales para la realización de una nueva práctica.

Mediante la utilización de sensores, un vaporizador y deshumidificador, se tendrá la posibilidad de variar independientemente la humedad y temperatura.

Los beneficiarios directos son los estudiantes que dispondrán de un equipo que complemente sus estudios aplicando sus conocimientos teóricos de forma práctica, con lo cual se logrará brindar una educación de alto nivel, ya que este proyecto tiene por objetivo el desarrollo de actividades educativas de investigación, principalmente en el área de sistemas dinámicos y sus aplicaciones al control automático, teoría de señales, identificación, modelamiento e instrumentación.

Al diseñar y construir un pequeño recinto para la variación de humedad y temperatura dentro de un ambiente cerrado para el laboratorio de Automatización Industrial se obtuvo como resultado relevante la interacción de los estudiantes a través de un interfaz maquina computadora, logrando complementar con la formación del estudiante del DECEM.



# **CAPITULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

#### **1.1.1 NECESIDAD INSATISFECHA**

El Laboratorio de Automatización Industrial no posee una maquina la cual controle la variación de humedad y temperatura dentro de un ambiente cerrado que permita a los estudiantes complementar su formación académica, ya que generalmente queda en un software de simulación y en procesos de programación sin aplicación real.

#### **1.1.2 PROBLEMA A RESOLVER**

La construcción de un equipo el cual controle la variación de humedad y temperatura dentro de un ambiente cerrado el cual permita realizar a los estudiantes prácticas de Instrumentación y Automatización Industrial.

### **1.1.3 SITUACIÓN ACTUAL**

El laboratorio de Automatización Industrial no cuenta con un equipo que realice prácticas para la variación de humedad y temperatura dentro de un ambiente cerrado, por lo cual es necesaria la construcción de un equipo el cual controle estas funciones para la realización de prácticas de laboratorio.

### **1.1.4 DESCRIPCIÓN**

El prototipo para la variación de humedad y temperatura en un ambiente cerrado permitirá aplicar los conocimientos teóricos de Instrumentación para realizar prácticas en el Laboratorio de Automatización Industrial ya que mediante la utilización de diferentes lenguajes y acompañado de un PLC se tendrá la posibilidad de control de sensores y actuadores, para de esta manera variar independientemente la humedad y temperatura.

El equipo tendrá la posibilidad de verificar la aplicación de diferentes lenguajes de programación, con diferentes valores de temperatura y humedad podemos generar diferentes prácticas que proporcionarán un aporte para el aprendizaje del estudiante.

El prototipo constará con una tapa desmontable que facilitará el mantenimiento y al ser de cristal permitirá observar la variación de la intensidad de las resistencias y el ingreso del vapor, también brindará facilidad en la realización de las practicas ya que permitirá la salida rápida del vapor regresando a las condiciones iniciales para la realización de una nueva práctica.

El equipo consta de dos cubículos aislados térmicamente entre sí con lana de vidrio que evitara y reducirá perdidas de calor con el medio ambiente la misma que tendrá fácil acceso para su respectivo mantenimiento.

### **1.1.5 POSIBLES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

- Adquirir si es que existe en el mercado un prototipo que permita mediante un Controlador Lógico Programable aplicar los conocimientos de Automatización para variar factores como la humedad y temperatura.
- Realizar un convenio con universidades que dispongan con esta tecnología para la realización de las prácticas.
- Diseño y construcción de un prototipo que permita realizar la variación de humedad y temperatura con sensores y actuadores que pueden ser programados mediante un PLC y de esta forma realizar las prácticas en el Laboratorio de Automatización Industrial del DECEM.

### **1.1.6 FASES DEL DESARROLLO**

- Investigación y marco teórico.
- Requerimientos y diseño de un prototipo que varíe la humedad y temperatura.
- Realizar una lista de las herramientas, equipos y materiales necesarios para la construcción del equipo.
- Crear los procesos para las practicas que se van a realizar en el equipo
- Realizar la simulación del equipo.
- Adquisición de los elementos necesarios para la construcción del prototipo.
- Construcción y ensamblaje de los sensores, actuadores y más partes de sistema.
- Verificación y realización de pruebas del equipo.
- Materialización del proyecto.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Al no disponer el laboratorio de Automatización Industrial de la ESPE con un equipo para realizar prácticas para la verificación del funcionamiento de sensores de humedad y temperatura, ya que actualmente los estudiantes pueden estar trabajando con

sensores con altos porcentajes de error sin tener conocimiento de ello, lo cual dificulta la enseñanza y la comprensión integral de la cátedra.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 GENERAL**

- Diseñar y construir un pequeño recinto para la variación de temperatura y humedad dentro de un ambiente cerrado para el laboratorio de Automatización Industrial para la interacción de los estudiantes a través de un interfaz maquina computadora.

### **1.3.2 ESPECÍFICOS**

- Seleccionar los sensores más adecuados para que los resultados sean los requeridos y óptimos.
- Realizar la programación necesaria que permita la operación del equipo.
- Realizar y probar en un software la simulación.
- Construir e implementar el equipo en su totalidad.

## **1.4 ALCANCE**

Al término del presente proyecto se entregara el pequeño recinto de control de humedad y temperatura operable en su totalidad para la realización de prácticas de Automatización Industrial del DECEM, el desarrollo del mismo se llevara a cabo en un tiempo aproximado de seis meses, con un costo estimado de 5000 dólares americanos.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El área de automatización industrial es un conjunto de técnicas que involucran la aplicación e integración de sistemas industriales de forma autónoma, además de ser una parte fundamental en la formación académica, ya que esta tiene por objetivo el desarrollo de actividades educativas de investigación, principalmente en el área de sistemas dinámicos y sus aplicaciones al control automático, teoría de señales, identificación, modelamiento e instrumentación.

En la actualidad a pesar de la existencia de una gran cantidad de industrias dedicadas a diferentes campos de producción, la gran mayoría de ellas no están en la capacidad de competir en el mercado internacional tanto tecnológicamente como en calidad y cantidad de producción, esto se debe primordialmente a la falta de máquinas automatizadas.

Es por este motivo que el área de Automatización Industrial del DECEM debe constar con diferentes equipos los cuales ayuden a los estudiantes en su formación académica y conozcan de mejor manera como se realiza los diferentes procesos de control y automatización industrial.

Al contar en el laboratorio con equipos que realicen diferentes prácticas de control, los estudiantes se ven beneficiados ya que pueden adquirir más conocimientos prácticos sin quedar limitados solo a un software de simulación, con lo cual se lograra brindar una educación de alto nivel al estudiante y con esto capacitar al mismo para proyectos de control y automatización industrial en las diferentes empresas las cuales requieran esta tecnología para sus diferentes procesos industriales.

En base a una investigación realizada en la web se ha podido establecer que un equipo de características necesarias para un laboratorio de Automatización tienen costo por sobre los 9000,00 dólares lo que significa un inversión superior de lo que costaría el diseño y construcción de un prototipo de las mismas características.

Para finalizar la automatización nos lleva a un proceso de mecanización de las diferentes actividades industriales, al incursionar en un proceso de automatización se

requiere una revisión exhaustiva de las necesidades a fin de estar en la capacidad de definir satisfactoriamente lo que se desea y tener un proceso más rápido y eficiente.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 SENSORES**

##### **2.1.1 QUE ES UN SENSOR**

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Hay sensores que no solo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable censada dentro de un rango, para fines de control de dicha variable en un proceso.

Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

Son los elementos de medición de parámetros o variables del proceso. Los sensores pueden ser usados también como indicadores, para transformar la señal medida en señal eléctrica. Los sensores más comunes son los de nivel, temperatura, presencia, proximidad, flujo, presión, entre otros. Los sensores pueden ser de varios tipos:

**SENSORES DE CONTACTO:** Son aquellos que realizan la medida en contacto directo, real y físico con el producto o materia. Ejemplos: Sensores de boya para medir nivel en un tanque, termocuplas para medir temperatura, etc.

**SENSORES DE NO CONTACTO:** Se basan en propiedades físicas de los materiales, son más exactos, pero propensos a interferencias del medio ambiente. Ejemplos: sensores ultrasónicos, sensores ópticos, etc.

**SENSORES DIGITALES:** Trabajan con señales digitales, en código binario, pueden representar la codificación de una señal analógica, o también la representación de dos estados on/off. Ejemplo: Sensores tipo switch.

**SENSORES ANALÓGICOS:** Proporcionan medidas continuas, los rangos típicos son de 0 a 20mA, 4 a 20mA, 0 a 5V, 1 a 5V, entre otros. Ejemplos: Sensores capacitivos, sensores piezoresistivos, etc.



**SENSORES MECÁNICOS:** Son aquellos que traducen la acción física del elemento medido, en un comportamiento mecánico, típicamente de movimiento y/o calor. Ejemplos: Barómetro, termómetro de mercurio, etc.

**SENSORES ELECTRO-MECÁNICOS:** Este tipo de sensor emplea un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico. Ejemplos: Sensores resistivos, sensores magnéticos, etc.

### **2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE UN SENSOR**

Los sensores o transductores se encargan de convertir una señal física (temperatura, luz, sonido, etc.) en una señal eléctrica de corriente o voltaje que puede ser manipulada (medida, amplificada, transmitida, etc.).

#### Características generales de los sensores

El transductor ideal sería aquel en que la relación entre la magnitud de entrada y la magnitud de salida fuese proporcional y de respuesta instantánea e idéntica para todos los elementos de un mismo tipo.

Sin embargo, la respuesta real de los transductores nunca es del todo lineal, tiene un rango limitado de validez, suele estar afectada por perturbaciones del entorno exterior y tiene un cierto retardo en la respuesta.

Las características de los transductores se pueden agrupar en dos grandes bloques:

Características estáticas, que describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir.

Características dinámicas, que describen el comportamiento del sensor en régimen transitorio.

## CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS

- Rango de medida: el conjunto de valores que puede tomar la señal de entrada comprendidos entre el máximo y el mínimo detectados por el sensor con una tolerancia de error aceptable.
- Resolución: indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada. Indica que variación de la señal de entrada produce una variación detectable en la señal de salida.
- Precisión: define la variación máxima entre la salida real obtenida y la salida teórica dada como patrón para el sensor.
- Repetibilidad: Indica la máxima variación entre valores de salida obtenidos al medir varias veces la misma entrada con el mismo sensor y en idénticas condiciones ambientales.
- Linealidad: un transductor es lineal si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de la señal de salida con los respectivos incrementos de la señal de entrada en todo el rango de medida.
- Sensibilidad: indica la mayor o menor variación de la señal de salida por unidad de la magnitud de entrada. Cuanto mayor sea la variación de la señal de salida producida por una variación en la señal de entrada, el sensor es más sensible.
- Ruido: cualquier perturbación aleatoria del propio sistema de medida que afecta la señal que se quiere medir.

## CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

- Velocidad de respuesta: mide la capacidad del sensor para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada.

- Respuesta en frecuencia: mide la capacidad del sensor para seguir las variaciones de la señal de entrada a medida que aumenta la frecuencia, generalmente los sensores convencionales presentan una respuesta del tipo pasabajos.
- Estabilidad: indica la desviación en la salida del sensor con respecto al valor teórico dado, al variar parámetros exteriores distintos al que se quiere medir (condiciones ambientales, alimentación, etc.).

### **2.1.3 SENSOR DE HUMEDAD**

#### **2.1.3.1 La Humedad en la Industria**

La humedad juega un rol en casi todos los procesos industriales. Esto se debe al hecho de que la atmósfera contiene humedad. Por tanto, en el ámbito industrial por lo menos se estudia su efecto, y en muchos casos se intenta controlar. Sin embargo, la humedad es una propiedad más difícil de definir y medir que algunos parámetros asociados a ella, como pueden ser la presión y la temperatura.

La humedad es un fenómeno natural, que se presenta a nivel molecular y se encuentra básicamente relacionada con la cantidad de moléculas de agua presentes en una determinada sustancia, la cual puede estar en estado sólido o gaseoso.

Si bien el grado de concentración de agua en el ambiente, no influye mayormente sobre la vida normal de un ser humano (salvo en el confort), sabemos que sí resulta relevante para ciertos procesos, ya sean químicos, físicos o biológicos. Por ello, los científicos se han visto involucrados en el tema, dada la necesidad de desarrollar un conocimiento sustancial del fenómeno, con el fin de incorporarlo y relacionarlo con los procesos pertinentes, y de esa manera obtener cierto beneficio de ello.

La medición de la humedad es un proceso verdaderamente analítico en el cual el sensor debe estar en contacto con el ambiente de proceso. Esta es una gran diferencia con los sensores de presión y de temperatura, que invariablemente se encuentran aislados del proceso (por protecciones conductoras del calor o diafragmas respectivamente). Esto tiene, por supuesto, implicaciones en la contaminación y la degradación del sensor en niveles variables, dependiendo de la naturaleza del ambiente.

En este trabajo vamos a revisar distintas tecnologías de sensores de humedad y sus típicas aplicaciones en el contexto de los rangos de medición para los que son más apropiados. Los efectos de la contaminación, de alta significación dada la naturaleza analítica de las mediciones, se evalúan brevemente.

### **2.1.3.2 Precisión de un sensor de humedad**

Podemos definir la precisión de un sensor de humedad como la desviación con respecto a un patrón de laboratorio. Esta característica es afectada por los siguientes factores:

- Temperatura y humedad a la que fue calibrado el sensor.
- Dependencia de la calibración con la humedad y la temperatura, muchos sensores son no-lineales y casi todos varían con la temperatura.
- Como le afecta al sensor el envejecimiento.
- Que tan sensitivo es el sensor a los contaminantes.
- Que precisión tiene el estándar usado para construir el sensor y su certificación.

A causa de estas variaciones, es importante señalar que la declaración de una precisión  $\pm 1\%$  es poco representativa del desempeño efectivo en el ámbito de operación del sensor. Por ejemplo un sensor con una precisión especificada de fábrica del  $\pm 1\%$  podría, después de operar durante 6 meses, caer hasta una precisión de  $\pm 6\%$  mientras que otro sensor con una precisión de fábrica de  $\pm 2\%$  podría, tras operar 6 meses en la misma aplicación, tener una precisión del  $\pm 2\%$ .

### 2.1.3.3 Tipos de medición de humedad

**MEDICIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA (RH):** La medición de la humedad relativa consiste en la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el gas del que se trate y la presión de saturación del vapor, a una temperatura dada. Por lo tanto, la humedad relativa es función de la temperatura. La medición es expresada como un porcentaje. La humedad relativa es un parámetro utilizado principalmente en aplicaciones ambientales (por ejemplo en aparatos de aire acondicionado) o mediciones meteorológicas, ya que impacta directamente en el confort humano.

**MEDICIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO/ESCARCHA (D / F PT):** El punto de rocío es la temperatura, por sobre los 0° grados, a la cual el vapor de agua presente en el gas condensa.

El punto de escarcha es la temperatura, por debajo de 0° grados, a la cual el vapor se cristaliza en hielo.

El punto D/F PT es función de la presión del gas pero independiente de su temperatura, y por lo tanto se lo considera una magnitud fundamental. Los puntos de rocío y escarcha son utilizados cuando la sequedad de un gas es relevante, esto es en procesos en los que debe evitarse la condensación del vapor de agua a bajas temperaturas.

**MEDICIÓN DE PARTES POR MILLÓN (PPM):** La expresión del contenido de vapor de agua por fracción de volumen (PPMv) o, si es multiplicado por la relación entre el peso molecular del agua y el aire como PPMw. Este término y otros asociados (como pueden ser la relación de mezcla, el porcentaje de volumen y la humedad específica) se utilizan cuando el vapor de agua es una impureza o un componente definido en una mezcla de gases que participa de un proceso industrial. Un ejemplo práctico de su aplicación son los gases de uso medicinal, como pueden ser el óxido nitroso, dióxido de carbono y oxígeno cuando son utilizados en operaciones quirúrgicas que deben tener un contenido de humedad menor a 60 PPM.

#### **2.1.3.4 Tipos de Sensores de humedad relativa y sus aplicaciones industriales**

Antes de estudiar los distintos tipos de sensores de humedad existentes en la actualidad, conviene definir y aclarar algunos conceptos, cuyos significados pueden estar desorientados, en vista que existen acepciones populares que distan del significado científico real. Por ello a continuación se entrega una lista con la terminología que será empleada en el presente documento.

**HIGROMETRÍA O PSICROMETRÍA:** Se refiere al estudio y medición de la cantidad de agua presente en una mezcla de sustancias, ya sea sólida o gaseosa (generalmente el aire).

**HIGRÓMETRO O PSICRÓMETRO:** Dispositivo capaz de medir la humedad.

**SATURACIÓN DE UN GAS:** Se dice que un gas se encuentra saturado, cuando éste no es capaz de soportar más vapor de agua a una temperatura y presión absoluta dada. Cuando el gas está en saturación, la cantidad de agua que se evapora es igual a la cantidad de agua que se condensa, por ello hay textos que prefieren referirse a equilibrio en lugar de saturación.

**HUMEDAD ABSOLUTA (HABS):** Es la razón entre la masa de agua presente en la mezcla (en [Kg]), y el volumen (en [m<sup>3</sup>]) de la misma (aire, tierra, etc.).

**HUMEDAD ESPECÍFICA:** Es la razón entre la masa de agua y la masa de sustancia seca presentes en la mezcla ([Kg agua]/ [Kg Sustancia seca]).

**PRESIÓN PARCIAL DE VAPOR (PV):** Es la fracción de presión ambiental debido a la presencia de vapor de agua en el aire, se mide en [Pascal] lo que equivale a [N/m<sup>2</sup>].

**PRESIÓN DE VAPOR DE SATURACIÓN (PSAT):** Es la máxima presión de vapor que un gas puede soportar, a una cierta temperatura y presión atmosférica, a partir de la cual el vapor se comienza a condensar (cambia a estado líquido), se mide en [Pa].

HUMEDAD RELATIVA (HR): Es la razón entre la presión parcial de vapor actual, y la presión de vapor de saturación, expresada generalmente en porcentaje. O de otra manera, es la cantidad de agua que contiene un gas expresada en tanto por ciento de la cantidad que el gas tendría en estado de saturación, a la misma temperatura y presión absoluta

Las mediciones de humedad relativa puede ser hechas por sensores basados en: psicometría, desplazamiento, resistivos, capacitivos.

SENSORES DE PSICOMETRÍA POR BULBO HÚMEDO/BULBO SECO: Un psicómetro industrial típico consiste en un par de termómetros eléctricos acoplados, uno de los cuales opera en estado húmedo.

Cuando el dispositivo funciona la evaporación del agua enfría el termómetro humedecido, resultando una diferencia cuantificable con la temperatura ambiente o la temperatura del bulbo seco. Cuando el bulbo húmedo alcanza su máxima caída de temperatura la humedad puede determinarse comparando la temperatura de los dos termómetros en una tabla psicométrica.

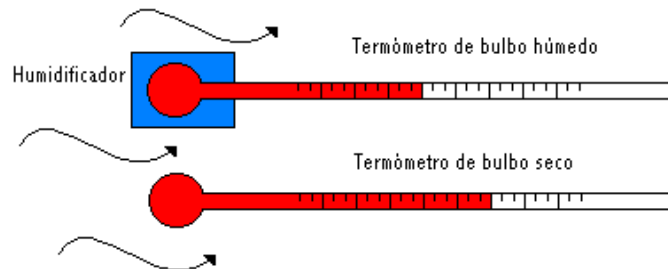


Figura 2.1: Psicómetro

El psicómetro provee una alta precisión en las proximidades del punto de saturación (100% RH) y es fácil de operar y reparar, por otra parte a baja humedad relativa (menos del 20%) el desempeño es pobre y el mantenimiento debe intensificarse.

No puede utilizarse a temperaturas menores de 0° y, siendo el propio psicómetro una fuente de humedad, no puede utilizarse tampoco en ambientes pequeños o cerrados.

Los psicómetros son utilizados típicamente para control ambiental en recintos.

**SENSORES POR DESPLAZAMIENTO:** Es quizás el tipo de sensor más antiguo y de uso común, utiliza un mecanismo para medir la expansión o contracción de un cierto material que es proporcional a los cambios en el nivel de humedad relativa. Los materiales más comunes son el nylon y la celulosa.

Las ventajas de este tipo de sensores son el bajo costo de fabricación y es altamente inmune a la contaminación. Las desventajas son la tendencia a la descalibración con el tiempo y los efectos de histéresis significativos.

**SENSORES DE BLOQUE DE POLÍMERO RESISTIVO:** Están compuestos de un sustrato cerámico aislante sobre el cual se deposita una rejilla de electrodos. Estos electrodos se cubren con una sal sensible a la humedad rodeada de una resina (polímero).

La resina se recubre entonces con una capa protectora (permeable al vapor de agua). A medida que la humedad atraviesa la capa de protección, el polímero resulta ionizado y estos iones se movilizan dentro de la resina. Cuando los electrodos son excitados por una corriente alterna, la impedancia del sensor se mide y es usada para calcular el porcentaje de humedad relativa.

Por su estructura, este tipo de sensores son relativamente inmunes a la contaminación superficial. Debido a que los valores de resistencia del sensor son extremadamente altos con niveles de humedad menores del 20%, es apropiado para los rangos altos de humedad.

**SENSORES CAPACITIVOS:** Los sensores capacitivos (polímero orgánico capacitivo) son diseñados normalmente con discos paralelos de electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios del nivel de humedad.

Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causa una variación en el valor de la capacidad del dispositivo, por lo que resulta una impedancia que varía con la



humedad. Un cambio en la constante dieléctrica de aproximadamente el 30% corresponde a una variación del 0-100% en la humedad relativa.



Figura 2.2: Aplicación del Sensor capacitivo.

## 2.1.4 SENSORES DE TEMPERATURA

### 2.1.4.1 Temperatura

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío. Por lo general, un objeto más "caliente" tendrá una temperatura mayor. Físicamente es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como "energía sensible", que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que es mayor la energía sensible de un sistema se observa que está más "caliente" es decir, que su temperatura es mayor.

En el caso de un sólido, los movimientos en cuestión resultan ser las vibraciones de las partículas en sus sitios dentro del sólido. En el caso de un gas ideal monoatómico se trata de los movimientos traslacionales de sus partículas (para los gases multiatómicos los movimientos rotacional y vibracional deben tomarse en cuenta también).

Dicho lo anterior, se puede definir la temperatura como la cuantificación de la actividad molecular de la materia.

El desarrollo de técnicas para la medición de la temperatura ha pasado por un largo proceso histórico, ya que es necesario darle un valor numérico a una idea intuitiva como es lo frío o lo caliente.

Multitud de propiedades fisicoquímicas de los materiales o las sustancias varían en función de la temperatura a la que se encuentren, como por ejemplo su estado (sólido, líquido, gaseoso, plasma), su volumen, la solubilidad, la presión de vapor, su color o la conductividad eléctrica. Así mismo es uno de los factores que influyen en la velocidad a la que tienen lugar las reacciones químicas.

La temperatura se mide con termómetros, los cuales pueden ser calibrados de acuerdo a una multitud de escalas que dan lugar a unidades de medición de la temperatura. En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de temperatura es el kelvin (K), y la escala correspondiente es la escala Kelvin o escala absoluta, que asocia el valor "cero kelvin" (0 K) al "cero absoluto", y se gradúa con un tamaño de grado igual al del grado Celsius. Sin embargo, fuera del ámbito científico el uso de otras escalas de temperatura es común. La escala más extendida es la escala Celsius (antes llamada centígrada); y, en mucha menor medida, y prácticamente sólo en los Estados Unidos, la escala Fahrenheit. También se usa a veces la escala Rankine ( $^{\circ}\text{R}$ ) que establece su punto de referencia en el mismo punto de la escala Kelvin, el cero absoluto, pero con un tamaño de grado igual al de la Fahrenheit, y es usada únicamente en Estados Unidos, y sólo en algunos campos de la ingeniería.

Es importante destacar que la Sensación térmica es algo distinto de la temperatura tal como se define en termodinámica. La sensación térmica es el resultado de la forma en que el cuerpo humano percibe la temperatura de los objetos y del entorno, y no un reflejo fiel de la temperatura real de las cosas. La sensación térmica es un poco compleja de medir, por distintos motivos:

El cuerpo humano mide la temperatura a pesar de que su propia temperatura se mantiene aproximadamente constante (alrededor de 37 °C), por lo tanto no alcanza el equilibrio térmico con el ambiente o con los objetos que toca.

Los aumentos o incrementos de calor producidos en el cuerpo humano desvían la sensación térmica del valor real de la temperatura, lo cual produce unas sensaciones de temperatura exageradamente alta o baja.

Sin embargo, existen varias formas de simular en un termómetro la sensación térmica tal y como la percibe el cuerpo humano:

**TEMPERATURA SECA:** Se llama temperatura seca del aire de un entorno, o más sencillamente, temperatura seca, a la temperatura del aire, prescindiendo de la radiación calorífica de los objetos que rodean ese ambiente concreto y de los efectos de la humedad relativa y de los movimientos de aire. Se puede obtener con el termómetro de mercurio, respecto a cuyo bulbo, reflectante y de color blanco brillante, se puede suponer razonablemente que no absorbe radiación.

**TEMPERATURA RADIANTE:** Se tiene en cuenta el calor emitido por radiación de los elementos del entorno.

Se toma con un termómetro de bulbo, que tiene el depósito de mercurio encerrado en una esfera o bulbo metálico de color negro, para asemejarlo lo más posible a un cuerpo negro y absorba la máxima radiación. Para anular en lo posible el efecto de la temperatura del aire, el bulbo negro se aísla mediante otro bulbo en el que se ha hecho al vacío.

Las medidas se pueden tomar bajo el sol o a la sombra. En el primer caso tendrá en cuenta la radiación solar y dará una temperatura bastante más elevada.

También sirve para dar una idea de la sensación térmica.

La temperatura de bulbo negro hace una función parecida, dando la combinación de la temperatura radiante y la ambiental

**TEMPERATURA HÚMEDA:** Es la temperatura que da un termómetro a la sombra, con el bulbo envuelto en una mecha de algodón húmedo bajo una corriente de aire. La corriente de aire se produce mediante un pequeño ventilador o poniendo el termómetro en un molinete y haciéndolo girar. Al evaporarse el agua, absorbe calor, rebajando la temperatura, efecto que reflejará el termómetro. Cuanto menor sea la humedad relativa ambiente, más rápidamente se evaporará el agua que empapa el paño. Este tipo de medición se utiliza para dar una idea de la sensación térmica, o en los psicrómetros para calcular la humedad relativa y la temperatura del Punto de rocío.

#### 2.1.4.2 Escalas de temperatura

Actualmente se utilizan tres escalas para medir la temperatura, la escala Celsius es la que todos estamos acostumbrados a usar, la Fahrenheit se usa en los países anglosajones y la escala Kelvin de uso científico.

| Nombre            | Símbolo | Temperaturas de referencia   | Equivalencia   |
|-------------------|---------|--|--|
| Escala Celsius    | °C      | Puntos de congelación (0°C) y ebullición del agua (100°C)  |  |
| Escala Fahrenheit | °F      | Punto de congelación de una mezcla anticongelante de agua y sal y temperatura del cuerpo humano. | $^{\circ}\text{F} = 1,8 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32$ |
| Escala Kelvin     | K       | Cero absoluto (temperatura más baja posible) y punto triple del agua.                            | $\text{K} = \text{ }^{\circ}\text{C} + 273$            |

Tabla 2.1: Escalas de Temperatura

### 2.1.4.3 Sensores de Temperatura

TERMÓMETROS MECÁNICOS: Los procesos mecánicos de medida de temperatura se basan en la dilatación física de la materia gaseosa, líquida o sólida bajo influencia de la temperatura.

- Termómetro bimetalico
- Termómetro de presión de gas
- Termómetro liquido de vidrio

TERMÓMETROS ELÉCTRICOS: El cambio de la resistencia eléctrica de los termómetros de resistencia de metal depende de la temperatura. Puesto que la resistencia eléctrica se sube en proporción con la temperatura, se utiliza la expresión 'coeficiente positivo de la temperatura'. El metal con las mejores características es platino y consecuentemente el termómetro de resistencia de tipo Pt es el más importante de la tecnología de medida.

Otros metales que se utilizan en la medida de la temperatura son el cobre (Cu), el níquel (Ni) y el molibdeno (Mo). El termómetro de resistencia del platino se describe detalladamente en la norma EN 60751. El termómetro de resistencia llamado Pt100 es el más usado comúnmente.

El termómetro de resistencia Pt100 se divide en dos clases de precisión:

- Clase A:  $(0,15 + 0,002 | t | ) ^\circ\text{C}$
- Clase B:  $( 0,30 + 0,005 | t | ) ^\circ\text{C}$

TERMOPARES: El principio de medida del termopar se basa en el efecto descubierto por Seebeck que dice que, un voltaje se presenta en los extremos de dos hilos de diversos materiales, cuando la temperatura en el punto de los dos materiales (por ejemplo NiCr y Ni) es diferente a la temperatura de los terminales del instrumento de medida.

Los termopares y los conductores de compensación son definidos por códigos de color.

**SENSORES SEMICONDUCTORES:** Para medir la temperatura, los termómetros de resistencia basados en los semiconductores utilizan el cambio de la resistencia eléctrica de los materiales semiconductores, sobre todo de cerámica, tal cambio que depende de la temperatura.

- Conductores fríos (PTC)
- Conductores calientes (NTC)
- Resistores de detección de silicio

**TERMÓMETRO DE RADIACIÓN (PIRÓMETRO):** Así como intercambian calor mediante la conducción y la convección, los sólidos también intercambian calor con su ambiente entorno mediante la radiación. La radiación térmica de un objeto de medida se filtra ópticamente y se concentra esa radiación en un detector. La reacción eléctrica consiste en un cambio en resistencia, voltaje o corriente del detector de radiación, inducida directamente, o inducida indirectamente por un aumento en la temperatura, dependiente del principio aplicado.

#### **2.1.4.4 Resolución y precisión del sensor**

La resolución de un sensor es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida. Sin embargo, la precisión es el máximo error esperado en la medida.

La resolución puede ser de menor valor que la precisión. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0,01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0,01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de medición menor a 1 mm. En la mayoría de los casos este exceso de resolución conlleva a un exceso innecesario en el coste del sistema. No obstante, en estos sistemas, si el error en la medida sigue una distribución normal o

similar, lo cual es frecuente en errores accidentales, es decir, no sistemáticos, la repetitividad podría ser de un valor inferior a la precisión.

Sin embargo, la precisión no puede ser de un valor inferior a la resolución, pues no puede asegurarse que el error en la medida sea menor a la mínima variación en la magnitud de entrada que puede observarse en la magnitud de salida.

#### **2.1.4.5 Otros procesos de medición de temperatura**

- Proceso óptico de medida (determinación de la intensidad o longitud de onda de la radiación electromagnética de un sólido)
- Colores de medida de temperatura (efectos físicos de los materiales cuyos colores cambian dependiente de la temperatura)
- Cristal líquido (para la indicación de las temperaturas superficiales y la presentación óptica de los campos de temperatura)
- Sensores de temperatura de cristal de cuarzo (la frecuencia de la resonancia cambia dependiente de la temperatura)
- Proceso acústico de medida (velocidad de propagación del sonido dependiente de la temperatura)
- Termómetros de ruido (dependencia de la temperatura de la velocidad media del electrón movimiento browniano)
- Sensores de temperatura capacitivos (dependencia de la temperatura de las constantes de la dielectricidad)
- Sensores de temperatura inductivos (dependencia de la temperatura del momento magnético)

## **2.2 ACTUADORES**

### **2.2.1 QUE ES UN ACTUADOR**

Se denominan actuadores a aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado.

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.

Los actuadores son los elementos que nos permiten controlar directa o indirectamente las variables del proceso. Tales dispositivos responden a la señal enviada por el controlador, a veces por intermedio de una interface que convierta la señal del controlador a una magnitud necesaria por el actuador.

El diseño de los actuadores es un tema complejo y ha dado lugar a la existencia de distintos tipos en función de las condiciones a cumplir (respuesta a la señal de control) y de los materiales que soporten las características tanto del proceso como del medio ambiente: temperatura, presión, corrosividad, erosión, etc.

### **2.2.2 TIPOS DE ACTUADORES**

Los actuadores o accionamientos pueden ser clasificados atendiendo al tipo de energía empleada. Según esto tendríamos:

**ACTUADORES ELÉCTRICOS:** Son usados para posicionar dispositivos de movimientos lineales o rotacionales. Ejemplos: Motores, relé, switch, electroválvulas.



**ACTUADORES NEUMÁTICOS:** Trabajan con señales de presión, estas señales son convertidas a movimientos mecánicos. Ejemplo: Pistones neumáticos, válvulas.

**ACTUADORES HIDRÁULICOS:** Operan igual a los neumáticos, son usados en tareas que requieren mayor fuerza por ejemplo levantar compuertas, mover grúas, elevadores, etc. Ejemplo: Pistones hidráulicos.

## **2.3 HUMIDIFICADORES**

### **2.3.1 QUE ES UN HUMIDIFICADOR**

Un humidificador es un aparato sencillo que cumple la función de aumentar el porcentaje de humedad de una habitación. Este aparato consta de un recipiente que se llena de agua y que a través de un sistema muy simple libera vapor, lo que permite humedecer los ambientes.

### **2.3.2 TIPOS DE HUMIDIFICADORES**

Básicamente existen tres tipos de humidificadores.

- Fríos (ultrasónicos)
- Calientes (electrodos)
- Calientes (evaporación)

**HUMIDIFICADOR ULTRASÓNICO:** Produce una nebulización del agua a través de vibraciones de muy alta frecuencia, son extremadamente seguros, silenciosos, con caudal regulable y de muy bajo consumo (típicamente de 20W a 35 W). Por otra parte sólo puede utilizarse agua y está absolutamente prohibido el uso de cualquier aditivo. Su uso típico es la restauración de la humedad relativa durante largos períodos de tiempo.

**HUMIDIFICADOR DE ELECTRODOS:** Generan vapor mediante la ebullición del agua del depósito calentada a través de la corriente que pasa directamente por el agua.

Son más peligrosos (el vapor que expulsa lo hace a alta temperatura), y tienen un consumo elevado. El caudal de salida no es regulable y depende mucho de la dureza del agua. A mayor contenido de sales del agua mayor es la conductividad eléctrica y por tanto mayor la intensidad que circula, lo que a su vez implica un mayor caudal. Por otra parte, se les pueden añadir aceites balsámicos a la salida del vapor (nunca en el agua) lo que los hace especialmente útiles para las situaciones de corta duración por motivos patológicos dificultades puntuales respiratorias, mucosidades de difícil expulsión, y muy especialmente cuando esto es con niños pequeños.

**HUMIDIFICADOR POR EVAPORACIÓN:** Generan un caudal menor, no regulable y deben funcionar sólo con agua destilada. Su funcionamiento es mediante una mecha que se mantiene húmeda por capilaridad y que a su vez es calentada mediante un calefactor eléctrico. Si el agua contiene sales, la mecha se obtura con relativa facilidad. Pueden usarse con aceites balsámicos a la salida del vapor, pero su eficiencia en esto es muy inferior a la de los electrodos estos humidificadores son los menos utilizados.

## **2.4 DESHUMIDIFICADORES**

### **2.4.1 QUE ES UN DESHUMIDIFICADOR**

Los deshumidificadores son aparatos especialmente concebidos para dar una solución inmediata, rápida y eficaz a todos los problemas originados por el exceso de humedad, sin necesidad de instalación en el caso de los pequeños equipos domésticos, y mínimos gastos de instalación y mantenimiento en los equipos industriales y de mayor capacidad

Los deshumidificadores se presentan muchas veces como la única opción que contribuye a evitar serios problemas de habitabilidad y mal aprovechamiento de espacios a causa de un alto porcentaje de humedad en el aire. Incluso, solucionan problemas domésticos. No obstante, sus ventajas van más allá en viviendas, locales comerciales e

industrias estos equipos no sólo extraen la humedad sobrante sino que también permiten mantener el porcentaje de humedad de forma automática, controlada y constante.

## **2.4.2 MÉTODOS DE DESHUMIDIFICACION**

Para adaptarse a cada necesidad existen diversos métodos de deshumidificación, diferenciados por el sistema que utiliza para conseguir su propósito y que es recomendable y aplicable según las condiciones y necesidades que demande la aplicación.

Los dos principales deshumidificadores son:

**FRIGORÍFICOS O DE CONDENSACIÓN:** Usan un circuito convencional hermético de refrigeración. Es muy eficaz para extraer la humedad del aire, siempre que el aire de entrada tenga un punto de rocío superior de 12°C.

**DESECANTE O DE ADSORCIÓN:** Estos deshumidificadores están especialmente indicados para conseguir y mantener niveles muy bajos de humedad a bajas temperatura (hasta -40°C), o cuando se requiere mantener porcentajes muy bajos de humedad con independencia de la temperatura. Este método se utiliza en la mayoría de las industrias de la alimentación, químicas, plásticos, navales y farmacias, pistas de hielo, plantas depuradoras de agua y almacenes del ejército.

## **2.5 AISLAMIENTOS TÉRMICOS**

### **2.5.1 QUE ES UN AISLAMIENTO TÉRMICO**

Es el método con el cual tratamos de aislar térmicamente una superficie reduciendo la transferencia de calor hacia o desde el ambiente mediante el uso de materiales aislantes o de baja conductividad térmica.

## **2.5.2 OBJETIVOS DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS**

- Minimizar las pérdidas de energía por transferencia de calor hacia o desde el ambiente.
- Proteger al personal y bienes
- Proteger el ambiente

## **2.5.3 TIPOS DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS**

Todo material aislante debe cumplir ciertos requisitos mínimos para ser considerado como tal, los cuales deben ceñirse a normas técnicas de evaluación elaboradas por entidades especializadas.

Estos requisitos están dirigidos a obtener información acerca de lo siguiente:

- Características dimensionales.
- Densidad.
- Propiedades de transferencia de calor
- Máximas temperaturas de uso.
- Análisis químicos.
- Resistencia al fuego.
- Absorción de agua, etc.

La conductividad térmica es la característica que expresa la mayor o menor dificultad del material para permitir la transferencia de calor.

La conductividad térmica es bastante parecida entre los materiales aislantes, por lo que no es esta característica la principal diferencia entre ellos.

La diferencia radica en sus características físico – químicas, por lo que se deben tener en cuenta lo siguiente:

- Las contracciones y dilataciones del aislante.
- Su resistencia al fuego.
- La acción de disolventes y agentes atmosféricos.
- Las sollicitaciones mecánicas.
- Máxima temperatura de empleo.

| TIPO DE AISLANTE       | CARACTERISTICAS  |
|------------------------|--|
| Lana roca              | Material resistente al fuego   |
| Vidrio expandido       | A mas de aislante térmico sirve de barrera de vapor                  |
| Espuma de poliestireno | Derivado del petróleo y fácil para construir bloques para el montaje |
| Espuma celulósica      | Ideal para la parte inferior de los galpones                         |
| Espuma de polietileno  | Fácil instalación rendimiento térmico medio                          |
| Espuma poliuretano     | Buen rendimiento térmico, tóxico para el ser humano                  |
| Lana de Vidrio         | Fácil maniobrabilidad e instalación                                  |

Tabla 2.2: Tipos de aislamientos térmicos.

#### 2.5.4 APLICACIONES

El mejor aislante térmico es el vacío, pero debido a la gran dificultad para obtener y mantener condiciones de vacío, éste se emplea en muy pocas ocasiones. En la práctica se utiliza aire, que gracias a su baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de absorción de la radiación, constituye un elemento muy resistente al paso de calor. Sin embargo, el fenómeno de convección que se origina en las cámaras de aire aumenta

sensiblemente su capacidad de transferencia térmica. Por esta razón se utilizan como aislamiento térmico materiales porosos o fibrosos, capaces de inmovilizar el aire seco y confinarlo en el interior de celdillas más o menos estancas.

A continuación se detalla las aplicaciones de los algunos tipos de aislamientos térmicos:



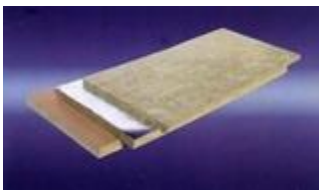
Mantas de Lana de Roca desnudas (MN 230), revestidas con papel kraft (MK 230) o aluminio (MA 230). No deben instalarse en posición vertical

**APLICACIONES:** Aislamientos en cerramientos horizontales y verticales: cubiertas, buhardillas, falsos techos, paredes, tabiques, etc.



Mantas de Lana de Roca revestidas con un velo reforzado de fibra natural

**APLICACIONES:** Mantas especialmente concebidas para aplicación en posición vertical como aislamiento térmico (continuo) y acústico en fachadas de naves industriales.



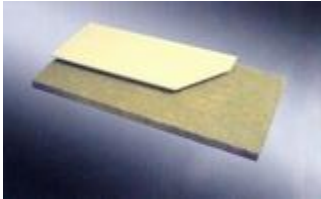
Paneles de Lana de Roca desnudos (PN), revestidos con papel kraft (PK) o con una lámina de aluminio (PA) actuando como barrera de vapor

**APLICACIONES:** Aislamiento térmico y acústico de paredes por el interior.



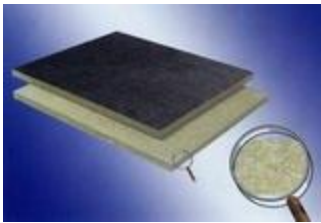
Paneles rígidos de Lana de Roca desnudos.

**APLICACIONES:** Aislamiento de paredes por el interior y soluciones acústicas de mayor exigencia.



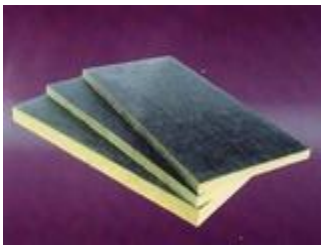
Paneles rígidos de Lana de Roca desnudos

**APLICACIONES:** Aislamiento térmico y acústico. Paneles para acoplar a placas de yeso laminado.



Paneles rígidos de Lana de Roca de alta densidad desnudo o con oxiasfalto soldable.

**APLICACIONES:** Aislamiento térmico y acústico en cubiertas planas, metálicas o de betún como soporte de impermeabilización fijada mecánicamente o por termo-colada.



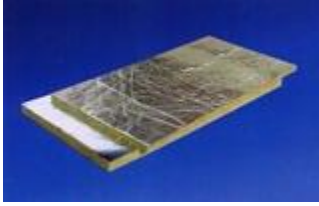
Paneles de Lana de Roca revestidos con una capa de velo negro, blanco o neutro de fibra natural. Este producto no debe ser considerado como techo falso.

**APLICACIONES:** Aislamiento y corrección acústica de locales donde se producen elevados niveles de ruido (fábricas y naves industriales).



Manta de Lana de Roca con una capa revestida por una hoja de aluminio reforzada con elevada resistencia a la tracción longitudinal. Actúa como soporte y barrera de vapor.

**APLICACIONES:** Aislamiento térmico y acústico por el exterior de conductos metálicos de aire acondicionado.



Paneles de Lana de Roca con una capa revestida por una hoja de aluminio colado con ligante sin materia orgánica, resistente a alta temperatura (650°C)

**APLICACIONES:**

Aislamiento térmico. Especialmente concebido para aislamiento de chimeneas y recuperadores de calor.



## **CAPITULO 3**

### **REQUERIMIENTOS DE SENSORES Y ACTUADORES**

#### **3.1 RANGO DE DATOS**

La selección de rango de datos esta realizada debido a los requerimientos de las prácticas y condiciones ambientales.

##### **HUMEDAD RELATIVA %**

Humedad Ambiente = Aprox 50% valle de los chillos Quito Ecuador

Humedad superior = 95%

##### **TEMPERATURA °C**

Temperatura Ambiente = Aprox 20 °C Valle de los Chiquillos Quito Ecuador

Temperatura Superior = 60 °C

## **3.2 TIPO DE SEÑAL**

Los sensores proporcionados por el Laboratorio de Automatización Industrial del DECEM nos proporcionan una señal analógica la cual se digitaliza en el computador por medio de un cable de adquisición de datos y de un software llamado measure.

Las señales analógicas son como controles de volúmenes, con un rango de valores entre 0 y el tope de escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el cable de adquisición de datos, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura, flujo, humedad y peso son normalmente representados por señales analógicas. Las señales analógicas pueden usar tensión o intensidad con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos. Por ejemplo, una entrada de 4-20 mA o 0-10 V será convertida en enteros comprendidos entre 0-32767.

La gran desventaja respecto a las señales digitales es que en las señales analógicas cualquier variación en la información es de difícil recuperación, y esta pérdida afecta en gran medida al correcto funcionamiento y rendimiento del dispositivo analógico. Un sistema de control (ya pueda ser un ordenador, etc.) no tiene capacidad alguna para trabajar con señales analógicas, de modo que necesita convertirlas en señales digitales para poder trabajar con ellas

## **3.3 SELECCIÓN**

### **3.3.1 INVENTARIO DE MATERIALES Y ELEMENTOS DISPONIBLES**

Por parte del Laboratorio de Automatización Industrial se recibió algunos elementos principalmente para la construcción del equipo, así como los equipos necesarios para el funcionamiento del prototipo de variación de humedad y temperatura dentro de un ambiente cerrado que será utilizado para la verificación de sensores que cuantifiquen dichas variables.

Con estos antecedentes se ha elaborado un inventario de materiales y elementos disponibles con las características que se mencionan a continuación.

### 3.3.1.1 Inventario de Materiales

| CANT | DESCRIPCION                   | PROCEDENCIA                    |
|------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1    | Tubería de cobre 5/16 (L=2 m) | Lab. Automatización Industrial |
| 1    | Válvula de paso de cobre 5/16 | Lab. Automatización Industrial |
| 3    | Racores de cobre 5/16         | Lab. Automatización Industrial |

Tabla 3.1: Materiales a Utilizar en el Proyecto

### 3.3.1.2 Inventario de Elementos Eléctrico/Electrónicos

| CANT | DESCRIPCION                           | PROCEDENCIA                    |
|------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 1    | Sensor de Temperatura PHYWE           | Lab. Automatización Industrial |
| 1    | Sensor de Humedad PHYWE               | Lab. Automatización Industrial |
| 1    | Sistema de adquisición de datos PHYWE | Lab. Automatización Industrial |

Tabla 3.2: Elementos Eléctrico/Electrónicos a Utilizar en el Proyecto

### 3.3.2 SENSORES

Son elementos que pueden transformar diferentes tipos de magnitudes llamadas variables de instrumentación en magnitudes eléctricas, para lo cual tomando en cuenta el rango de datos y los elementos disponibles se seleccionó diferentes sensores que se especifican a continuación:

## TEMPERATURA.

Para determinar y medir la variable de temperatura que se manejaran en las diferentes prácticas se seleccionó un sensor marca PHYWE que fue utilizado por las siguientes razones:

- Rango de temperatura muy amplio
- Facilidad de instalación
- Respuesta rápida
- Se puede medir el voltaje, que es proporcional a la diferencia de temperaturas
- Proporciona gráficas Temperatura vs Tiempo
- Tamaño pequeño

|                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| Acondicionador de señal : | PHYWE             |
| Rango Temperatura:        | -200 a 1400       |
| Type                      | Thermoelement-Box |
| Serial:                   | 380800250483      |

Tabla 3.3 Especificaciones señor de temperatura



Figura 3.1: Termocupla Phywe

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| Sensor :           | PHYWE TEMPERATURA |
| Rango Temperatura: | -200 a 1400       |
| Serial:            | 1257300           |
| Material           | NICr-Ni           |

Tabla 3.4 Especificaciones sensor de temperatura



Figura 3.2: Sensor de temperatura

### CONTROLADOR AUTOMATICO DE TEMPERATURA

Para determinar y controlar la variable de temperatura que se manejaran en las diferentes prácticas se seleccionó un controlador automático que fue utilizado por las siguientes razones:

- Rango de temperatura muy amplio
- Facilidad de instalación
- Respuesta rápida
- Tamaño pequeño

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| Controlador        | Temperatura |
| Rango Temperatura: | 0 – 75 °C   |
| Precisión:         | 0.01°C      |

Tabla 3.5 Especificaciones del Controlador de Temperatura



Figura 3.3: Controlador de Temperatura

## HUMEDAD.

Para determinar y medir la variable de humedad que se manejaran en las diferentes prácticas se seleccionó un sensor marca PHYWE, fue utilizado por las siguientes razones:

- Rango de humedad amplio
- Facilidad de instalación
- Respuesta rápida
- Se puede medir el voltaje, que es proporcional a la diferencia de humedades.
- Proporciona una gráfica de Humedad vs Tiempo
- Tamaño pequeño

|                |                    |
|----------------|--------------------|
| Sensor :       | PHYWE              |
| Rango Humedad: | 0 a 95%            |
| Type           | Luftfeuchte-Sensor |
| Serial:        | 440800254921       |

Tabla 3.6 Especificaciones sensor de Humedad



Figura 3.4: Sensor de Humedad Phywe

## ADQUISICIÓN DE DATOS

### *Software Measure*

El software measure, dispone de un programa de medición comprensible, conveniente y bastante intuitivo para el uso de sus instrumentos de medición PHYWE.

Measure ofrece una plataforma uniforme para los distintos sensores PHYWE y permite trabajar de forma rápida y sencilla con cualquiera de ellos utilizando siempre el mismo software.

Esta estructura de programas asegura también el poder disponer y utilizar de la manera más sencilla potentes comandos como:

- Análisis de picos
- Análisis de curva
- Mostrar promedio
- Mostrar pendiente
- Mostrar integral
- Mostrar extremos
- Tarjeta de sonido

- Modificación de canal
- Análisis de Fourier
- Suavizar
- Calcular promedio
- Regresión lineal
- Rastrear
- Mostrar vida media/espesor medio
- Histograma

El escritorio (interface del usuario) de measure consta de tres secciones: los menús y las barras de herramientas con sus botones y cajas de selección en la parte superior. Las ventanas abiertas con los diagramas de representación se encuentran en la ventana principal. Los textos de ayuda de los menús o botones seleccionados con el ratón o el teclado aparecen en la parte inferior (barra de estado).

Para Instalación y Uso del Software Measure referirse al Anexo B.

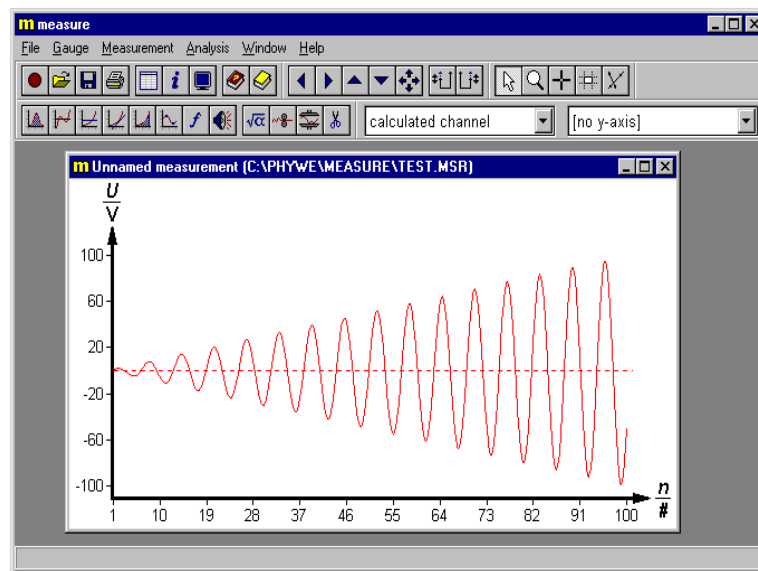


Figura 3.5: Ventana de Measure



### *Cable USB de adquisición de datos*

El cable USB de adquisición de datos, es el que permite la transferencia de un programa del conector de la computadora al conector del sensor. Por medio de este componente se logra la transferencia de las instrucciones del programa al Sensor y a la vez una comunicación constante de datos ambos componentes. Hay que mencionar que este cable no necesita de ningún tipo de configuración pues solo es necesario la conexión física al puerto USB de la computadora y el al sensor.

|               |                       |
|---------------|-----------------------|
| USB INTERFACE | PHYWE                 |
| Type          | PHYCON, USB-INTERFACE |
| Serial:       | 150800241635          |

Tabla 3.3 Especificaciones Interface USB de adquisición de datos



Figura 3.6 Cable USB de adquisición de datos Utilizado

### **3.3.3 ACTUADORES**

Se puede decir que son elementos que producen un efecto o reacción en un proceso, en este caso la variación de humedad y temperatura, para lo cual tomando en

cuenta el rango de datos y los elementos disponibles se seleccionó diferentes actuadores que se especifican a continuación:

#### VARIACION DE TEMPERATURA:

RESISTENCIA eléctrica seca de 300 W, fue utilizada por las siguientes razones:

- Facilidad de instalación
- Respuesta rápida
- Tamaño pequeño



Figura 3.7: Resistencia seca

#### VARIACION DE LA HUMEDAD

VAPORIZADOR: De electrodos que genera vapor mediante la ebullición del agua del depósito calentada a través de la corriente que pasa directamente por el agua. El caudal de salida no es regulable y depende mucho de la dureza del agua. A mayor contenido de sales del agua mayor es la conductividad eléctrica y por tanto mayor la intensidad que circula, lo que a su vez implica un mayor caudal.



Figura 3.8: Vaporizador de Electrodos

**DESHUMIDIFICADOR:** Es un equipo compacto de sobremesa cuyo funcionamiento consiste en hacer pasar aire del interior del cubículo a deshumidificar a través de un laberinto en el que se encuentran aletas y recintos en contacto con ellas que contienen acumuladores de frío que cambian de fase a temperaturas por debajo del punto de rocío, depositándose en ellos gran parte de la humedad del aire.

El motivo de selección de este actuador se especificara con más detalle en el siguiente capítulo.



Figura 3.9 Deshumidificador con efecto Peltier

### 3.4 RESTRICCIONES

Para el correcto funcionamiento del equipo se detallará a continuación las restricciones que se deben considerar para los sensores y actuadores.

#### TEMPERATURA

- La resistencia seca de 300 W de potencia máxima, está restringida por un reóstato la cual la limita a trabajar en un 20% de su capacidad lo que permite que el aumento de temperatura del medio en el que se encuentra no sea tan acelerado, consiguiendo con eso una temperatura más estable, ya que al estar limitada deja de emanar calor mucho más rápido que si trabajara a su máxima capacidad.
- La máxima temperatura a setear es de 60°C ya que el controlador que se va ser instalado trabaja con un rango máximo de 75°C, consiguiendo con esto una temperatura en las paredes exteriores de 25°C a 30°C aproximadamente con la utilización de los respectivos aislamientos que serán seleccionados en el siguiente capítulo, evitando así cualquier tipo de accidentes al manipular el equipo en funcionamiento.

#### HUMEDAD

- La restricciones para el control de humedad están basadas en el sensor de la misma, ya que este tiene un rango de medición de hasta un 95%, además se piensa instalar una boquilla en la salida del vaporizador, la cual controlara el flujo de vapor al interior del equipo.

## **CAPITULO 4**

### **DISEÑO DEL PROTOTIPO**

#### **4.1 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL EQUIPO**

##### **4.1.1 EVALUACIÓN Y DISPONIBILIDAD DEL ESPACIO FÍSICO**

El laboratorio de Instrumentación y Automatización del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DECEM) ubicado en la Escuela Politécnica del Ejercito, dispone de un espacio físico adecuado para la ubicación del equipo a construir que será utilizado para la verificación del funcionamiento de sensores mediante la variación de la humedad y temperatura. Para lo cual se diseño con las dimensiones siguientes dimensiones:

440 mm de ancho

300 mm de alto

470 mm de profundidad

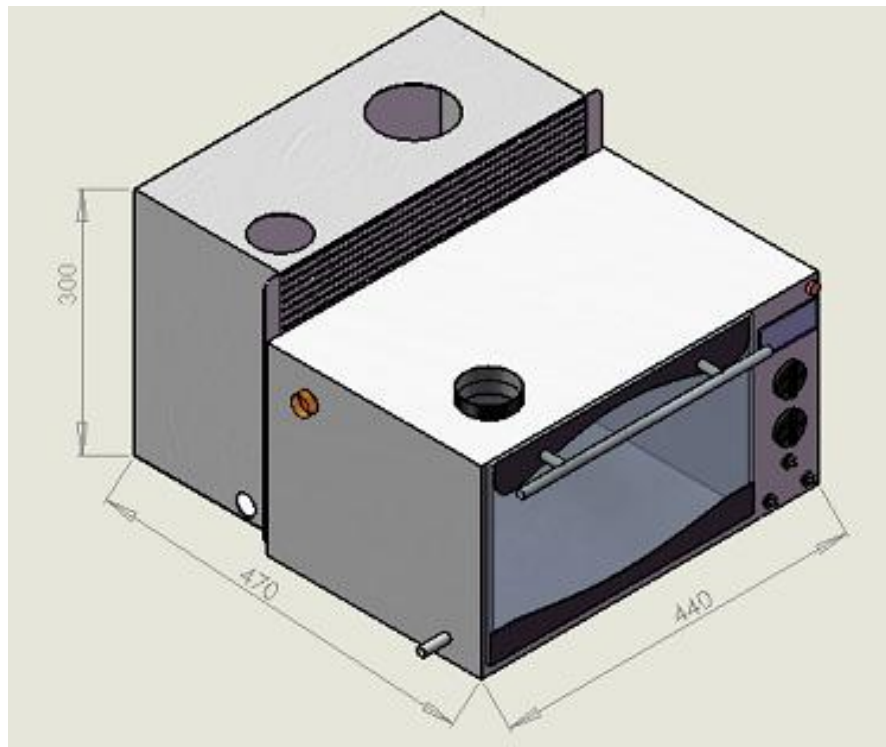


Figura 4.1: Esquema del Equipo a construir.

Lo cual permite una maniobrabilidad adecuada para facilitar el mantenimiento y traslado del equipo, cumpliendo con los requerimientos previamente establecidos.

#### **4.1.2 SELECCIÓN DEL AISLAMIENTO**

La selección del aislamiento térmico (lana de vidrio) se realizó tomando en cuenta su disponibilidad en el mercado, fácil instalación y alta durabilidad.

En el diseño del cubículo exterior se verá justificada la utilización de lana de vidrio como aislante térmico, la cual facilitara el manejo del equipo para evitar posibles accidentes de los operadores por el aumento de temperatura.

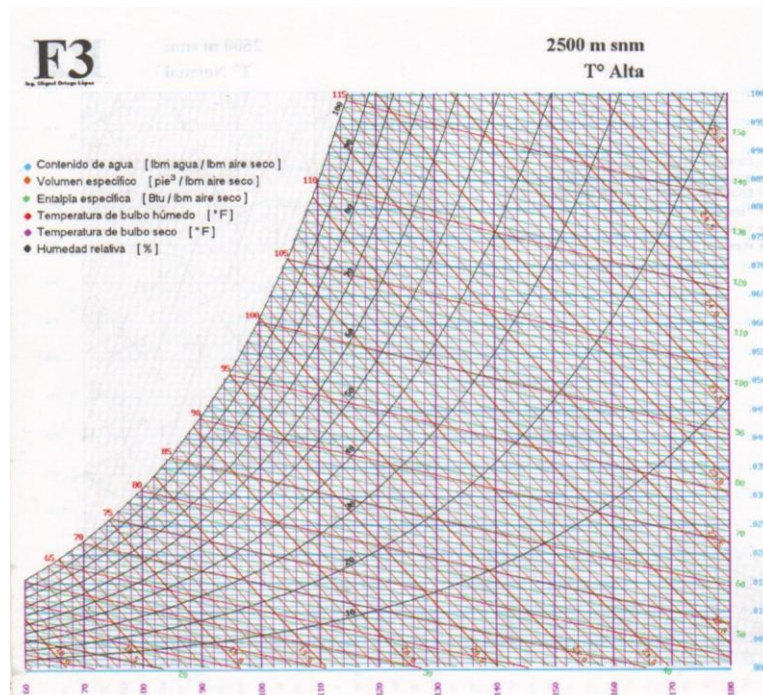
### 4.1.3 DISEÑO DEL CUBÍCULO INTERIOR

Basándose en las cartas Psicométricas a 2500 msnm del Ingeniero Miguel Ortega e Ingeniero Adrian Peña de la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL del Anexo C, se ha determinado la capacidad de la resistencia para poder calentar todo el aire al interior del cubículo.

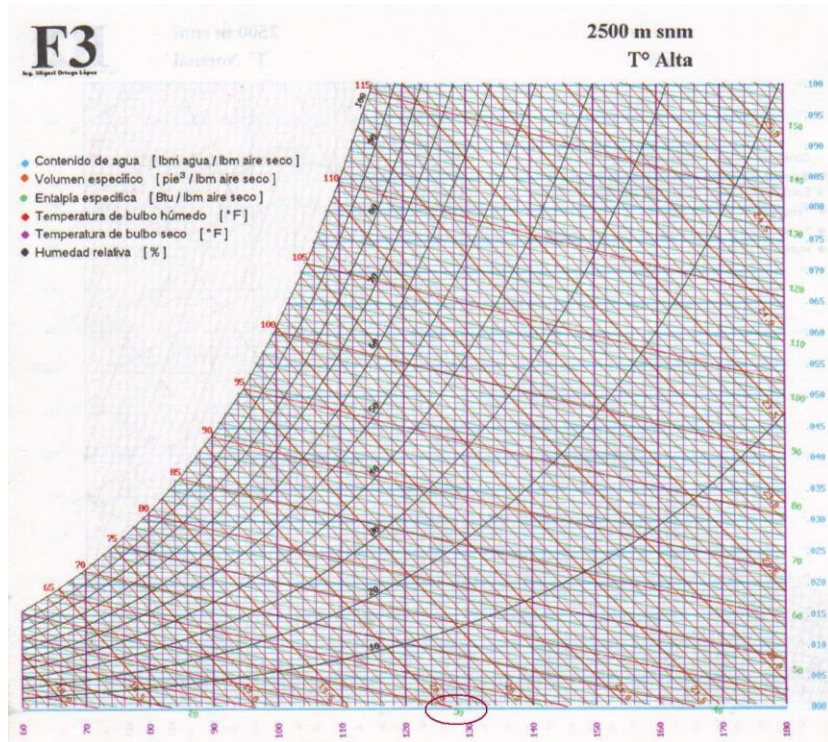
Datos iniciales en el ambiente cerrado

$T_{amb} := 76 \text{ } ^\circ\text{F}$

$H_{ramb} := 58 \text{ } \%$



De la carta psicometrica se obtiene la entalpia especifica inicial (ETespi) en el ambiente cerrado, ingresando con los datos iniciales a condiciones ambiente.



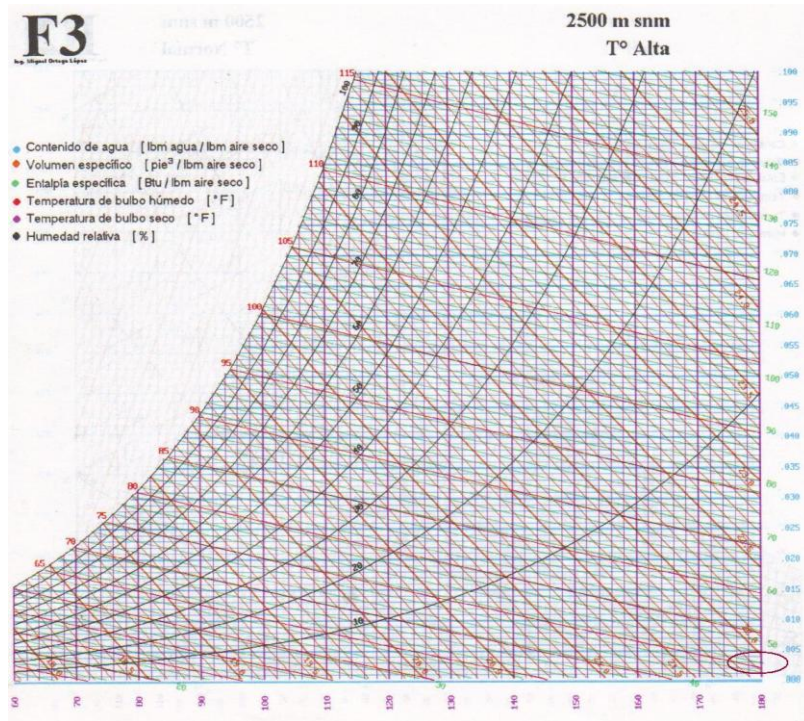
ETespi := 30 BTU  
 lbm·aireseco

El dato de temperatura final va de acuerdo a los requerimientos específicos del equipo el cual tiene un máximo de 60 °C (140 °F).

Tfinal := 140 °F

De la carta psicrométrica se obtiene la entalpía específica final (ETespf), ingresando con el dato de temperatura final en el ambiente cerrado.





$$ET_{\text{espf}} := 46 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm} \cdot \text{aireseco}}$$

Se calcula la variacion de entalpias

$$\Delta ET_{\text{esp}} := ET_{\text{espf}} - ET_{\text{espi}}$$

$$\Delta ET_{\text{esp}} = 16 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm} \cdot \text{aireseco}}$$

### VOLUMEN TOTAL DE AIRE A CALENTAR

Densidad del aire

$$\bar{\rho}_{\text{aire}} := 1.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Volumen cubiculo interior

$$L_c := 0.335 \quad \text{m} \quad A_c := 0.280$$

$$V_{cb} := L_c \cdot A_c \cdot H_c$$

$$V_{cb} = 0.02 \quad \text{m}^3$$

Volumen del ducto

$$D_{dc} := 0.0762 \quad \text{m} \quad L_{dc} := 0.550 \quad \text{m}$$

$$V_{dc} := \pi \cdot \left( \frac{D_{dc}}{2} \right)^2 \cdot L_{dc}$$

$$V_{dc} = 2.508 \times 10^{-3} \quad \text{m}^3$$

Volumen total de aire

$$V_{total} := V_{cb} + V_{dc}$$

$$V_{total} = 0.022 \quad \text{m}^3$$

Masa de aire

$$M_{aire} := \bar{\rho}_{aire} \cdot V_{total} \cdot 2.2$$

$$M_{aire} = 0.059 \quad \text{lbm}$$

### Calculo de Potencia de la resistencia

Tiempo requerido para calentar el aire

$$t := 2 \quad \text{min}$$

$$P := \frac{\Delta E_{Tesp} \cdot M_{aire}}{t} \cdot 17.58$$

$$P = 8.245 \quad \text{W}$$

#### 4.1.4 MODELO Y SIMULACIÓN

Para el diseño del cubículo interior se considero que exista un espacio físico adecuado para el ingreso de 2 sensores de Humedad y 2 sensores de Temperatura, los mismos que deberán situarse en posiciones similares para que al momento de tomar los datos respectivos de dichas variables no exista mayor diferencia.

El material utilizado es una plancha de aluminio de 1mm de espesor ya que este se mecaniza con facilidad debido a su baja dureza y es relativamente barato<sup>1</sup>

Para determinar las cargas térmicas a las que está expuesto el cubículo interior se utilizo un software de análisis de trabajo virtual SolidWorks que permite realizar simulaciones de cargas térmicas así como de deformación del elemento. Una vez realizada la simulación y de analizar los datos reflejados se procede a comparar con un valor referencial que nos permitirá concluir si el elemento trabajara sin ningún problema.

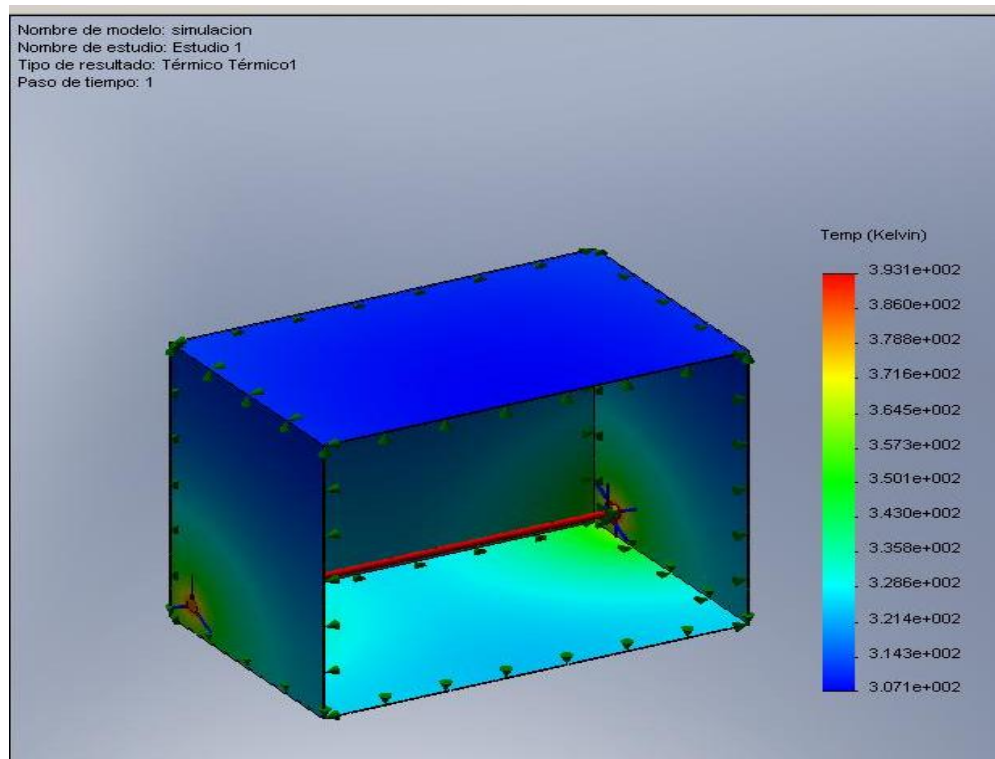


Figura 4.3 Simulación distribución de temperatura en el cubículo interior

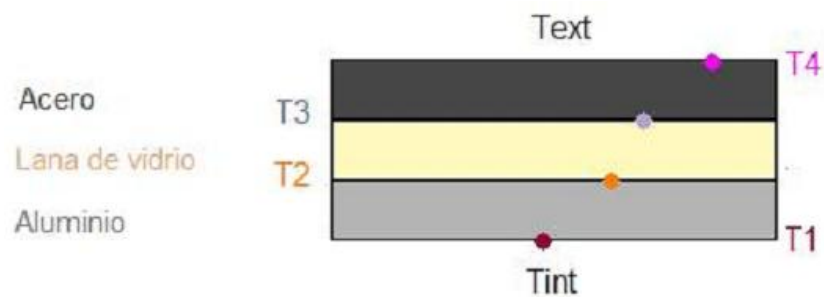
<sup>1</sup> <http://www.duraluminio.com/aluminio.html>

Como podemos observar existen lugares en los cuales se concentran las cargas térmicas, pero a pesar de esto son muy pequeños para causar alguna deformación permanente en la pieza o alguna deformación no permanente lo suficientemente grande para que impida funcionar normalmente el cubículo interior.

#### 4.1.5 DISEÑO DEL CUBICULO EXTERIOR

Basándose en las tablas el LIBRO TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA de Yunus A. Cengel del Anexo D, se ha determinado las pérdidas de calor en el cubículo exterior.

#### CALCULO DE LA TEMPERATURA EN EL LA PARED SUPERIOR DEL CUBICULO EXTERIOR



#### Datos Iniciales

|                       |  |  |
|-----------------------|--|--|
| $T_{interior} := 140$ | $^{\circ}F$                              | Temperatura en el interior del horno       |
| $T_{exterior} := 68$  | $^{\circ}F$                              | Temperatura ambiente                       |
| $L_{lana} := 0.0833$  | Ft                                       | Espesor de la plancha de lana de vidrio    |
| $K_{lana} := 0.023$   | $\frac{BTU}{h \cdot Ft \cdot ^{\circ}F}$ | Conductividad termica de la lana de vidrio |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $L_{alum} := 0.00328 \text{ Ft}$  | Espesor de la plancha de aluminio  |
| $K_{alum} := 120.93 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}\cdot^{\circ}\text{F}}$ | Conductividad termica del aluminio |
| $L_{acero} := 0.00328 \text{ Ft}$   | Espesor de la plancha de acero     |
| $K_{acero} := 9.01 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}\cdot^{\circ}\text{F}}$  | Conductividad termica del acero    |

### CALCULO DEL AREA TRANSVERSAL

#### AREA TRANSVERSAL DEL ALUMINIO

$$a_{alum} := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$A_{alum} := 1.4432 \cdot a_{alum}$$

$$A_{alum} = 1.231 \text{ Ft}^2$$

#### AREA TRANSVERSAL DE LA LANA DE VIDRIO

$$a_{lana} := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$A_{lana} := 1.4432 \cdot a_{lana}$$

$$A_{lana} = 1.231 \text{ Ft}^2$$

#### AREA TRANSVERSAL DEL ACERO

$$a_{acero} := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$A_{acero} := 1.4432 \cdot a_{acero}$$

$$A_{acero} = 1.231 \text{ Ft}^2$$

## CALCULO DE LA CONDUCCION

### CONDUCCION DEL ALUMINIO

$$R1 := \frac{Lalum}{Kalum \cdot Atalum}$$

$$R1 = 2.204 \times 10^{-5} \quad \begin{array}{l} \text{h} \cdot ^\circ\text{F} \\ \text{BTU} \end{array}$$

### CONDUCCION LANA DE VIDRIO

$$R2 := \frac{Llana}{Klana \cdot Atlana}$$

$$R2 = 2.943 \quad \begin{array}{l} \text{h} \cdot ^\circ\text{F} \\ \text{BTU} \end{array}$$

### CONDUCCION ACERO

$$R3 := \frac{Lacero}{Kacero \cdot Atacero}$$

$$R3 = 2.958 \times 10^{-4} \quad \begin{array}{l} \text{h} \cdot ^\circ\text{F} \\ \text{BTU} \end{array}$$

## CALCULO DE LA CONVECCION

### CONVECCION FORZADA

Propiedades del aire a 40 °C

$$k_{air} := 0.02662 \frac{W}{m \cdot K}$$

Conductividad termica del aire

$$\nu_{air} := 1.702 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

Viscosidad cinematica aire

$$Pr := 0.7255$$

Numero de Prant

$$A_c := 0.260 \cdot 0.210$$

Area transversal

$$P := 2 \cdot 0.260 + 2 \cdot 0.210$$

Perimetro

$$Q_{caudal} := 0.038$$

Capacidad del ventilador

$$V_{prom} := \frac{Q_{caudal}}{A_c}$$

Velocidad promedio del aire

$$V_{prom} = 0.696 \frac{m}{s}$$

$$Re_i := \frac{V_{prom} \cdot 0.33}{\nu_{air}}$$

Numero de Reynolds

$$Re_i = 1.349 \times 10^4$$

Flujo laminar

$$Nu_1 := 0.664 \cdot Re_i^{0.5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

Numero de Nusselt para flujo laminar con  $Re_i$  menor a  $5 \times 10^5$

$$Nu_1 = 69.309$$

$$h_1 := \frac{k_{air} \cdot Nu_1}{0.335} \cdot 0.17612$$

Coefficiente de conveccion forzada

$$h_1 = 0.97 \frac{BTU}{h \cdot Ft^2 \cdot ^\circ F}$$

$$R_{c1} := \frac{1}{h1 \cdot A_{\text{talamo}}}$$

$$R_{c1} = 0.838 \quad \begin{array}{l} \text{h} \cdot \text{°F} \\ \text{BTU} \end{array}$$

## CONVECCION NATURAL

$$T_i := 293 \text{ K} \quad \text{Temperatura en el interior}$$

$$T_s := 333 \text{ K} \quad \text{Temperatura en la superficie}$$

$$L_{\text{techo}} := 0.335 \text{ m} \quad \text{Largo del techo}$$

$$A_{\text{techo}} := 0.260 \text{ m} \quad \text{Ancho del techo}$$

$$\beta := \frac{1}{\left( \frac{T_i + T_s}{2} \right)} \quad \text{Coeficiente de expansión volumetrica}$$

$$\beta = 3.195 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} 1 \\ \text{K} \end{array}$$

$$A_s := L_{\text{techo}} \cdot A_{\text{techo}} \quad \text{Area superficial}$$

$$p := 2 \cdot L_{\text{techo}} + 2 \cdot A_{\text{techo}} \quad \text{Perimetro}$$

$$L_c := \frac{A_s}{p} \quad \text{Longitud carateristica placa horizontal}$$

$$L_c = 0.073 \text{ m}$$

## Propiedades del Aire a 40°C

$$\nu := 1.702 \cdot 10^{-5} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinematica aire}$$

$$Pr_a := 0.7255 \quad \text{Numero de Prant}$$

$$k_{\text{ai}} := 0.02662 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad termica del aire}$$



$$Ra_l := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_i) \cdot L_c^3}{\nu^2} \cdot Pr_a \quad \text{Numero de Rayleigh}$$

$$Ra_l = 1.23 \times 10^6$$

$$Nu_2 := 0.54 \cdot Ra_l^{\frac{1}{4}} \quad \text{Numero de Nusselt}$$

$$h_2 := \frac{Nu_2 \cdot k_{air}}{L_c} \cdot 0.17612 \quad \text{Coeficiente de conveccion natural}$$

$$h_2 = 1.152 \quad \frac{BTU}{h \cdot Ft^2 \cdot ^\circ F}$$

$$R_{c2} := \frac{1}{h_2 \cdot A_{acero}}$$

$$R_{c2} = 0.705 \quad \frac{h \cdot ^\circ F}{BTU}$$

### CALCULO DEL CALOR

$$Q := \frac{T_{interior} - T_{exterior}}{R_{c1} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{c2}}$$

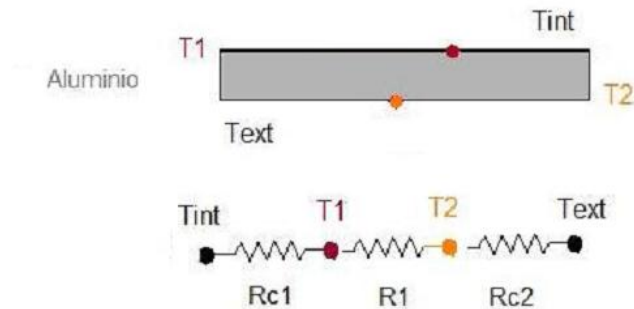
$$Q = 16.05 \quad \frac{BTU}{h}$$

### CALCULO DE LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO

$$T_4 := T_{interior} - Q \cdot (R_{c1} + R_1 + R_2 + R_3)$$

$$T_4 = 79.321 \quad ^\circ F$$

## CALCULO DE LA TEMPERATURA EN EL LA PARED INFERIOR DEL CUBICULO INTERIOR



### Datos Iniciales

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| $T_{interior} := 140 \text{ } ^\circ\text{F}$                                     | Temperatura en el interior del horno |
| $T_{exterior} := 68 \text{ } ^\circ\text{F}$                                      | Temperatura ambiente                 |
| $L_{alum} := 0.00328 \text{ Ft}$  | Espesor de la plancha de aluminio    |
| $K_{alum} := 120.93 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}\cdot^\circ\text{F}}$ | Conductividad termica del aluminio   |

### CALCULO DEL AREA TRANSVERSAL

#### AREA TRANSVERSAL DEL ALUMINIO

$$a_{alum} := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$A_{alum} := 1.4432 \cdot a_{alum}$$

$$A_{alum} = 1.231 \text{ Ft}^2$$

### CALCULO DE LA CONDUCCION

#### CONDUCCION DEL ALUMINIO

$$R1 := \frac{L_{alum}}{K_{alum} \cdot A_{alum}}$$

$$R1 = 2.204 \times 10^{-5} \begin{matrix} \text{h}\cdot^\circ\text{F} \\ \text{BTU} \end{matrix}$$

## CALCULO DE LA CONVECCION

### CONVECCION FORZADA

Propiedades del aire a 40 °C

$$k_{\text{air}} := 0.02662 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \quad \text{Conductividad termica del aire}$$

$$u_{\text{air}} := 1.702 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinematica aire}$$

$$Pr := 0.7255 \quad \text{Numero de Prant}$$

$$Ac := 0.260 \cdot 0.210 \quad \text{Area transversal}$$

$$P := 2 \cdot 0.260 + 2 \cdot 0.210 \quad \text{Perimetro}$$

$$\text{Caudal} := 0.038 \quad \text{Capacidad del ventilador}$$

$$V_{\text{prom}} := \frac{\text{Caudal}}{Ac} \quad \text{Velocidad promedio del aire}$$

$$V_{\text{prom}} = 0.696 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_i := \frac{V_{\text{prom}} \cdot 0.33}{u_{\text{air}}} \quad \text{Numero de Reynolds}$$

$$Re_i = 1.349 \times 10^4 \quad \text{Flujo laminar}$$

$$Nu_1 := 0.664 \cdot Re_i^{0.5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad \text{Numero de Nusselt para flujo laminar con } Re_i \text{ menor a } 5 \times 10^5$$

$$Nu_1 = 69.309$$

$$h_1 := \frac{k_{\text{air}} \cdot Nu_1}{0.335} \cdot 0.17612 \quad \text{Coeficiente de conveccion forzada}$$

$$h_1 = 0.97 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}^2\cdot\text{°F}}$$

$$R_{cl} := \frac{1}{h_1 \cdot A_{alum}}$$

$$R_{cl} = 0.838 \quad \begin{array}{l} h \cdot ^\circ F \\ BTU \end{array}$$

## CONVECCION NATURAL

$$T_i := 293 \text{ K} \quad \text{Temperatura en el interior}$$

$$T_s := 333 \text{ K} \quad \text{Temperatura en la superficie}$$

$$g := 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Gravedad}$$

$$L_{techo} := 0.335 \text{ m} \quad \text{Largo del techo}$$

$$A_{techo} := 0.260 \text{ m} \quad \text{Ancho del techo}$$

$$\beta := \frac{1}{\left( \frac{T_i + T_s}{2} \right)} \quad \text{Coeficiente de expansión volumetrica}$$

$$\beta = 3.195 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} 1 \\ K \end{array}$$

$$A_s := L_{techo} \cdot A_{techo} \quad \text{Area superficial}$$

$$p := 2 \cdot L_{techo} + 2 \cdot A_{techo} \quad \text{Perimetro}$$

$$L_c := \frac{A_s}{p} \quad \text{Longitud carateristica placa horizontal}$$

$$L_c = 0.073 \text{ m}$$

Propiedades del Aire a 40°C

$$\nu := 1.702 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Viscosidad cinematica aire

$$\text{Pra} := 0.7255$$

Numero de Prant

$$k_{\text{ai}} := 0.02662 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Conductividad termica del aire

$$\text{Ral} := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_i) \cdot L_c^3}{\nu^2} \cdot \text{Pra}$$

Numero de Rayleigh

$$\text{Ral} = 1.23 \times 10^6$$

$$\text{Nu}_2 := 0.27 \cdot \text{Ral}^{\frac{1}{4}}$$

Numero de Nusselt

$$h_2 := \frac{\text{Nu}_2 \cdot k_{\text{ai}}}{L_c} \cdot 0.17612$$

Coefficiente de conveccion natural

$$h_2 = 0.576 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{Ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$\text{Rc}_2 := \frac{1}{h_2 \cdot A_{\text{alum}}}$$

$$\text{Rc}_2 = 1.411 \frac{\text{h} \cdot ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

### CALCULO DEL CALOR

$$Q := \frac{T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}}}{\text{Rc}_1 + \text{R}_1 + \text{Rc}_2}$$

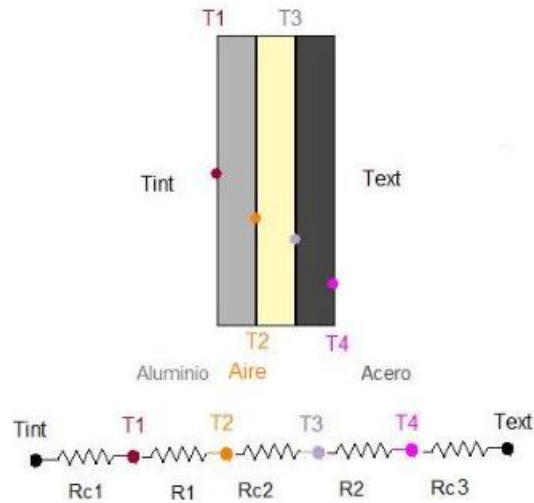
$$Q = 32.022 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

### CALCULO DE LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO

$$T_4 := T_{\text{interior}} - Q \cdot (\text{Rc}_1 + \text{R}_1)$$

$$T_4 = 113.175 \text{ } ^\circ\text{F}$$

## CALCULO DE LA TEMPERATURA EN EL LA PARED LATERAL DERECHA DEL CUBICULO EXTERIOR



### Datos Iniciales

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| $T_{interior} := 140 \text{ } ^\circ\text{F}$                                     | Temperatura en el interior del horno |
| $T_{exterior} := 68 \text{ } ^\circ\text{F}$                                      | Temperatura ambiente                 |
| $L_{airei} := 0.2624 \text{ Ft}$  | Espesor del espacio de aire          |
| $L_{alum} := 0.00328 \text{ Ft}$  | Espesor de la plancha de aluminio    |
| $K_{alum} := 120.93 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}\cdot^\circ\text{F}}$ | Conductividad termica del aluminio   |
| $L_{acero} := 0.00328 \text{ Ft}$   | Espesor de la plancha de acero       |
| $K_{acero} := 9.01 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}\cdot^\circ\text{F}}$  | Conductividad termica del acero      |

## CALCULO DEL AREA TRANSVERSAL

### AREA TRANSVERSAL DEL ALUMINIO

$$aalum := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$Aalum := 0.7872 \cdot aalum$$

$$Aalum = 0.671 \text{ Ft}^2$$

### AREA TRANSVERSAL DEL ESPACIO DE AIRE

$$aairei := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$Aairei := 0.7872 \cdot aairei$$

$$Aairei = 0.671 \text{ Ft}^2$$

### AREA TRANSVERSAL DEL ACERO

$$aacero := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$Aacero := 0.7872 \cdot aacero$$

$$Aacero = 0.671 \text{ Ft}^2$$

## CALCULO DE LA CONDUCCION

### CONDUCCION DEL ALUMINIO

$$R1 := \frac{Lalum}{Kalum \cdot Aalum}$$

$$R1 = 4.04 \times 10^{-5} \text{ h} \cdot \text{°F} \\ \text{BTU}$$

## CONDUCCION ACERO

$$R2 := \frac{L_{\text{acero}}}{K_{\text{acero}} \cdot A_{\text{acero}}}$$

$$R2 = 5.423 \times 10^{-4} \quad \begin{array}{l} \text{h} \cdot \text{°F} \\ \text{BTU} \end{array}$$

## CALCULO DE LA CONVECCION

### CONVECCION FORZADA

Propiedades del aire a 40 °C

$$k_{\text{air}} := 0.02662 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad termica del aire}$$

$$\nu_{\text{air}} := 1.702 \cdot 10^{-5} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinematica aire}$$

$$Pr := 0.7255 \quad \text{Numero de Prant}$$

$$A_c := 0.260 \cdot 0.210 \quad \text{Area transversal}$$

$$P := 2 \cdot 0.260 + 2 \cdot 0.210 \quad \text{Perimetro}$$

$$Q := 0.038 \quad \text{Capacidad del ventilador}$$

$$V_{\text{prom}} := \frac{Q}{A_c} \quad \text{Velocidad promedio del aire}$$

$$V_{\text{prom}} = 0.696 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$Re_i := \frac{V_{prom} \cdot 0.33}{u_{air}}$$

Numero de Reynolds

$$Re_i = 1.349 \times 10^4$$

Flujo laminar

$$Nu_1 := 0.664 \cdot Re_i^{0.5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

Numero de Nusselt para flujo laminar con  $Re_i$  menor a  $5 \times 10^5$

$$Nu_1 = 69.309$$

$$h_1 := \frac{k_{air} \cdot Nu_1}{0.335} \cdot 0.17612$$

Coefficiente de conveccion forzada

$$h_1 = 0.97 \quad \frac{BTU}{h \cdot Ft^2 \cdot ^\circ F}$$

$$Rc_1 := \frac{1}{h_1 \cdot A_{alum}}$$

$$Rc_1 = 1.536 \quad \frac{h \cdot ^\circ F}{BTU}$$

#### CONVECCION EN LA PARED DE AIRE

$$T_{interior} := 333 \quad K$$

$$T_{exterior} := 293 \quad K$$

$$L_{pared} := 0.08 \quad m$$

$$H_{pared} := 0.240 \quad m$$

$$g := 9.8 \quad \frac{m}{s^2}$$

Propiedades del aire a 40 °C

$$k_{\text{air}} := 0.02662 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Conductividad termica del aire

$$\nu_{\text{air}} := 1.702 \cdot 10^{-5} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Viscosidad cinematica aire

$$Pr := 0.7255$$

Numero de Prant

$$\beta := \frac{1}{\left( \frac{T1_{\text{interior}} + T1_{\text{exterior}}}{2} \right)}$$

Coefficiente de expansion volumetrica

$$\beta = 3.195 \times 10^{-3} \quad \frac{1}{\text{K}}$$

$$Ra1 := \frac{g \cdot \beta \cdot (T1_{\text{interior}} - T1_{\text{exterior}}) \cdot L_{\text{pared}}^3}{\nu_{\text{air}}^2}$$

Numero de Rayleigh

$$Ra1 = 2.214 \times 10^6$$

$$b := \frac{H_{\text{pared}}}{L_{\text{pared}}}$$

Configuracion geometrica

$$b = 3$$

$$Nu2 := 0.22 \cdot \left( \frac{Pr}{0.2 + Pr} \cdot Ra1 \right)^{0.28} \cdot b^{\left( \frac{-1}{4} \right)}$$

Numero de Nusselt

$$Nu2 = 9.336$$

$$h2 := \frac{k_{\text{air}} \cdot Nu2}{0.335} \cdot 0.17612$$

$$h2 = 0.131 \quad \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{Ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$R_{c2} := \frac{1}{h_2 \cdot A_{\text{Alum}}}$$

$$R_{c2} = 11.401 \quad \begin{array}{l} \text{h} \cdot ^\circ\text{F} \\ \text{BTU} \end{array}$$

## CONVECCION NATURAL

$$T_i := 293 \text{ K}$$

Temperatura en el interior

$$T_s := 333 \text{ K}$$

Temperatura en la superficie

$$g := 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Gravedad

$$L_{\text{pared}} := 0.240 \text{ m}$$

Largo del pared

$$\beta := \frac{1}{\left( \frac{T_i + T_s}{2} \right)}$$

Coefficiente de expansión volumetrica

$$\beta = 3.195 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} 1 \\ \text{K} \end{array}$$

$$L_c := L_{\text{pared}}$$

Longitud carateristica placa horizontal

$$L_c = 0.24 \text{ m}$$

Propiedades del Aire a 40°C

$$\nu := 1.702 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Viscosidad cinematica aire

$$Pr_a := 0.7255$$

Numero de Prant

$$k_{\text{ai}} := 0.02662 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Conductividad termica del aire

$$Ra_l := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_i) \cdot L_c^3}{\nu^2} \cdot Pr_a$$

Numero de Rayleigh

$$Ra_l = 4.336 \times 10^7$$

$$Nu_3 := 0.59 \cdot Ra_l^{\frac{1}{4}}$$

Numero de Nusselt

$$h_3 := \frac{Nu_3 \cdot k_{air}}{L_c} \cdot 0.17612$$

Coefficiente de conveccion natural

$$h_3 = 0.935 \quad \begin{matrix} \text{BTU} \\ \text{h} \cdot \text{Ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{matrix}$$

$$Rc_3 := \frac{1}{h_3 \cdot A_{atacero}}$$

$$Rc_3 = 1.593 \quad \begin{matrix} \text{h} \cdot ^\circ\text{F} \\ \text{BTU} \end{matrix}$$

### CALCULO DEL CALOR

$$Q := \frac{T_{interior} - T_{exterior}}{Rc_1 + Rc_2 + R_1 + R_2 + Rc_3}$$

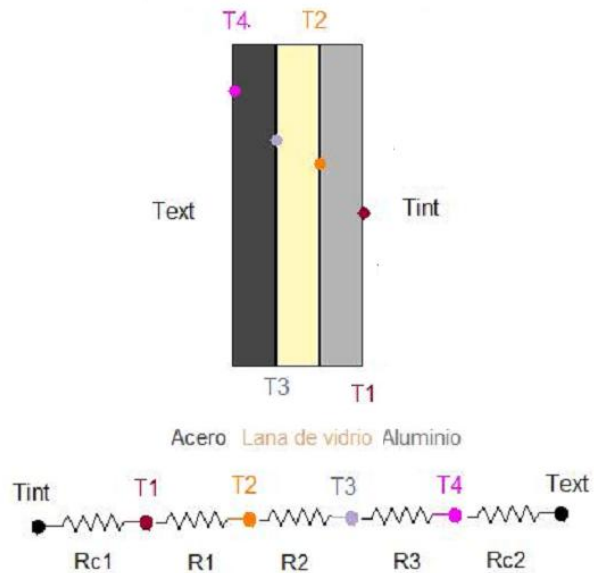
$$Q = 4.955 \quad \begin{matrix} \text{BTU} \\ \text{h} \end{matrix}$$

### CALCULO DE LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO

$$T_4 := T_{interior} - Q \cdot (Rc_1 + R_1 + Rc_2 + R_2)$$

$$T_4 = 75.892 \quad ^\circ\text{F}$$

## CALCULO DE LA TEMPERATURA EN EL LA PARED LATERAL IZQUIERDA DEL CUBICULO EXTERIOR



### Datos Iniciales

|   |  |
|---|--|
| $T_{interior} := 140 \text{ } ^\circ\text{F}$                                     | Temperatura en el interior del horno       |
| $T_{exterior} := 68 \text{ } ^\circ\text{F}$                                      | Temperatura ambiente                       |
| $L_{lana} := 0.0833 \text{ Ft}$   | Espesor de la plancha de lana de vidrio    |
| $K_{lana} := 0.023 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}\cdot^\circ\text{F}}$  | Conductividad termica de la lana de vidrio |
| $L_{alum} := 0.00328 \text{ Ft}$  | Espesor de la plancha de aluminio          |
| $K_{alum} := 120.93 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}\cdot^\circ\text{F}}$ | Conductividad termica del aluminio         |
| $L_{acero} := 0.00328 \text{ Ft}$   | Espesor de la plancha de acero             |
| $K_{acero} := 9.01 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}\cdot^\circ\text{F}}$  | Conductividad termica del acero            |

## CALCULO DEL AREA TRANSVERSAL

### AREA TRANSVERSAL DEL ALUMINIO

$$aalum := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$Aalum := 0.7872 \cdot aalum$$

$$Aalum = 0.671 \text{ Ft}^2$$

### AREA TRANSVERSAL DE LA LANA DE VIDRIO

$$alana := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$Aalana := 0.7872 \cdot alana$$

$$Aalana = 0.671 \text{ Ft}^2$$

### AREA TRANSVERSAL DEL ACERO

$$aacero := 0.8528 \text{ Ft}$$

$$Aacero := 0.7872 \cdot aacero$$

$$Aacero = 0.671 \text{ Ft}^2$$

## CALCULO DE LA CONDUCCION

### CONDUCCION DEL ALUMINIO

$$R1 := \frac{Lalum}{Kalum \cdot Aalum}$$

$$R1 = 4.04 \times 10^{-5} \text{ h} \cdot \text{°F} \\ \text{BTU}$$

### CONDUCCION LANA DE VIDRIO

$$R2 := \frac{Llana}{Klana \cdot Aalana}$$

$$R2 = 5.395 \text{ h} \cdot \text{°F} \\ \text{BTU}$$

## CONDUCCION ACERO

$$R3 := \frac{L_{acero}}{K_{acero} \cdot A_{acero}}$$

$$R3 = 5.423 \times 10^{-4} \quad \begin{array}{l} \text{h} \cdot \text{°F} \\ \text{BTU} \end{array}$$

## CALCULO DE LA CONVECCION

### CONVECCION FORZADA

Propiedades del aire a 40 °C

$$k_{air} := 0.02662 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad termica del aire}$$

$$\nu_{air} := 1.702 \cdot 10^{-5} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinematica aire}$$

$$Pr := 0.7255 \quad \text{Numero de Prant}$$

$$A_c := 0.260 \cdot 0.210 \quad \text{Area transversal}$$

$$P := 2 \cdot 0.260 + 2 \cdot 0.210 \quad \text{Perimetro}$$

$$Q := 0.038 \quad \text{Capacidad del ventilador}$$

$$V_{prom} := \frac{Q}{A_c} \quad \text{Velocidad promedio del aire}$$

$$V_{prom} = 0.696 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_i := \frac{V_{prom} \cdot 0.33}{\nu_{air}} \quad \text{Numero de Reynolds}$$

$$Re_i = 1.349 \times 10^4 \quad \text{Flujo laminar}$$

$$\text{Nu1} := 0.664 \cdot \text{Rei}^{0.5} \cdot \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

Numero de Nusselt para flujo laminar con Rei menor a  $5 \times 10^5$

$$\text{Nu1} = 69.309$$

$$h1 := \frac{k_{\text{air}} \cdot \text{Nu1}}{0.335} \cdot 0.17612$$

Coefficiente de conveccion forzada

$$h1 = 0.97 \quad \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{Ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$\text{Rc1} := \frac{1}{h1 \cdot \text{A}_{\text{alum}}}$$

$$\text{Rc1} = 1.536 \quad \frac{\text{h} \cdot ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

#### CONVECCION NATURAL

$$T_i := 293 \text{ K}$$

Temperatura en el interior

$$T_s := 333 \text{ K}$$

Temperatura en la superficie

$$g := 9.8 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Gravedad

$$L_{\text{pared}} := 0.240 \text{ m}$$

Largo del pared

$$\beta := \frac{1}{\left( \frac{T_i + T_s}{2} \right)}$$

Coefficiente de expansión volumetrica

$$\beta = 3.195 \times 10^{-3} \quad \frac{1}{\text{K}}$$

$$L_c := L_{\text{pared}}$$

Longitud carateristica placa horizontal

$$L_c = 0.24 \text{ m}$$



Propiedades del Aire a 40°C

$$u := 1.702 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinemática aire}$$

$$\text{Pra} := 0.7255 \quad \text{Número de Prant}$$

$$\text{kai} := 0.02662 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad térmica del aire}$$

$$\text{Ral} := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_i) \cdot L_c^3}{u^2} \cdot \text{Pra} \quad \text{Número de Rayleigh}$$

$$\text{Ral} = 4.336 \times 10^7$$

$$\text{Nu2} := 0.59 \cdot \text{Ral}^{\frac{1}{4}} \quad \text{Número de Nusselt}$$

$$h_2 := \frac{\text{Nu2} \cdot \text{kai}}{L_c} \cdot 0.17612 \quad \text{Coeficiente de convección natural}$$

$$h_2 = 0.935 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$\text{Rc2} := \frac{1}{h_2 \cdot A_{\text{atacero}}}$$

$$\text{Rc2} = 1.593 \frac{\text{h} \cdot ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

### CALCULO DEL CALOR

$$Q := \frac{T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}}}{\text{Rc1} + \text{R1} + \text{R2} + \text{R3} + \text{Rc2}}$$

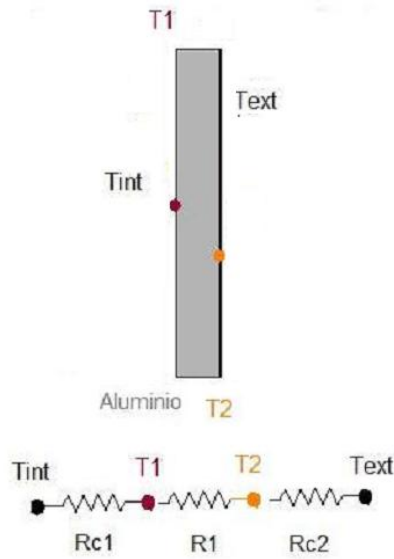
$$Q = 8.447 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

### CALCULO DE LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO

$$T_4 := T_{\text{interior}} - Q \cdot (\text{Rc1} + \text{R1} + \text{R2} + \text{R3})$$

$$T_4 = 81.453 \quad ^\circ\text{F}$$

## CALCULO DE LA TEMPERATURA EN EL LA PARED POSTERIOR DEL CUBICULO INTERIOR



### Datos Iniciales

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| $T_{interior} := 140 \text{ } ^\circ\text{F}$                                     | Temperatura en el interior del horno |
| $T_{exterior} := 68 \text{ } ^\circ\text{F}$                                      | Temperatura ambiente                 |
| $L_{alum} := 0.00328 \text{ Ft}$  | Espesor de la plancha de aluminio    |
| $K_{alum} := 120.93 \frac{\text{BTU}}{\text{h}\cdot\text{Ft}\cdot^\circ\text{F}}$ | Conductividad termica del aluminio   |

### CALCULO DEL AREA TRANSVERSAL

#### AREA TRANSVERSAL DEL ALUMINIO

$$a_{alum} := 1.0988 \text{ Ft}$$

$$A_{alum} := 0.7872 \cdot a_{alum}$$

$$A_{alum} = 0.865 \text{ Ft}^2$$

## CALCULO DE LA CONDUCCION

### CONDUCCION DEL ALUMINIO

$$R1 := \frac{L_{alum}}{K_{alum} \cdot A_{alum}}$$

$$R1 = 3.136 \times 10^{-5} \quad \begin{array}{l} \text{h} \cdot \text{°F} \\ \text{BTU} \end{array}$$

## CALCULO DE LA CONVECCION

### CONVECCION FORZADA

Propiedades del aire a 40 °C

$$k_{air} := 0.02662 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad termica del aire}$$

$$\nu_{air} := 1.702 \cdot 10^{-5} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinematica aire}$$

$$Pr := 0.7255 \quad \text{Numero de Prant}$$

$$A_c := 0.260 \cdot 0.210 \quad \text{Area transversal}$$

$$P := 2 \cdot 0.260 + 2 \cdot 0.210 \quad \text{Perimetro}$$

$$\text{Caudal} := 0.038 \quad \text{Capacidad del ventilador}$$

$$V_{prom} := \frac{\text{Caudal}}{A_c} \quad \text{Velocidad promedio del aire}$$

$$V_{prom} = 0.696 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_i := \frac{V_{prom} \cdot 0.33}{u_{air}}$$

Numero de Reynolds

$$Re_i = 1.349 \times 10^4$$

Flujo laminar

$$Nu_1 := 0.664 \cdot Re_i^{0.5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

Numero de Nusselt para flujo laminar con  $Re_i$  menor a  $5 \times 10^5$

$$Nu_1 = 69.309$$

$$h_1 := \frac{k_{air} \cdot Nu_1}{0.335} \cdot 0.17612$$

Coefficiente de conveccion forzada

$$h_1 = 0.97 \frac{BTU}{h \cdot Ft^2 \cdot ^\circ F}$$

$$R_{c1} := \frac{1}{h_1 \cdot A_{alum}}$$

$$R_{c1} = 1.192 \frac{h \cdot ^\circ F}{BTU}$$

## CONVECCION NATURAL

$$T_i := 293 \text{ K}$$

Temperatura en el interior

$$T_s := 333 \text{ K}$$

Temperatura en la superficie

$$g := 9.8 \frac{m}{s^2}$$

Gravedad

$$L_{pared} := 0.240 \text{ m}$$

Largo del pared

$$\beta := \frac{1}{\left( \frac{T_i + T_s}{2} \right)}$$

Coefficiente de expansión volumetrica

$$\beta = 3.195 \times 10^{-3} \frac{1}{K}$$

$$\beta = 3.195 \times 10^{-3} \quad \frac{1}{\text{K}}$$

$$L_c := L_{\text{pared}}$$

Longitud característica placa horizontal

$$L_c = 0.24 \quad \text{m}$$

Propiedades del Aire a 40°C

$$\nu := 1.702 \cdot 10^{-5} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Viscosidad cinemática aire

$$Pr_a := 0.7255$$

Número de Prant

$$k_{ai} := 0.02662 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Conductividad térmica del aire

$$Ra_l := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_i) \cdot L_c^3}{\nu^2} \cdot Pr_a$$

Número de Rayleigh

$$Ra_l = 4.336 \times 10^7$$

$$Nu_2 := 0.59 \cdot Ra_l^{\frac{1}{4}}$$

Número de Nusselt

$$h_2 := \frac{Nu_2 \cdot k_{ai}}{L_c} \cdot 0.17612$$

Coefficiente de convección natural

$$h_2 = 0.935 \quad \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$Rc_2 := \frac{1}{h_2 \cdot A_{\text{alum}}}$$

$$Rc_2 = 1.236 \quad \frac{\text{h} \cdot ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

## CALCULO DEL CALOR

$$Q := \frac{T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}}}{R_{c1} + R1 + R_{c2}}$$

$$Q = 29.653 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

## CALCULO DE LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO

$$T4 := T_{\text{interior}} - Q \cdot (R_{c1} + R1)$$

$$T4 = 104.655 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Una vez realizados los cálculos respectivos, se tiene la certeza que la lana de vidrio de 1 pulgada de espesor utilizada como aislante térmico es el adecuado, ya que esta minimiza la transferencia de calor al cubículo exterior como se puede verificar con el promedio de las temperaturas calculadas en la superficie de contacto del cubículo exterior que es de 26 ° C (70 °F) la misma que permite al estudiante manipular al equipo sin correr ningún riesgo de quemadura.

### 4.1.6 MODELO

Para el modelo del cubículo exterior se tomo en cuenta los orificios destinados para la instalación de los sensores ya dimensionados en el cubículo interior además de un orificio para el ducto de recirculación de aire.

El material utilizado es de una plancha de acero inoxidable de 1 mm de espesor, ya que le da al equipo un aspecto brillante y lo hacía altamente resistente a la suciedad y a la oxidación.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> <http://usuarios.fceia.unr.edu.ar/~adruker/Sem%206-Aceros%20inoxidables%20Berlanga.pdf>

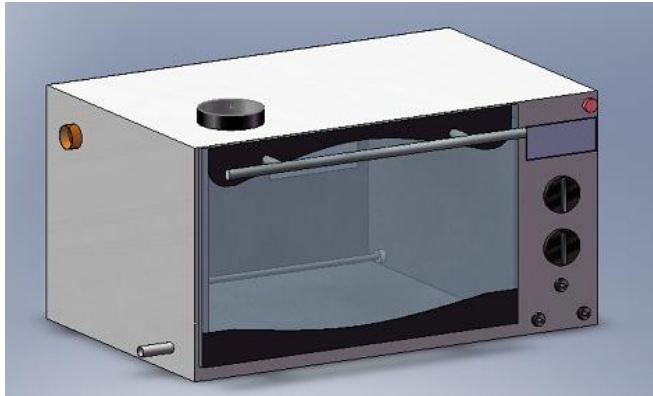


Figura 4.4 Modelo cubículo exterior a construir

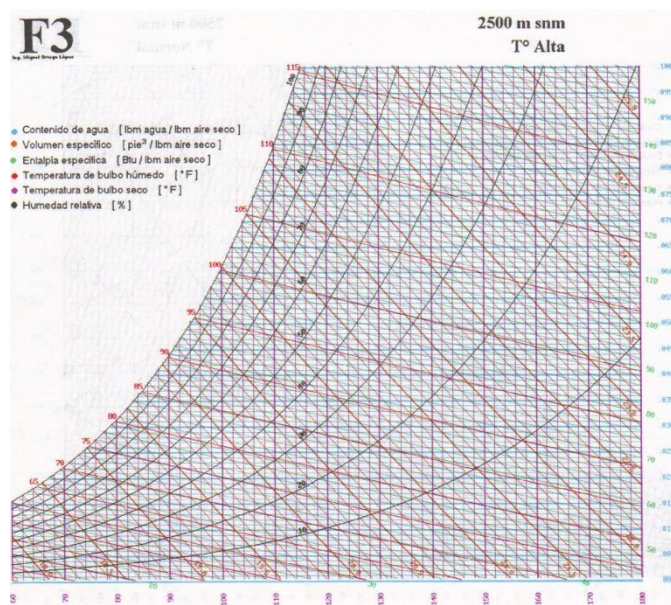
#### 4.1.7 DISEÑO DEL VAPORIZADOR

Basándose en las cartas Psicométricas a 2500 msnm del Ingeniero Miguel Ortega e Ingeniero Adrian Peña de la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL del Anexo C, se ha determinado el volumen mínimo de agua que se necesita para saturar el aire en el interior del equipo llegando a obtener una humedad relativa de 95% como máximo.

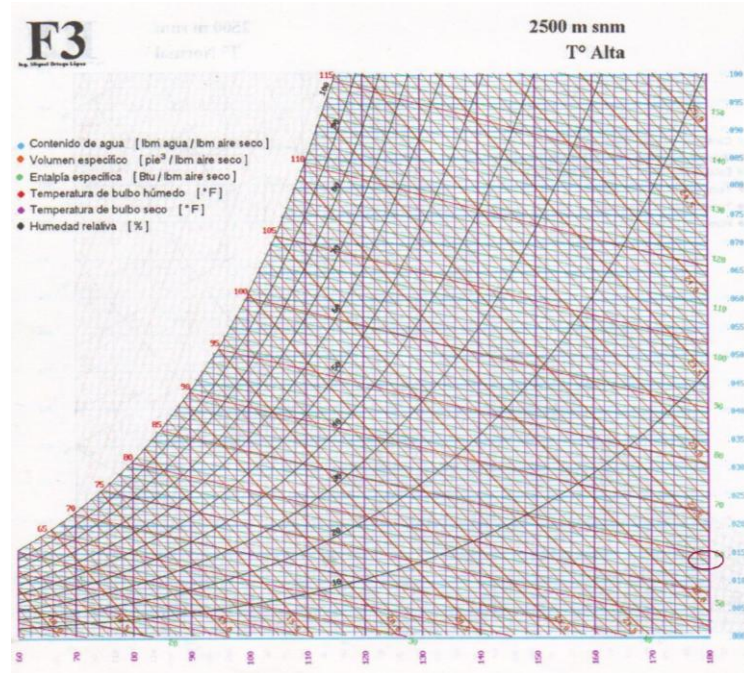
Datos iniciales en el ambiente cerrado

$T_{amb} := 78 \text{ } ^\circ\text{F}$

$H_{ramb} := 50 \text{ } \%$



De la carta psicometrica se obtiene el contenido de agua en el aire (Ciagua) en el ambiente cerrado, ingresando con los datos iniciales a condiciones ambiente.



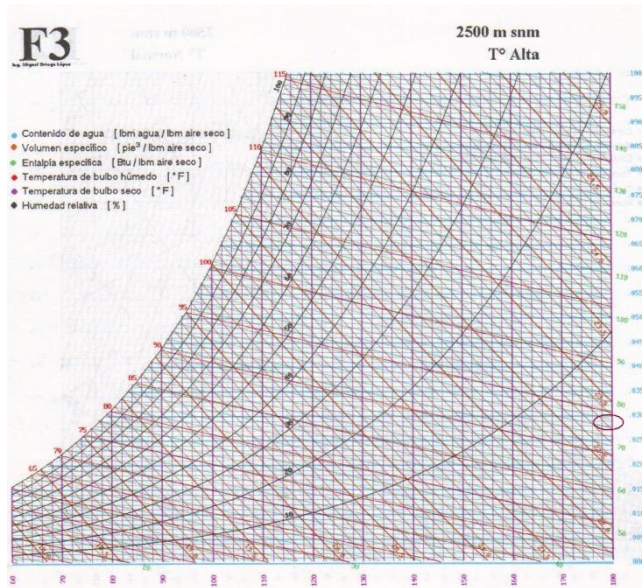
$$Ciagua := 0.014 \frac{\text{lbm} \cdot \text{agua}}{\text{lbm} \cdot \text{aire seco}}$$

El dato de humedad relativa final va de acuerdo a los requerimientos específicos del equipo el cual tiene un máximo de 95 %.

$$Hr_{\text{final}} := 95 \%$$

De la carta psicometrica se obtiene el contenido de agua final (Cfagua) en el aire, ingresando con el dato de Humedad relativa final en el ambiente cerrado.





$$C_{fagua} := 0.028 \frac{\text{lbm} \cdot \text{agua}}{\text{lbm} \cdot \text{aire seco}}$$

Se calcula la variación de cantidad de agua en el aire

$$\Delta C_{agua} := C_{fagua} - C_{iagua}$$

$$\Delta C_{agua} = 0.014 \frac{\text{lbm} \cdot \text{agua}}{\text{lbm} \cdot \text{aire seco}}$$

### VOLUMEN TOTAL DE AIRE A VAPORIZAR

Densidad del aire

$$\bar{\rho}_{\text{aire}} := 1.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Volumen cubículo interior

$$L_c := 0.335 \text{ m} \quad A_c := 0.280 \text{ m} \quad H_c := 0.210 \text{ m}$$

$$V_{cb} := L_c \cdot A_c \cdot H_c$$

$$V_{cb} = 0.02 \text{ m}^3$$

Volumen del ducto

$$D_{dc} := 0.0762 \quad \text{m} \quad L_{dc} := 0.550 \quad \text{m}$$

$$V_{dc} := \pi \cdot \left( \frac{D_{dc}}{2} \right)^2 \cdot L_{dc}$$

$$V_{dc} = 2.508 \times 10^{-3} \quad \text{m}^3$$

Volumen total de aire

$$V_{total} := V_{cb} + V_{dc}$$

$$V_{total} = 0.022 \quad \text{m}^3$$

Masa de aire seco

$$M_{aire} := \bar{\rho}_{aire} \cdot V_{total} \cdot 2.2$$

$$M_{aire} = 0.059 \quad \text{lbm}$$

**Calculo del volumen minimo de agua del vaporizador**

$$M_{agua} := \frac{\Delta C_{agua} \cdot M_{aire}}{2.2}$$

$$M_{agua} = 3.731 \times 10^{-4} \quad \text{Kg}$$

$$\bar{\rho}_{agua} := 1000 \quad \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{magua} := \frac{M_{agua}}{\bar{\rho}_{agua}}$$

$$V_{magua} = 3.731 \times 10^{-7} \quad \text{m}^3$$

#### 4.1.8 MODELO

Para el modelo del vaporizador se considero que exista un reservorio de agua adecuado para facilitar el ingreso de vapor, ya que el volumen mínimo para saturar el interior del equipo donde se encuentran los diferentes sensores es de tan solo 0.373 ml.

El material utilizado es una tubería para agua caliente de 2 plg de diámetro, con tubería de cobre para el paso del fluido.

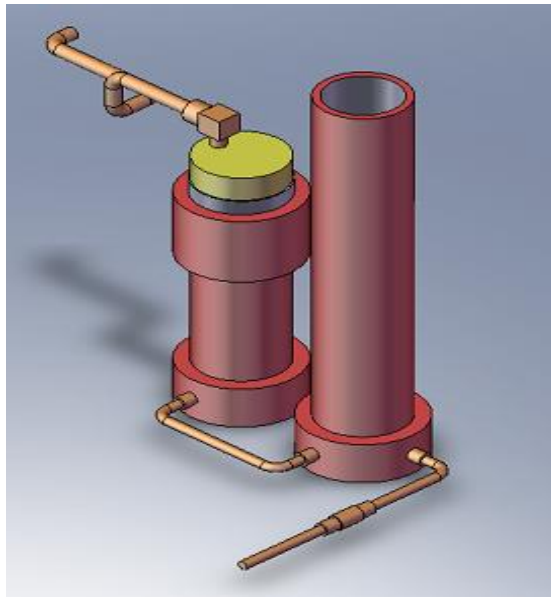


Figura 4.6 Modelo del vaporizador a construir

#### 4.1.9 SELECCIÓN DE DESHUMIDIFICADOR

La selección del deshumidificador se realizó tomando en cuenta el tamaño del equipo y la cantidad de partículas de agua introducida mediante el uso del vaporizador en el aire del ambiente cerrado para la variación de humedad y la capacidad de extraer humedad del aire.

Luego de una búsqueda exhaustiva en el mercado se logro encontrar un deshumidificador que cumpla con los requerimientos antes mencionados.

El funcionamiento del deshumidificador seleccionado consiste en hacer pasar aire del cubículo interior, aspirado por un ventilador, a través de unos acumuladores de frío, que se enfrían mediante efecto Peltier, recogién dose el agua condensada en el sistema en una bandeja inferior<sup>3</sup>

El Efecto Peltier consiste en hacer pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales diferentes cuyas uniones están a la misma temperatura, se produce el efecto inverso al Seebeck. En este caso, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. La parte que se enfría suele estar cerca de los 20° C, mientras que la parte que absorbe calor puede alcanzar rápidamente los 80° C.

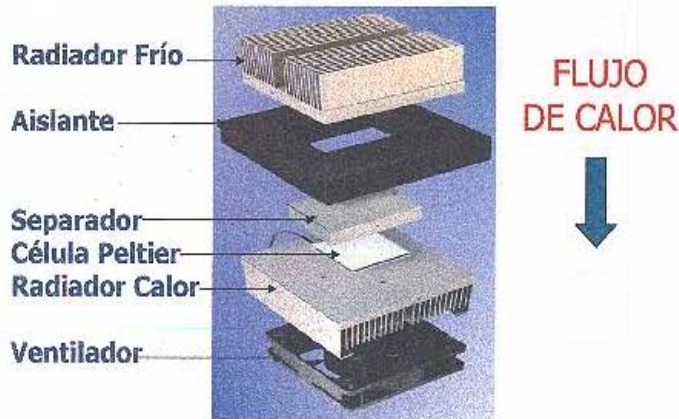


Figura 4.7 Ejemplo del montaje de una célula Peltier

Cuando dos metales distintos se ponen en contacto (soldadura) aparece una diferencia de potencial (V) debida a que los electrones libres de uno de los metales tienen más energía que los del otro. Cuando se hace pasar una corriente eléctrica por la soldadura si la dirección de la corriente es contraria los electrones tienen que ganar

<sup>3</sup>[http://www.geoscopio.com/est/gmms/afre2/Equipo\\_de\\_deshumidificacion\\_con\\_efecto\\_Peltier\\_y\\_acumulacion\\_CSIC\\_NM011\\_\\_2750.htm](http://www.geoscopio.com/est/gmms/afre2/Equipo_de_deshumidificacion_con_efecto_Peltier_y_acumulacion_CSIC_NM011__2750.htm)

energía y lo extraen de los metales enfriando la soldadura. Mientras que si es a favor los electrones pierden energía cediéndola a la soldadura que se calienta<sup>4</sup>

El deshumidificador seleccionado es compacto, tiene una capacidad de Deshumidificación de 8 oz diarias a 30°C (86° F) y 80% de Humedad relativa.

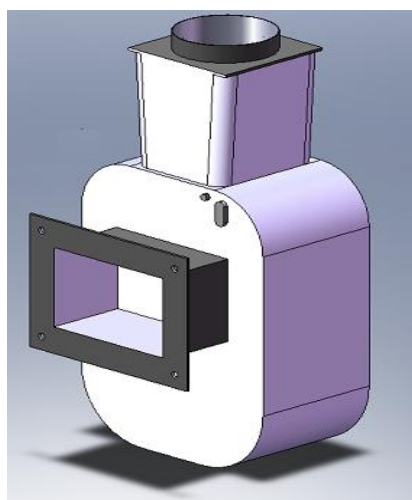


Figura 4.8 Deshumidificador seleccionado

| TIPO             | MARCA       | CARACTERISTICAS                |              |
|------------------|-------------|--------------------------------|--------------|
| Deshumidificador | Eva Dry 110 | Capacidad de deshumidificación | 8 oz diarias |
|                  |             | Temperatura de operación       | 30°C (86°F)  |
|                  |             | Humedad relativa de operación  | 80 %         |
|                  |             | Voltaje de operación           | 12 v         |

Tabla 4.1 Características técnicas del Deshumidificador

<sup>4</sup> <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/PELTIER.htm>

Unas de las ventajas de este deshumidificador es que se han eliminado ruidos y vibraciones, ya que este no posee partes móviles de los compresores que llevan los actuales deshumidificadores y los fluidos frigoríferos, como posibles contaminaciones medioambientales.

## **CAPITULO 5**

### **PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

#### **5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

Una vez finalizado el diseño de elementos y partes necesarias para el adecuado funcionamiento del prototipo, se especificará detalladamente las diferentes prácticas a realizarse en el mencionado equipo. Debido a que es un prototipo diseñado para complementar de manera didáctica los conocimientos adquiridos de forma teórica se ha propuesto realizar tres diferentes prácticas que permitan al estudiante sacar el mayor provecho del equipo, permitiendo al mismo aprender de una manera fácil y dinámica la construcción y calibración de sensores de humedad y temperatura.

Las tres prácticas que se detallaran a continuación no son las únicas que se pudieran realizar en el equipo ya que el mismo consta de una interfaz máquina computadora, lo que permite tener la posibilidad futura de adaptar un PLC para su automatización.

### **5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA #1**

La primera práctica está dirigida a la verificación del funcionamiento de sensores de temperatura, construidos por los estudiantes que estén tomando la cátedra de Instrumentación.

Se utilizara el controlador de temperatura que previamente debe ser seteado al valor deseado, posteriormente el encendido automático de la resistencia eléctrica tendrá que elevar la temperatura del aire al valor establecido en el controlador, una vez cumplido esto, la resistencia eléctrica se apagará automáticamente.

Si existiese un incremento de temperatura de  $0.1^{\circ}\text{C}$  en el valor establecido, el controlador dará paso al encendido automático del ventilador el mismo que recirculará el aire en el interior del cubículo y tendrá que bajar la temperatura del mismo al valor establecido en el controlador, una vez cumplido esto, si existiese un decremento de temperatura de  $0.1^{\circ}\text{C}$  el controlador dará paso nuevamente al encendido automático de la resistencia eléctrica y así sucesivamente para mantener estable la temperatura deseada.

Finalmente todo este proceso se realizará llegando a un rango previamente establecido y mediante una comparación con un sensor patrón acreditar el funcionamiento óptimo del sensor construido.

### **5.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA #2**

La segunda práctica está dirigida a la verificación del funcionamiento de sensores de humedad, construidos por los estudiantes que estén tomando la cátedra de Instrumentación.

Se utilizara el vaporizador y el deshumidificador, controlados mediante una perilla de selección, posteriormente se enciende el vaporizador hasta alcanzar la humedad deseada en el interior del equipo, la cual será verificada de una forma visual en el computador, a continuación se apaga manualmente vaporizador con la perilla antes mencionada alcanzando una humedad relativa estable.



Para reducir la humedad relativa en el interior del equipo, selecciona manualmente el deshumidificador que hará recircular el aire en el interior del equipo logrando con esto llegar a condiciones iniciales.

Finalmente todo este proceso se realizará llegando a un rango previamente establecido y mediante una comparación con un sensor patrón acreditar el funcionamiento óptimo del sensor construido.

### **5.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA #3**

La tercera práctica está dirigida a verificar el funcionamiento y porcentajes de error de sensores de humedad y temperatura que el estudiante debe disponer.

#### **VERIFICACION DE TEMPERATURA**

Se utilizara el controlador de temperatura que previamente debe ser seteado al valor deseado, posteriormente el encendido automático de la resistencia eléctrica tendrá que elevar la temperatura del aire al valor establecido en el controlador, una vez cumplido esto, la resistencia eléctrica se apagará automáticamente.

Si existiese un incremento de temperatura de  $0.1^{\circ}\text{C}$  en el valor establecido, el controlador dará paso al encendido automático del ventilador el mismo que recirculará el aire en el interior del cubículo y tendrá que bajar la temperatura del mismo al valor establecido en el controlador, una vez cumplido esto, si existiese un decremento de temperatura de  $0.1^{\circ}\text{C}$  el controlador dará paso nuevamente al encendido automático de la resistencia eléctrica y así sucesivamente para mantener estable la temperatura deseada.

Finalmente todo este proceso se realizará llegando a un rango previamente establecido y mediante una comparación con un sensor patrón acreditar el funcionamiento óptimo del sensor.

## VERIFICACION DE HUMEDAD

Se utilizara el vaporizador y el deshumidificador, controlados mediante una perilla de selección, posteriormente se enciende el vaporizador hasta alcanzar la humedad deseada en el interior del equipo, la cual será verificada de una forma visual en el computador, a continuación se apaga manualmente vaporizador con la perilla antes mencionada alcanzando una humedad relativa estable.

Para reducir la humedad relativa en el interior del equipo, selecciona manualmente el deshumidificador que hará recircular el aire en el interior del equipo logrando con esto llegar a condiciones iniciales.

Finalmente todo este proceso se realizará llegando a un rango previamente establecido y mediante una comparación con un sensor patrón acreditar el funcionamiento óptimo del sensor construido.

## 5.2 GUÍA DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

A continuación se presentan las guías de las prácticas de laboratorio anteriormente descritas con lo que se podrá tener la información necesaria para realizarlas y para el correcto funcionamiento del equipo, se debe consultar el MANUAL DE USUARIO especificado en el anexo A.

### 5.2.1 GUÍA DE LA PRÁCTICA #1

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECANICA

### Laboratorio de Automatización Industrial Mecánica

#### Practica No.1: Construcción de sensores

1. **Tema:** Construcción de un sensor de temperatura

## **2. Objetivos:**

- a. Desarrollar un dispositivo que cense temperatura
- b. Selección de materiales para la realización del sensor.

## **3. Teoría.**

### **Temperatura.**

La Temperatura es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. Cuando tocamos un cuerpo que está a menor temperatura que el nuestro sentimos una sensación de frío, y al revés de calor. Sin embargo, aunque tengan una estrecha relación, no debemos confundir la temperatura con el calor.

Cuando dos cuerpos, que se encuentran a distinta temperatura, se ponen en contacto, se producen una transferencia de energía, en forma de calor, desde el cuerpo caliente al frío, esto ocurre hasta que las temperaturas de ambos cuerpos se igualan. En este sentido, la temperatura es un indicador de la dirección que toma la energía en su tránsito de unos cuerpos a otros.

## **4. Trabajo preparatorio.**

- a. Determine los pasos que va a seguir para la construcción del sensor.
- b. Presente un bosquejo del sensor especificando materiales y dimensiones las cuales deben ser con relación al espacio dispuesto en el equipo donde se realiza la práctica.
- c. Explique el funcionamiento del sensor construido.
- d. Consulte los diferentes tipos de sensores de temperatura y sus diferentes aplicaciones.

## **5. Equipo necesario.**

- a. Equipo de control de humedad y temperatura

- b. Computadora
- c. Sensor de temperatura

#### **6. Procedimiento.**

1. Leer el manual de usuario para la puesta en funcionamiento del equipo
2. Acoplar los sensores construidos en los espacios dispuestos para los mismos
3. Llegar a la temperatura establecida para la practica
4. Verificar el funcionamiento del sensor construido por medio de la comparación de datos.

#### **Informe de laboratorio.**

En el informe de laboratorio hay que incluir los puntos comunes de un informe. En el capítulo procedimiento del informe explique detalladamente el proceso que llevo a cabo para realizar la práctica. Indique detalladamente el procedimiento, los controles y funciones utilizadas para ensamblar el sensor, y los resultados obtenidos. Indique detalladamente y con un ejemplo la operación del sensor, su funcionamiento y la aplicación a la cual estaría destinado en una industria.

#### **7. Conclusiones y recomendaciones.**

#### **8. Bibliografía.**

### **5.2.2 GUÍA DE LA PRÁCTICA #2**

## **DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECANICA**

### **Laboratorio de Automatización Industrial Mecánica**

#### **Practica No.2: Construcción de Sensores**

**1. Tema:** Construcción de un sensor de humedad.

**2. Objetivos:**

- a. Desarrollar un dispositivo que cense la humedad.
- b. Selección de materiales para la realización del sensor.

**3. Teoría.**

Humedad.

La humedad juega un rol en casi todos los procesos industriales. Esto se debe al hecho de que la atmósfera contiene humedad. Por tanto, en el ámbito industrial por lo menos se estudia su efecto, y en muchos casos se intenta controlar. Sin embargo, la humedad es una propiedad más difícil de definir y medir que algunos parámetros asociados a ella, como pueden ser la presión y la temperatura.

La medición de la humedad es un proceso verdaderamente analítico en el cual el sensor debe estar en contacto con el ambiente de proceso. Esta es una gran diferencia con los sensores de presión y de temperatura, que invariablemente se encuentran aislados del proceso (por protecciones conductoras del calor o diafragmas respectivamente)

**4. Trabajo preparatorio.**

- a. Determine los pasos que va a seguir para la construcción del sensor.
- b. Presente un bosquejo del sensor especificando materiales y dimensiones las cuales deben ser con relación al espacio dispuesto en el equipo donde se realiza la práctica.
- c. Explique el funcionamiento del sensor construido.
- d. Consulte los diferentes tipos de sensores de humedad, temperatura y sus diferentes aplicaciones.

**5. Equipo necesario.**

- a. Equipo de control de humedad y temperatura
- b. Computadora
- c. Sensor de humedad

## **6. Procedimiento.**

- a. Leer el manual de usuario para la puesta en funcionamiento del equipo
- b. Acoplar los sensores construidos en los espacios dispuestos para los mismos
- c. Llegar a la humedad establecida para la practica
- d. Verificar el funcionamiento de los sensores construidos por medio de la comparación de datos.

## **7. Informe de laboratorio.**

En el informe de laboratorio hay que incluir los puntos comunes de un informe. En el capitulo procedimiento del informe explique detalladamente el proceso que llevo a cabo para realizar la práctica. Indique detalladamente el procedimiento, los controles y funciones utilizadas para ensamblar el sensor, y los resultados obtenidos. Indique detalladamente y con un ejemplo la operación del sensor, su funcionamiento y la aplicación a la cual estaría destinado en una industria.

## **8. Conclusiones y recomendaciones.**

## **9. Bibliografía.**

### **5.2.3 GUÍA DE LA PRÁCTICA #3**

#### **DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECANICA**

##### **Laboratorio de Automatización Industrial Mecánica**

#### **Practica No.3: Verificación de sensores**

- 1. Tema:** Verificación de funcionamiento y porcentaje de error de Sensores.
- 2. Objetivos:**
  - a. Verificar el correcto funcionamiento de sensores de humedad y temperatura.
  - b. Conocer los porcentajes de error de los sensores si es que existen.

### **3. Teoría.**

#### **Temperatura.**

La Temperatura es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. Cuando tocamos un cuerpo que está a menos temperatura que el nuestro sentimos una sensación de frío, y al revés de calor. Sin embargo, aunque tengan una estrecha relación, no debemos confundir la temperatura con el calor.

Cuando dos cuerpos, que se encuentran a distinta temperatura, se ponen en contacto, se producen una transferencia de energía, en forma de calor, desde el cuerpo caliente al frío, esto ocurre hasta que las temperaturas de ambos cuerpos se igualan. En este sentido, la temperatura es un indicador de la dirección que toma la energía en su tránsito de unos cuerpos a otros.

#### **Humedad.**

La humedad juega un rol en casi todos los procesos industriales. Esto se debe al hecho de que la atmósfera contiene humedad. Por tanto, en el ámbito industrial por lo menos se estudia su efecto, y en muchos casos se intenta controlar. Sin embargo, la humedad es una propiedad más difícil de definir y medir que algunos parámetros asociados a ella, como pueden ser la presión y la temperatura. La medición de la humedad es un proceso verdaderamente analítico en el cual el sensor debe estar en contacto con el ambiente de proceso. Esta es una gran diferencia con los sensores de presión y de temperatura, que invariablemente se encuentran aislados del proceso (por protecciones conductoras del calor o diafragmas respectivamente)

### **4. Trabajo preparatorio.**

- a. Consulte que es un Sensor de humedad y de temperatura.
- b. Consulte las maneras para verificar el funcionamiento de los sensores de humedad y temperatura
- c. Determine los pasos que va a seguir para la verificación de los sensores.

## **5. Equipo necesario.**

- a. Equipo de control de humedad
- b. Computadora
- c. Sensor de humedad
- d. Sensor de temperatura

## **6. Procedimiento.**

1. Leer el manual de usuario para la puesta en funcionamiento del equipo
2. Acoplar el sensor de Humedad y/o temperatura
3. Conectar sensores patrones.
4. Llegar a la Humedad y/o temperatura establecidas para la práctica.
5. Verificar el correcto funcionamiento de los sensores y si es necesario calcular el error en la medición.

## **Informe de laboratorio.**

En el informe de laboratorio hay que incluir los puntos comunes de un informe. En el capítulo procedimiento del informe explique detalladamente el proceso que llevo a cabo para realizar la práctica. Indique detalladamente el procedimiento para la automatización e indique los resultados obtenidos. Muestre detalladamente y con un ejemplo la aplicación Industrial que tendría la práctica realizada.

## **7. Conclusiones y recomendaciones.**

## **8. Bibliografía.**



## **CAPITULO 6**

### **CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLAJE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

#### **6.1 DIAGRAMA DE PROCESOS**

Para el correcto funcionamiento del equipo fue necesario construir ciertos elementos que se detallan más detenidamente en los diagramas de procesos de construcción, debido a esto es necesario conocer las operaciones para la construcción de cada uno de estos elementos, los mismos se los construyó en un taller mecánico de la ciudad.

Para la construcción del equipo se emplean las siguientes máquinas y herramientas:

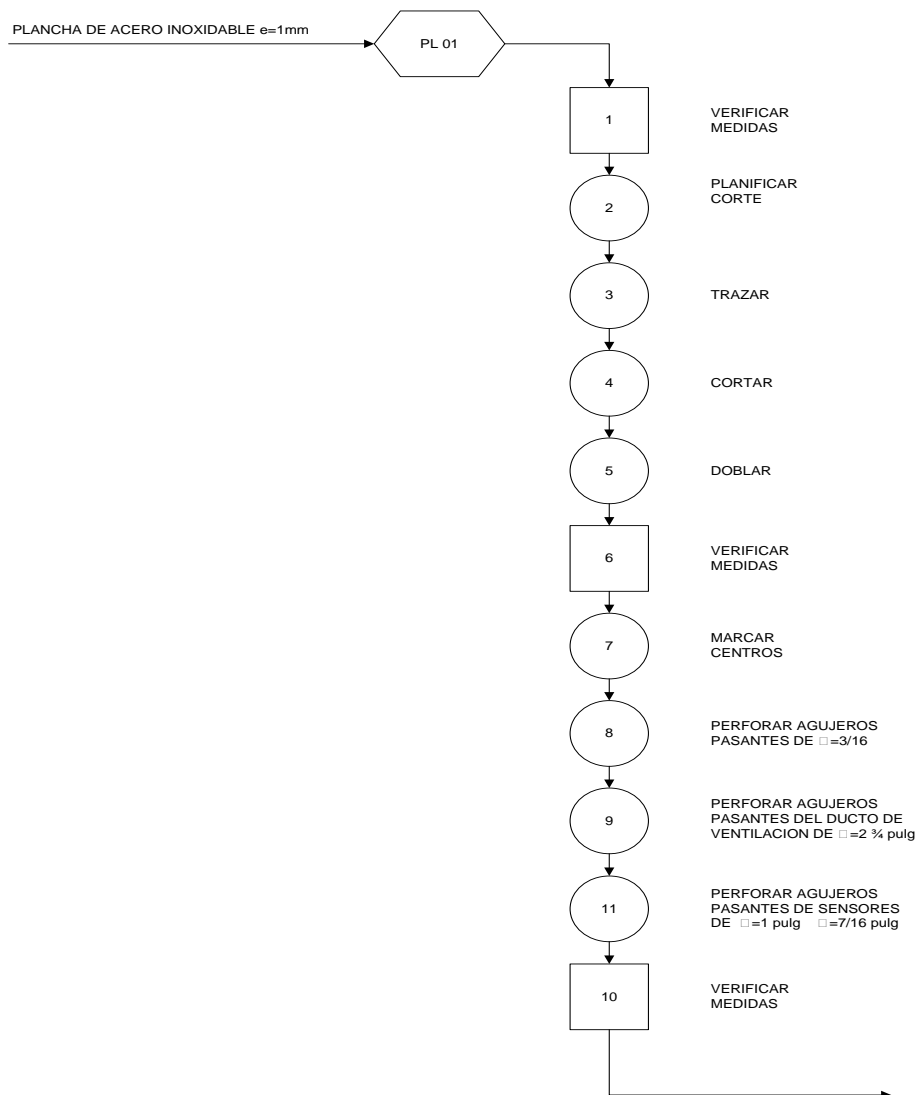
- Cizalladora
- Dobladora
- Taladro de manual
- Esmeril
- Tornillo de banco (entenalla)
- Juego de herramientas

En el diagrama de construcción se presentan todas las operaciones, inspecciones y materiales necesarios que se van a utilizar en el proceso de fabricación de los elementos. Se planteará de la manera más clara la secuencia de eventos, desde el material en bruto hasta el producto terminado.

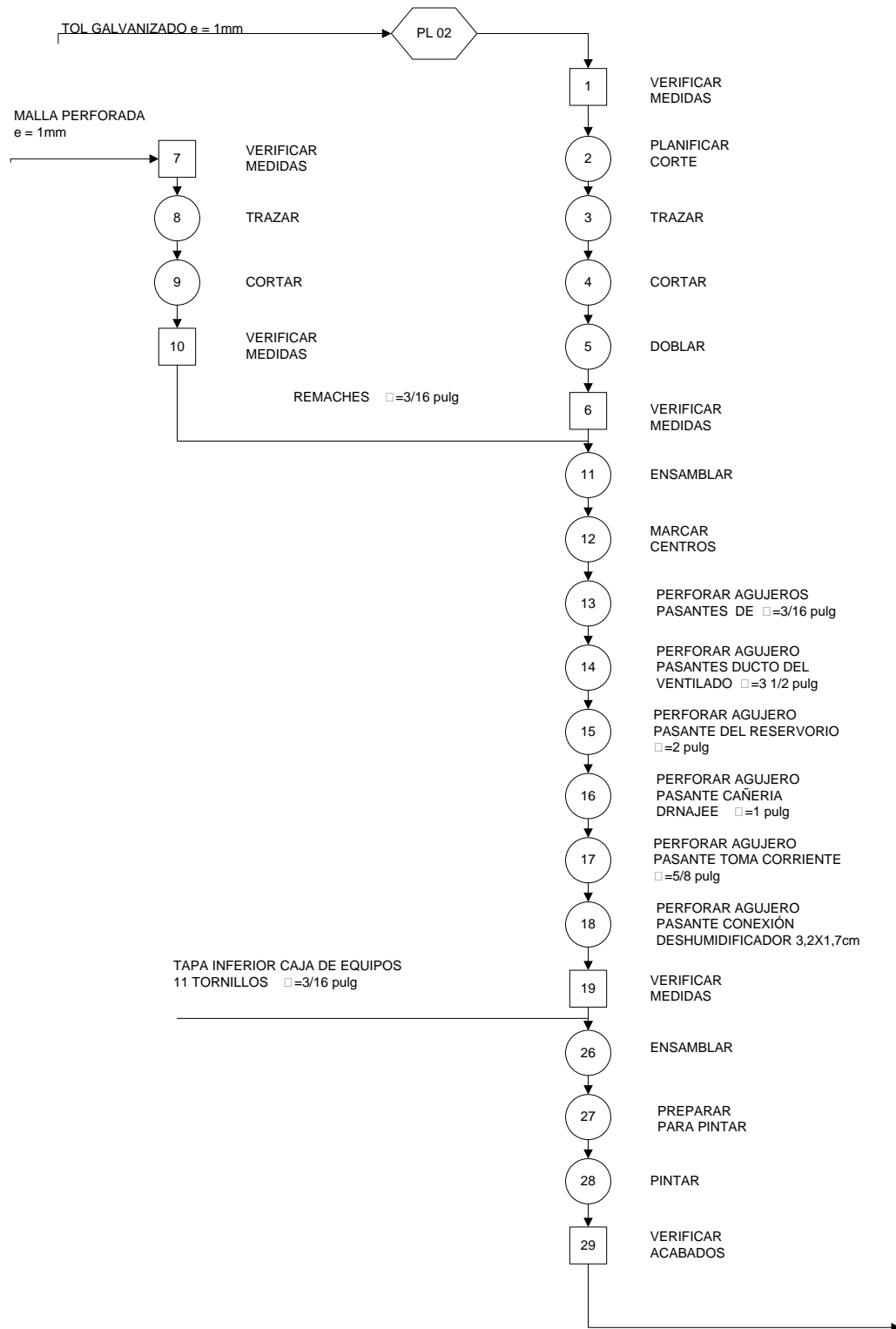
### 6.1.1 CUBÍCULOS

A continuación se presentan los diagramas de proceso constructivos de cada elemento, los cuales incluyen, los materiales necesarios para llevar a cabo estas tareas.

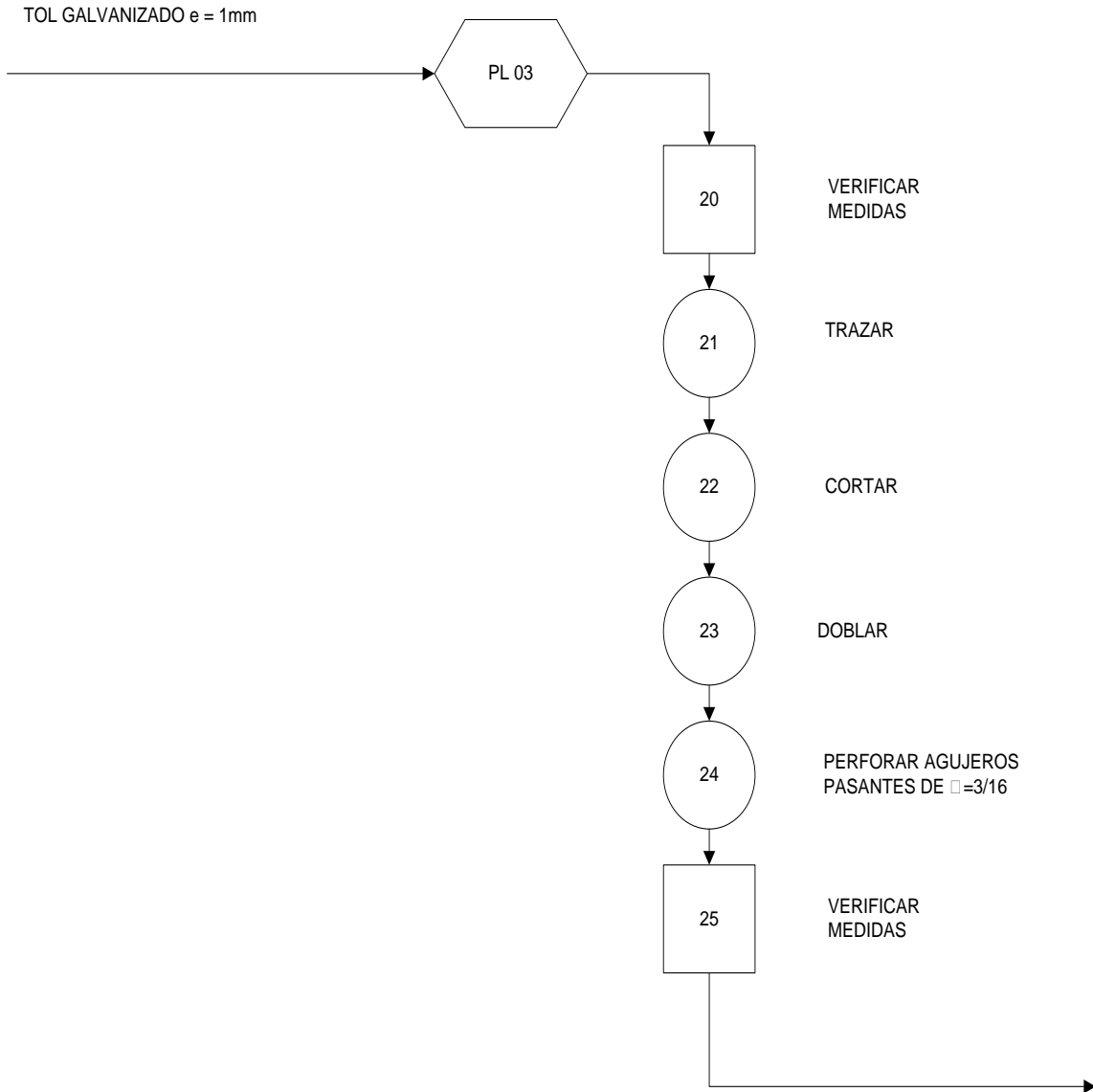
#### DIAGRAMA DE CONSTRUCCION DEL CUBICULO EXTERIOR



# DIAGRAMA DE CONSTRUCCION DE CAJA DE EQUIPOS



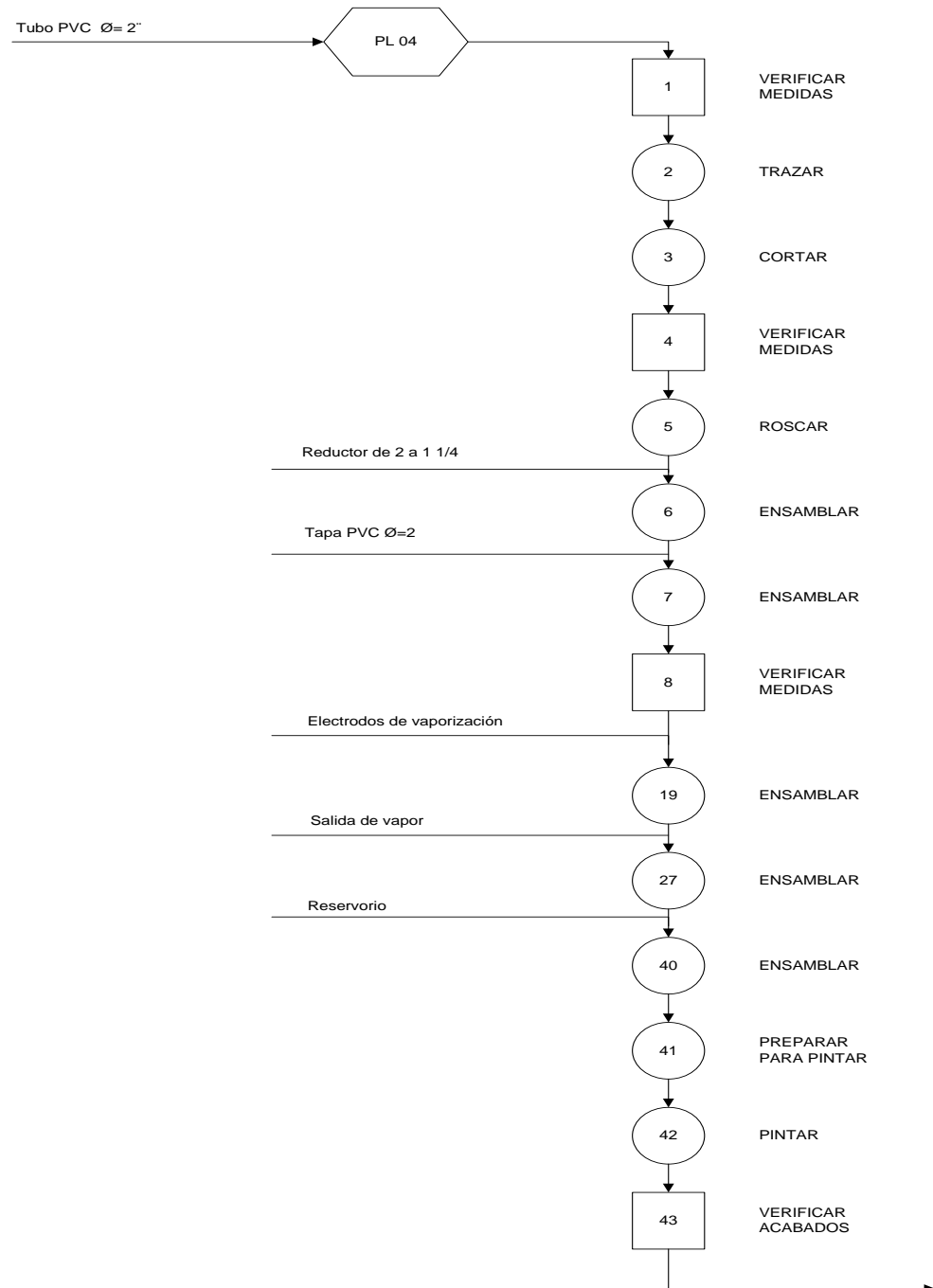
# DIAGRAMA DE CONSTRUCCION DE TAPA INFERIOR CAJA DE EQUIPOS



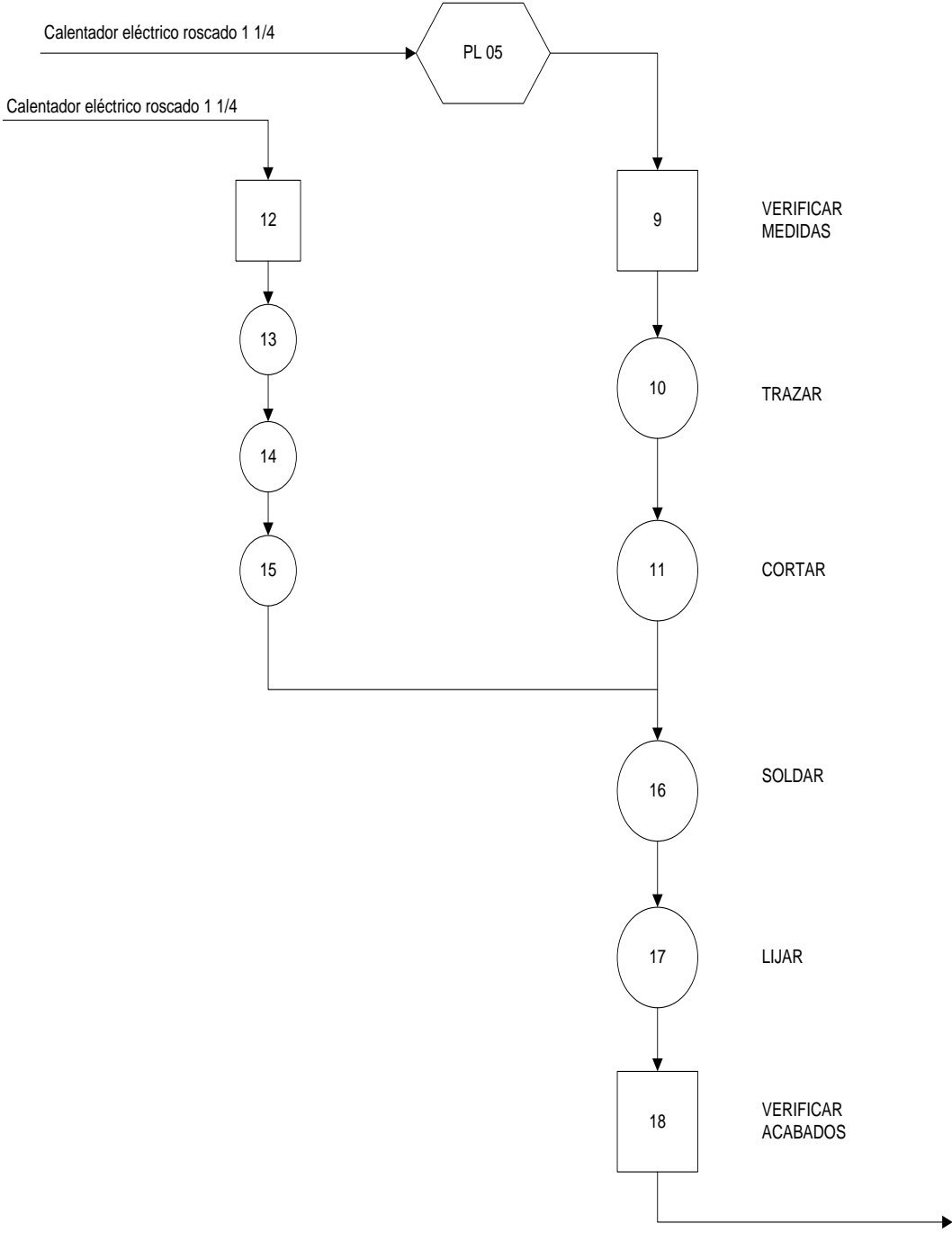
## 6.1.2 VAPORIZADOR

A continuación se presentan los diagramas de proceso constructivos de cada elemento, los cuales incluyen los materiales necesarios para llevar a cabo estas tareas.

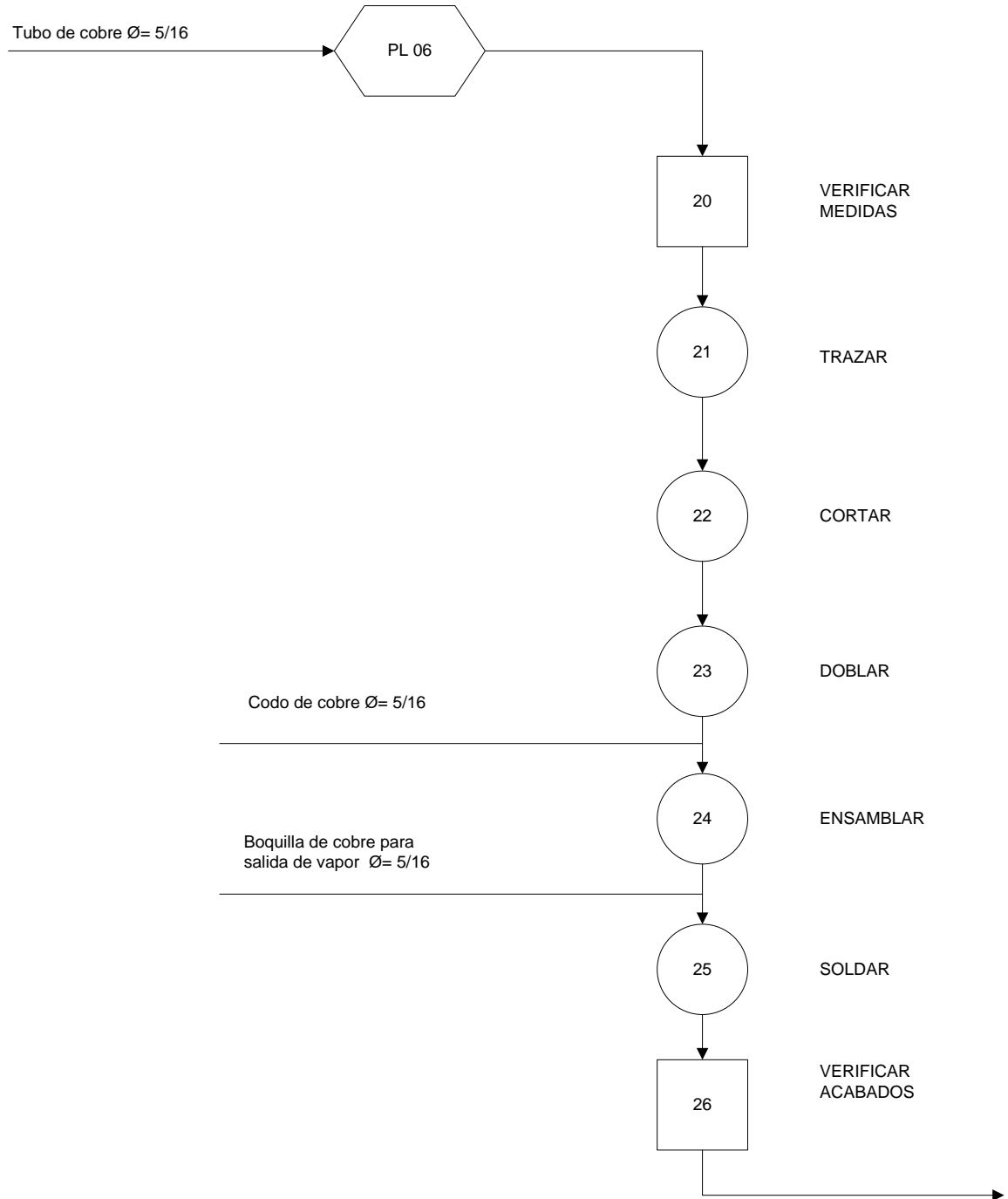
### DIAGRAMA DE CONSTRUCCION DEL VAPORIZADOR



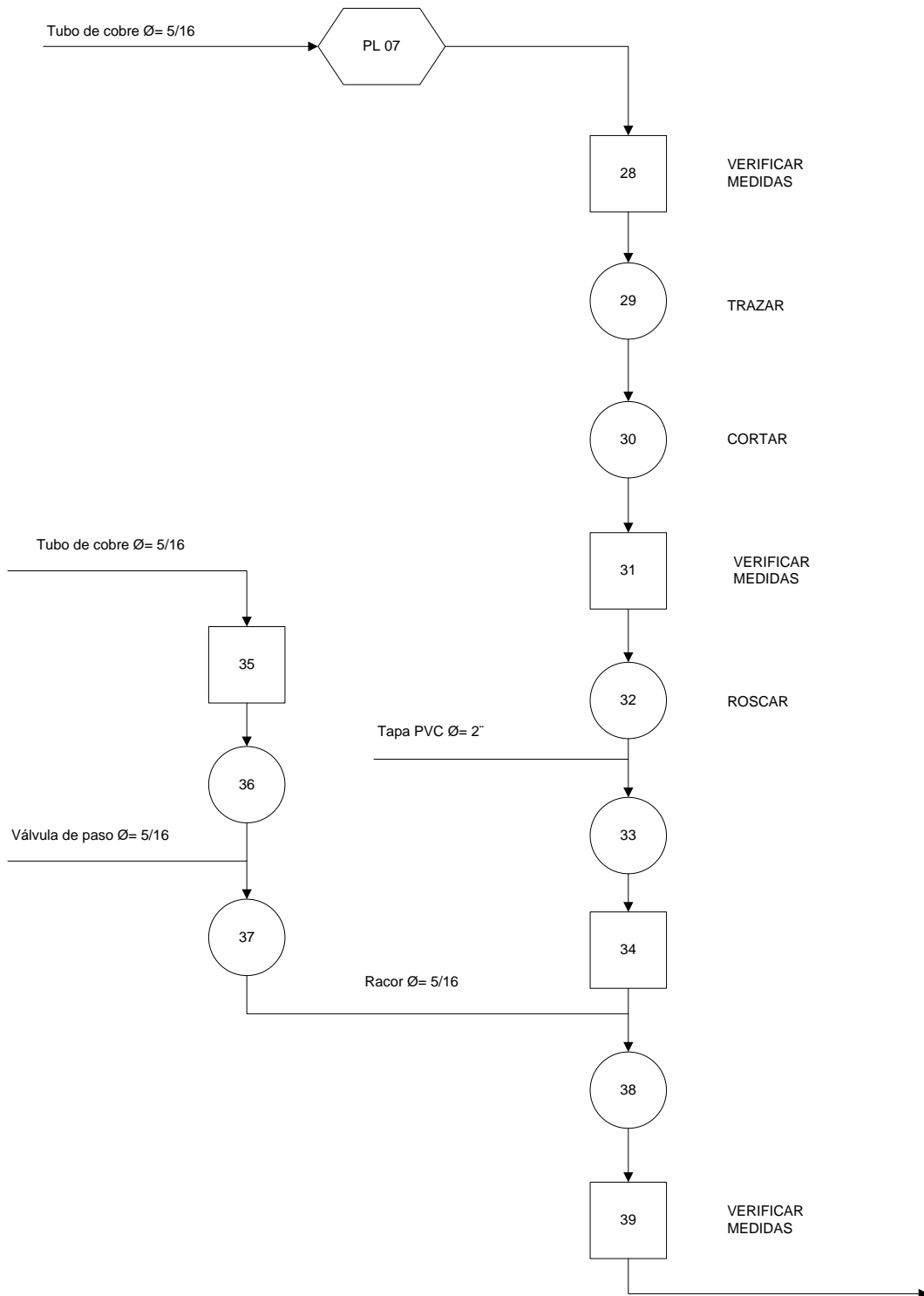
# DIAGRAMA DE CONSTRUCCION DE LOS ELECTRODOS DE VAPORIZACION



# DIAGRAMA DE CONSTRUCCION DE LA SALIDA DE VAPOR



# DIAGRAMA DE CONSTRUCCION DEL RESERVORIO





## 6.2 ASPECTOS BÁSICOS DE ENSAMBLAJE

Una vez contruidos los elementos necesarios para el equipo es necesario establecer las acciones para el ensamble con los demás elementos seleccionados para el equipo. El ensamble completo del equipo se lo realizo en el domicilio de los ejecutores del proyecto ya que se contaba con las facilidades para realizar esta actividad, así como por la seguridad de los elementos

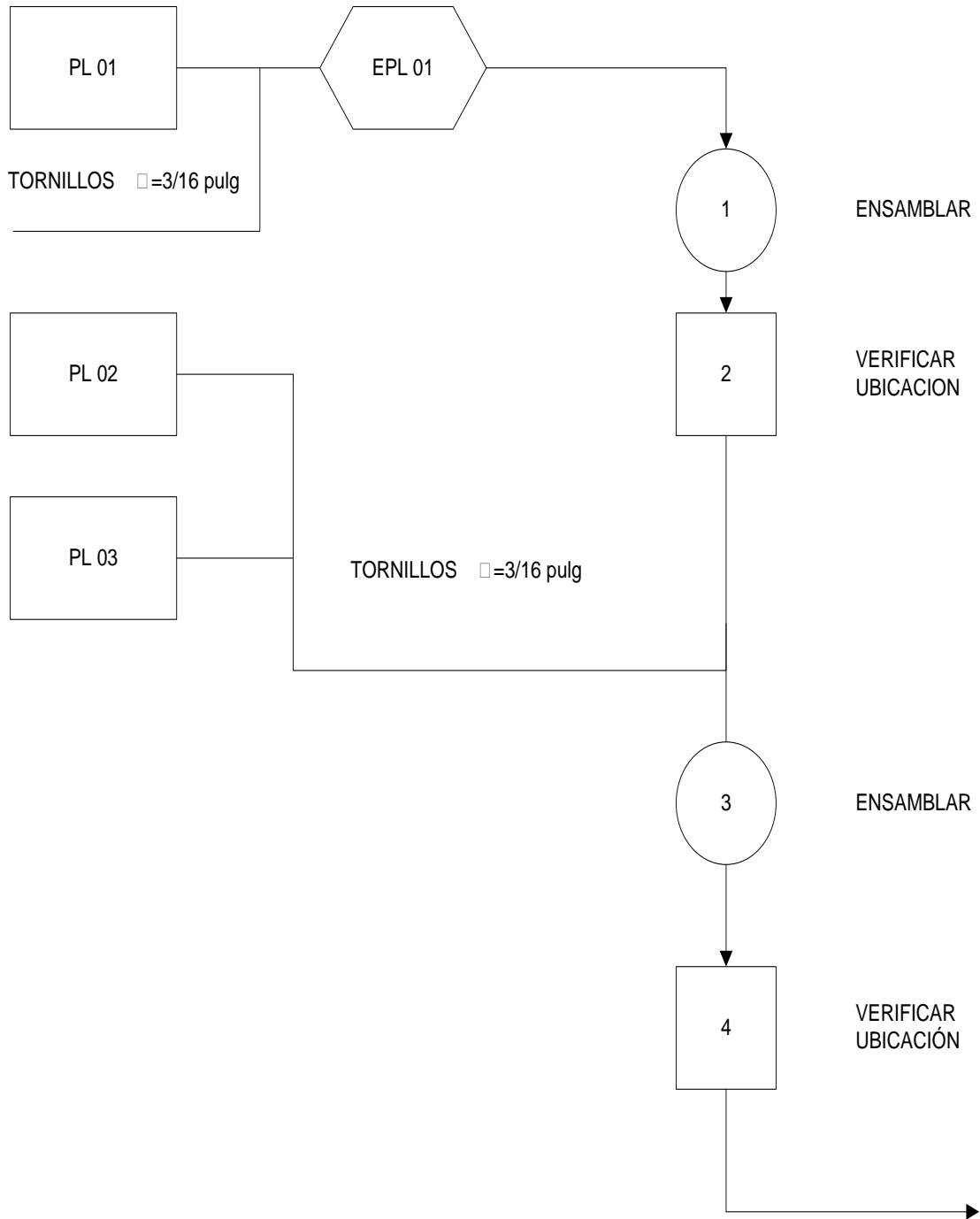
Para realizar el ensamble y montaje del equipo se emplean las siguientes herramientas:

- Juego de desarmadores
- Juego de llaves
- Corta frio
- Pinzas
- Peladora de cables
- Ponchadora de terminales
- Llave de pico
- Llaves Allen
- Taladro de Pedestal
- Taladro manual
- Estilete

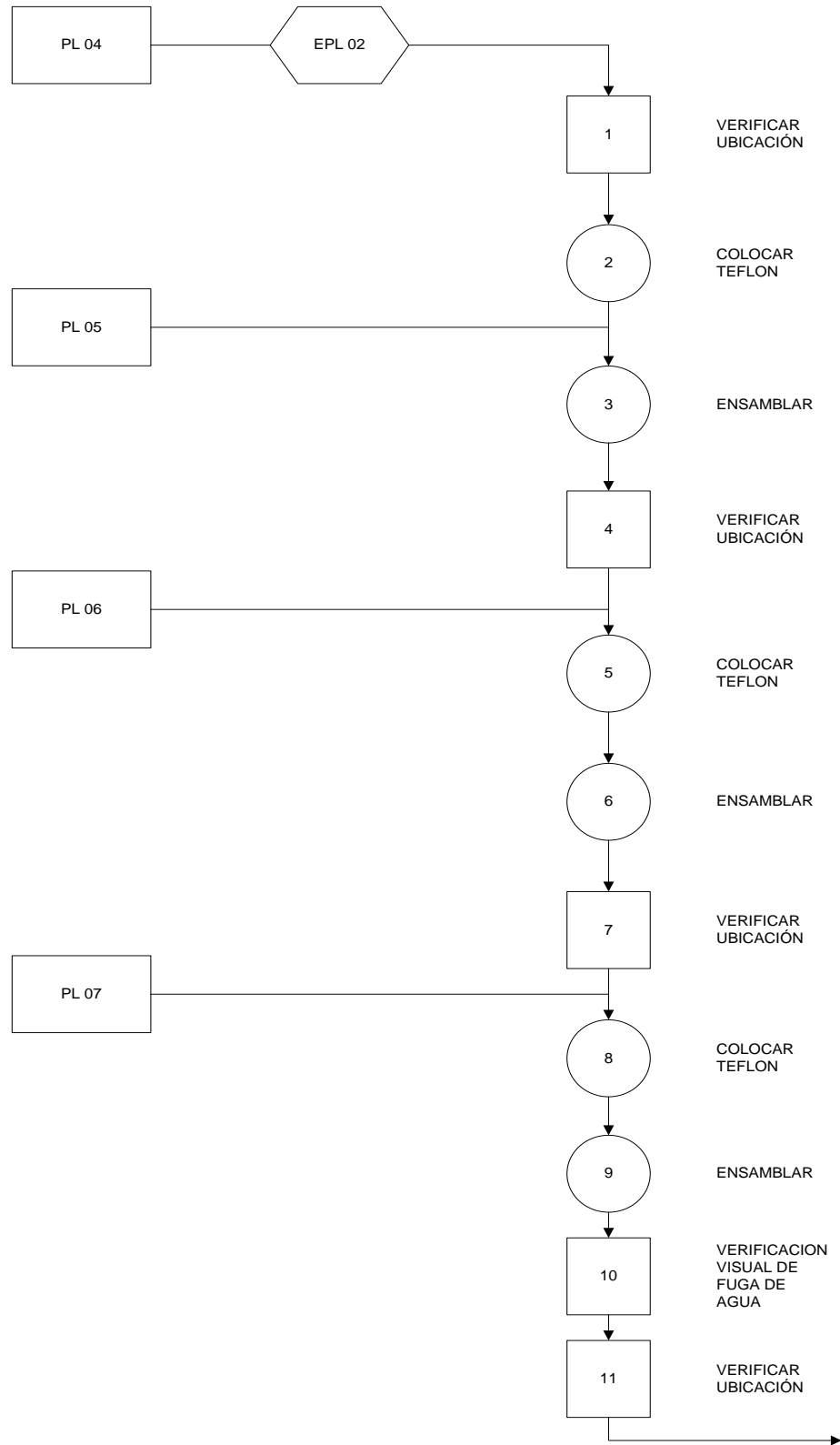
### Diagrama de Ensamble

En el diagrama de ensamble se exponen las acciones para unir y fijar los elementos de cada elemento que constituye el equipo, de esta forma se podrá contar con un diagrama independiente por conjunto.

# DIAGRAMA DE ENSAMBLAJE DE LOS CUBICULOS



## DIAGRAMA DE ENSAMBLAJE DEL VAPORIZADOR



## 6.3 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Los parámetros de funcionamiento del equipo se analizaron cada una de sus partes las cuales se detallaran a continuación:

### VAPORIZADOR:

El vaporizador trabaja a 110 V de corriente continua y es controlado de forma manual mediante la perilla de selección.

### DESHUMIDIFICADOR:

El deshumidificador trabaja a 12 V de corriente continua y es abastecido mediante un transformador de 110 V al voltaje requerido para el funcionamiento. Es controlado de forma manual mediante la perilla de selección o de forma automática mediante la programación del controlador de temperatura.

### CONTROLADOR DE TEMPERATURA:

El controlador de temperatura trabaja a 110 V de corriente continua, dispone de conexiones normalmente abierto y normalmente cerrado, en las mismas que se encuentran el deshumidificador y la resistencia respectivamente, trabaja con un rango de temperaturas  $-50 - 75$  [°C]

### RESISTENCIA:

La resistencia varia la temperatura del aire en el interior del equipo en un rango de 0 a 60 [°C] la misma esta restringida en toda su capacidad mediante un reóstato que limita la intensidad de corriente. Y mediante la programación de un controlador logramos subir, bajar o estabilizar la temperatura en el interior del equipo.

### VENTILADOR:

El ventilador trabaja a 12 V de corriente continua y es abastecido mediante un transformador de 110 V al voltaje requerido para el funcionamiento.

### PERILLAS DE SELECCIÓN:

Las perillas de selección nos permiten controlar manualmente el vaporizador y el deshumidificador de forma independiente.

## **6.4 ASPECTOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO**

Para lograr un correcto funcionamiento del equipo y de esta forma verificar el desempeño de los elementos utilizados se realizó una serie de pasos que se deberán tomar en cuenta al momento de las diferentes prácticas de laboratorio.

- Encender el equipo.
- Realizar el calentamiento del equipo durante 10 minutos.
- Llenar el reservorio de agua con 325 ml.
- Instalar del cable de transmisión de datos y sensores.
- Cargar el programa measure.
- Verificar la comunicación entre los sensores PHYWE y la computadora.
- Acudir al Manual de Usuario ubicado en Anexo A para las diferentes prácticas y verificación de sensores que se realizarán.
- Cerrar el programa measure.
- Desinstalar el cable de transmisión de datos y sensores.
- Drenar el agua que no fue utilizada en el reservorio.
- Apagar el equipo.
- Fin del proceso.

## **6.5 PRUEBAS DEL SISTEMA**

Para las pruebas de funcionamiento se generarán 3 diferentes tipos de ambientes controlados dentro del equipo, tanto para la verificación de sensores de Temperatura como de Humedad.

Mediante la comparación de resultados entre los sensores de laboratorio marca PHYWE y los externos o realizados por los estudiantes se verificará el funcionamiento de los mismos.

## PRUEBAS DE TEMPERATURA

Para las 3 diferentes pruebas de funcionamiento, se partirá de temperatura ambiente la misma que deberá mantenerse por unos minutos, a continuación deberá subir a una temperatura superior, para posteriormente descender a una temperatura inferior en la que deberá mantenerse por unos minutos para dar por finalizado el funcionamiento del sensor.

### PRUEBA 1

#### PARAMETROS

| TEMPERATURA | [°C] |
|-------------|------|
| AMBIENTE    | 24   |
| SUPERIOR    | 40   |
| INFERIOR    | 35   |

Tabla 6.1: Parámetros de funcionamiento prueba uno para la variación de Temperatura.

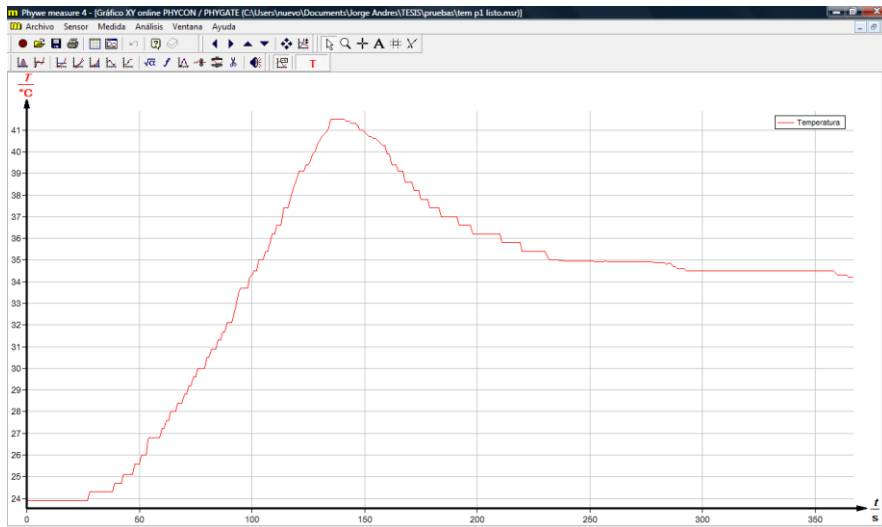


Figura 6.1: Prueba uno de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure

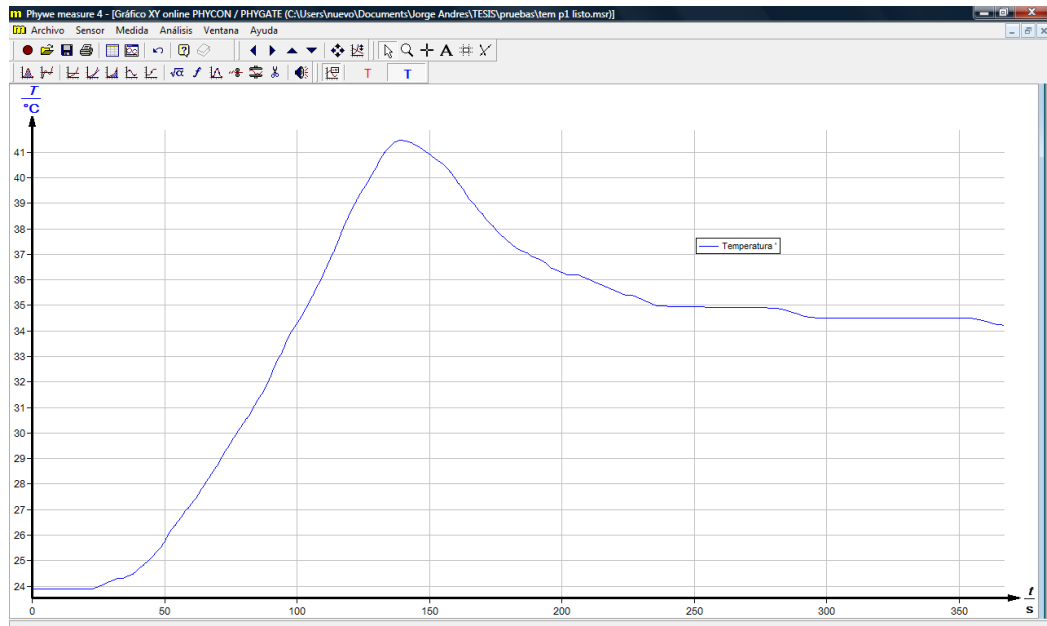


Figura 6.2: Prueba uno de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure curva suavizada

## PRUEBA 2

### PARAMETROS

| TEMPERATURA | [°C] |
|-------------|------|
| AMBIENTE    | 26   |
| SUPERIOR    | 55   |
| INFERIOR    | 35   |

Tabla 6.2: Parámetros de funcionamiento prueba dos para la variación de Temperatura

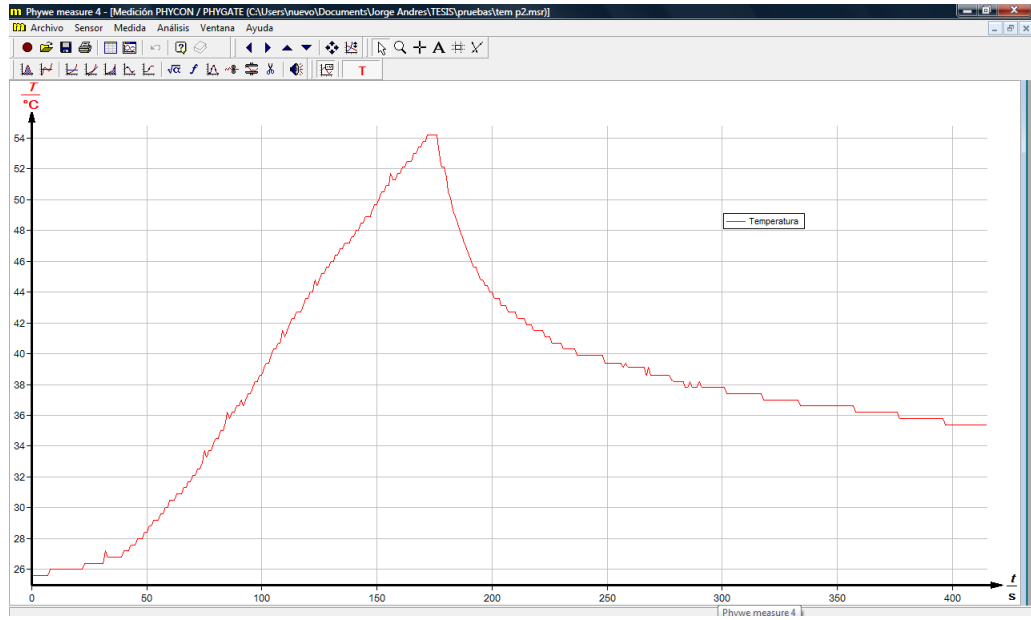


Figura 6.3: Prueba dos de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure

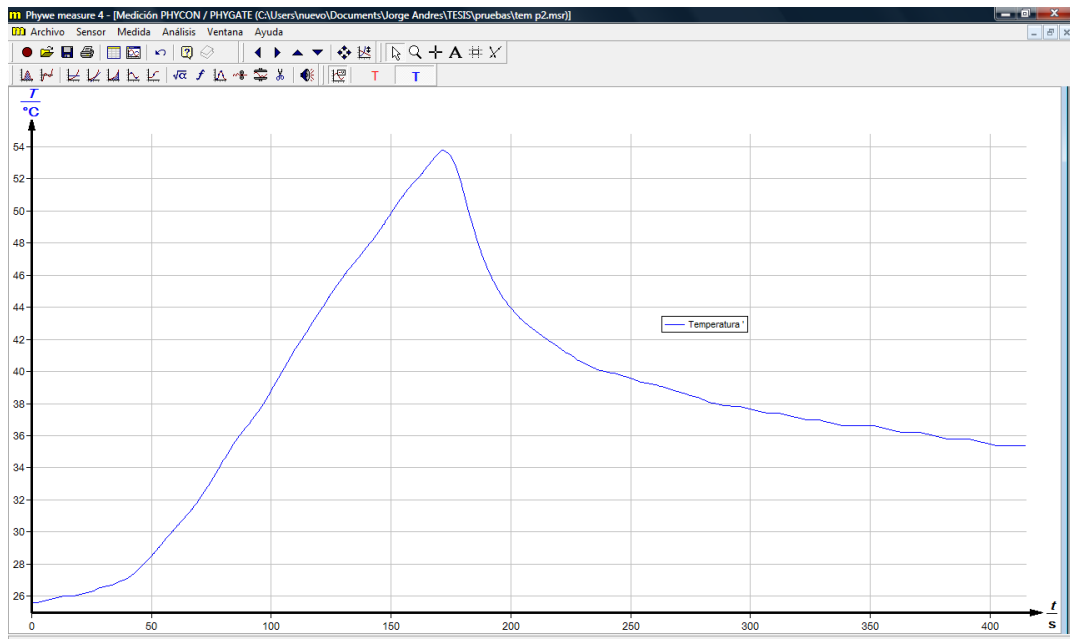


Figura 6.4: Prueba dos de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure  
curva suavizada



### PRUEBA 3

### PARAMETROS

| TEMPERATURA | [°C] |
|-------------|------|
| AMBIENTE    | 26   |
| SUPERIOR    | 60   |
| INFERIOR    | 35   |

Tabla 6.3: Parámetros de funcionamiento prueba tres para la variación de Temperatura

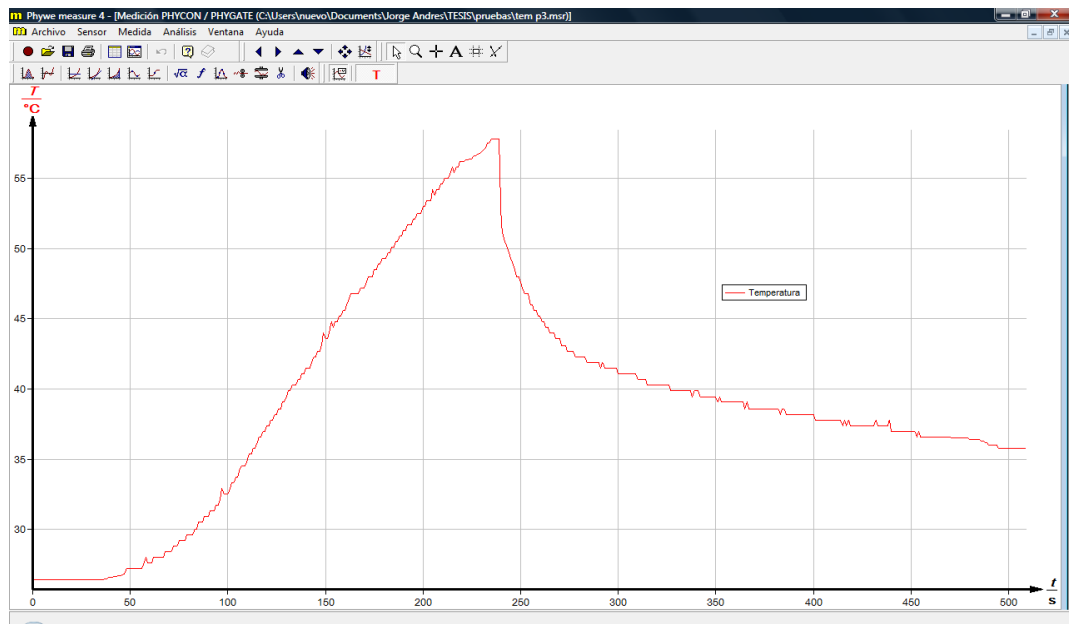


Figura 6.5: Prueba tres de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure

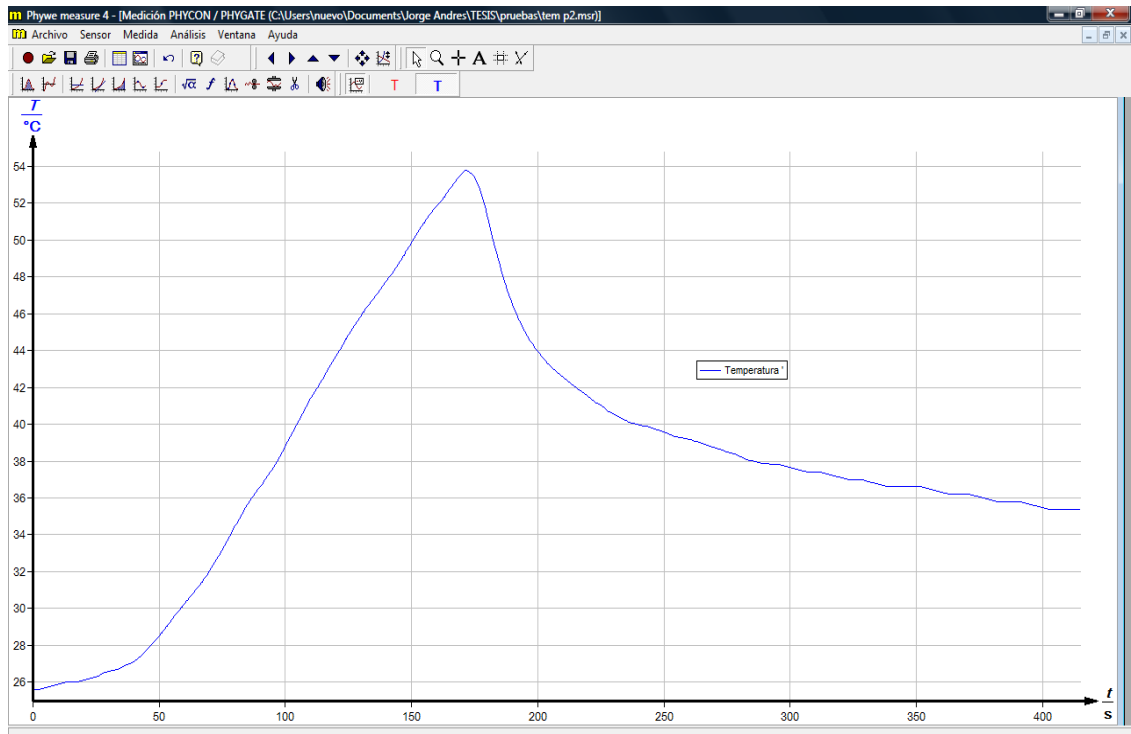


Figura 6.6: Prueba tres de funcionamiento de la variación de Temperatura en Measure curva suavizada

## PRACTICA DE HUMEDAD

Para las 3 diferentes pruebas de funcionamiento, se partirá de la humedad ambiente la misma que deberá mantenerse durante unos minutos, a continuación deberá subir a una humedad superior, para posteriormente descender a una temperatura ambiente en la que deberá mantenerse por unos minutos para dar por finalizado el funcionamiento del sensor.

# PRUEBA 1

## PARAMETROS

| HUMEDAD  | % RELATIVA |
|----------|------------|
| AMBIENTE | 50         |
| SUPERIOR | 80         |
| AMBIENTE | 50         |

Tabla 6.4: Parámetros de funcionamiento prueba uno para la variación de Humedad.

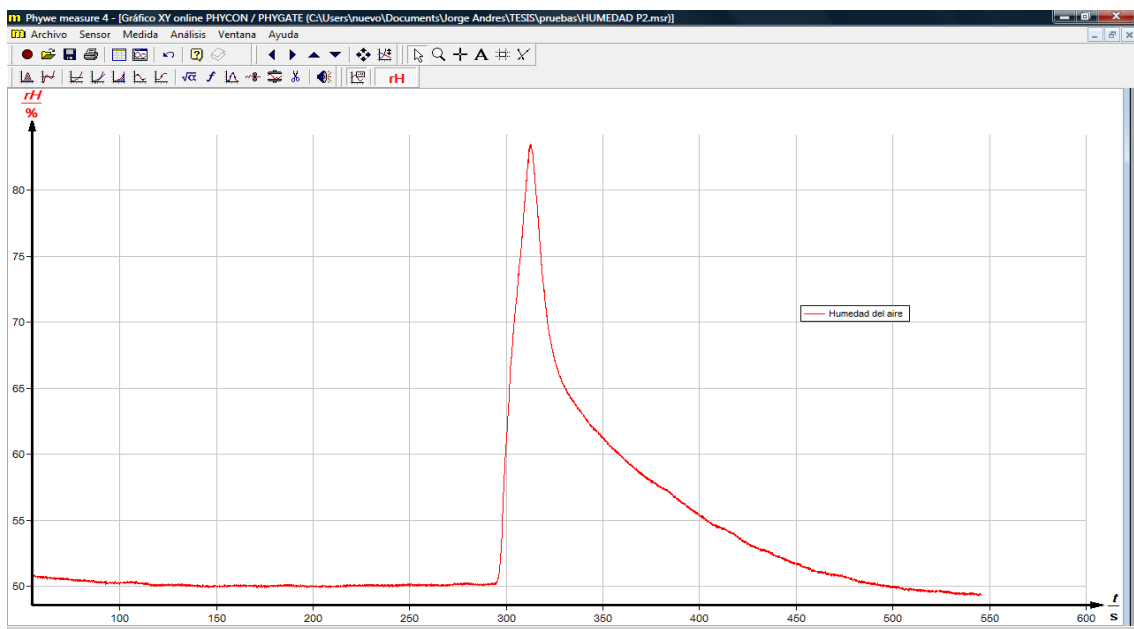


Figura 6.7: Prueba uno de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure

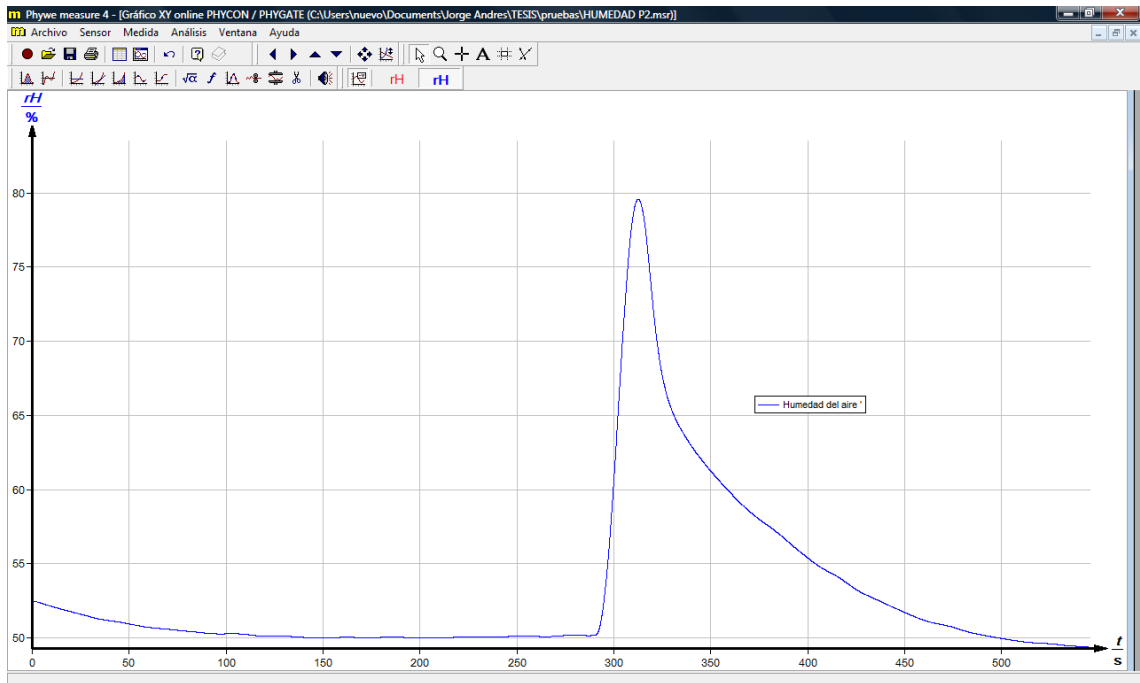


Figura 6.8: Prueba uno de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure curva suavizada

## PRUEBA 2

### PARAMETROS

| HUMEDAD  | % RELATIVA |
|----------|------------|
| AMBIENTE | 49         |
| SUPERIOR | 85         |
| AMBIENTE | 49         |

Tabla 6.5: Parámetros de funcionamiento prueba dos para la variación de Humedad.

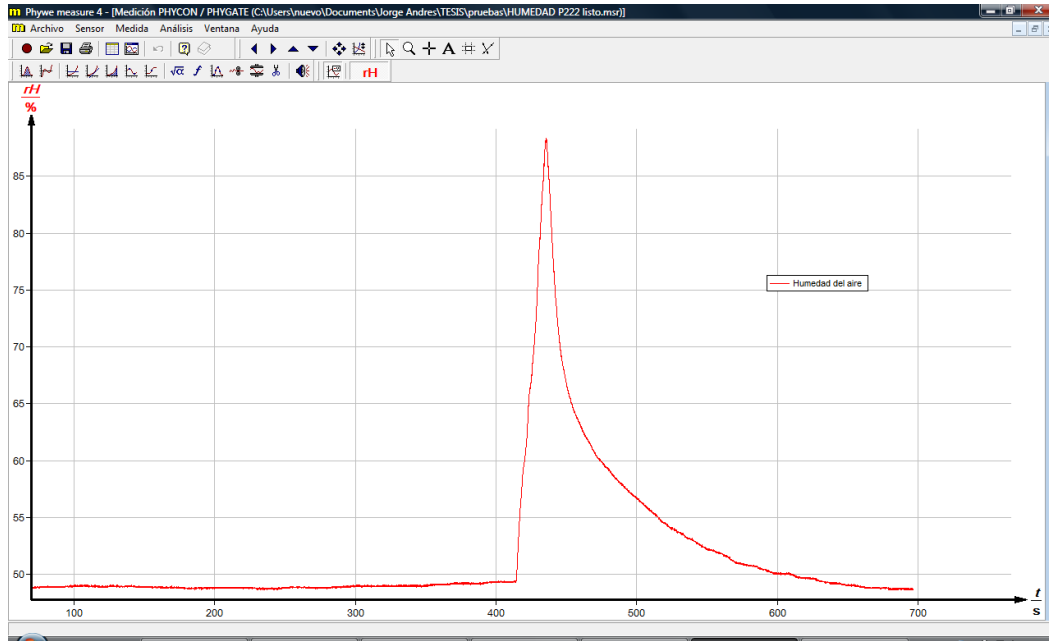


Figura 6.9: Prueba dos de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure

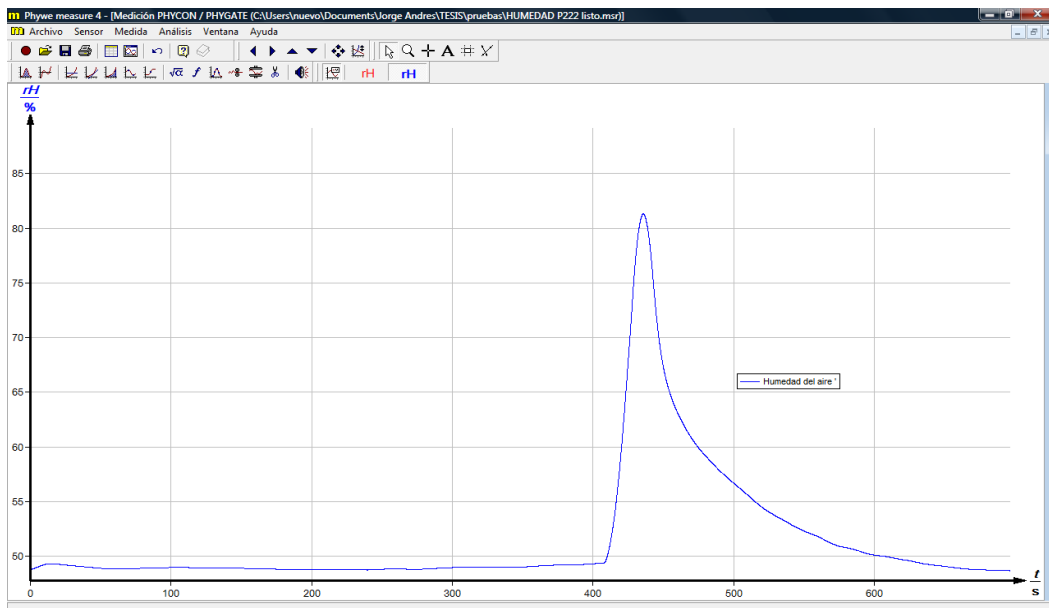


Figura 6.10: Prueba dos de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure  
curva suavizada

### PRUEBA 3

### PARAMETROS

| HUMEDAD  | % RELATIVA |
|----------|------------|
| AMBIENTE | 50         |
| SUPERIOR | 90         |
| AMBIENTE | 50         |

Tabla 6.6: Parámetros de funcionamiento prueba tres para la variación de Humedad.

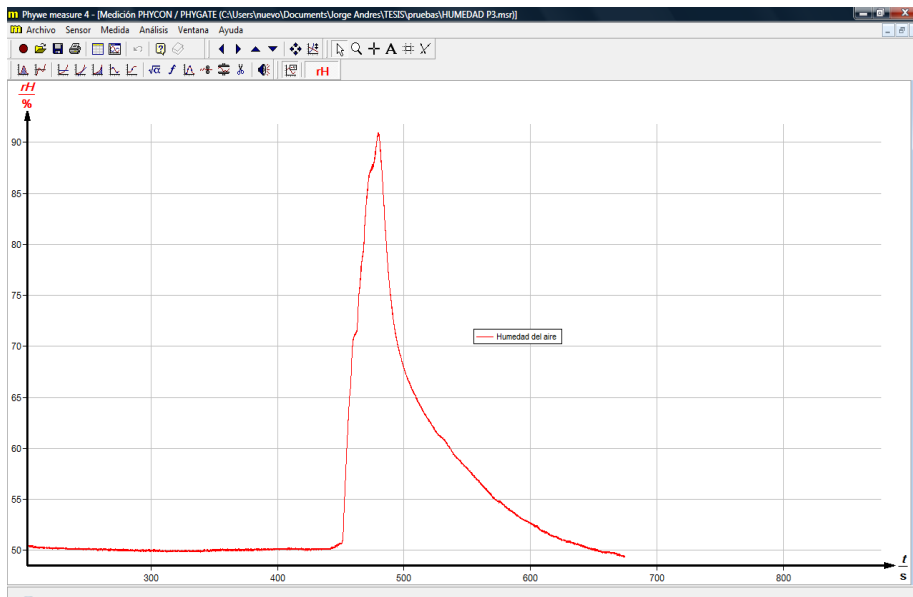


Figura 6.11: Prueba tres de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure

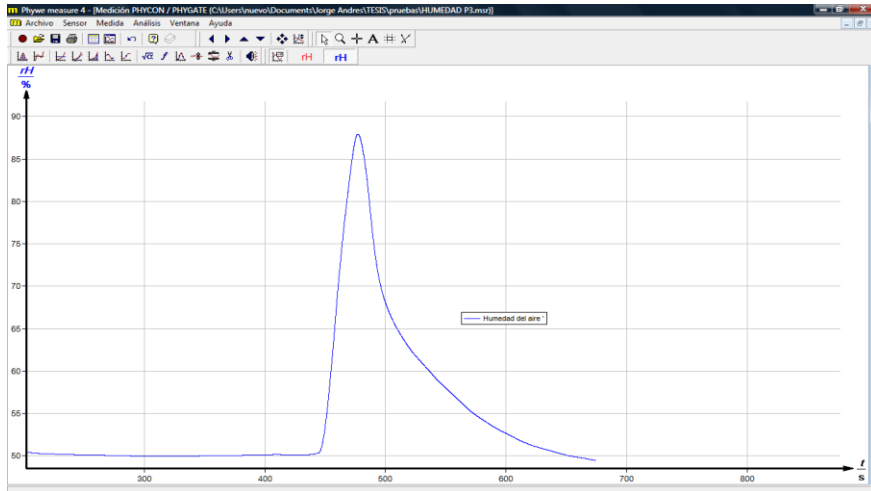


Figura 6.12: Prueba tres de funcionamiento de la variación de Humedad en Measure curva suavizada

## 6.6 Resultados

Luego de verificar el correcto funcionamiento de las partes y elementos del equipo se obtuvieron los siguientes resultados:

| PRUEBA | TEMPERATURA | VALOR TEORICO<br>[°C] | VALOR REAL<br>[°C] | DIFERENCIA<br>[°C] | %<br>ERROR |
|--------|-------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------|
| 1      | AMBIENTE    | 24                    | 24                 | 0                  | 0          |
|        | SUPERIOR    | 40                    | 41,5               | 1,5                | 3,75       |
|        | INFERIOR    | 35                    | 34,5               | 0,5                | 1,43       |
| 2      | AMBIENTE    | 26                    | 25,6               | 0,4                | 1,54       |
|        | SUPERIOR    | 55                    | 54,2               | 0,8                | 1,45       |
|        | INFERIOR    | 35                    | 35,4               | 0,4                | 1,14       |
| 3      | AMBIENTE    | 26                    | 26,4               | 0,4                | 1,54       |
|        | SUPERIOR    | 60                    | 57,8               | 2,2                | 3,67       |
|        | INFERIOR    | 35                    | 35,8               | 0,8                | 2,29       |

Tabla 6.7: Resultados de las pruebas de Temperatura

| <b>PRUEBA</b> | <b>HUMEDAD RELATIVA</b> | <b>VALOR TEORICO %</b> | <b>VALOR REAL %</b> | <b>DIFERENCIA %</b> | <b>% ERROR</b> |
|---------------|-------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| <b>1</b>      | AMBIENTE                | 50                     | 50,2                | 0,2                 | 0,40           |
|               | SUPERIOR                | 80                     | 81,8                | 1,8                 | 2,25           |
|               | AMBIENTE                | 50                     | 49,3                | 0,7                 | 1,40           |
| <b>2</b>      | AMBIENTE                | 49                     | 49,2                | 0,2                 | 0,41           |
|               | SUPERIOR                | 85                     | 88,35               | 3,35                | 3,94           |
|               | AMBIENTE                | 49                     | 48,7                | 0,3                 | 0,61           |
| <b>3</b>      | AMBIENTE                | 50                     | 50,4                | 0,4                 | 0,80           |
|               | SUPERIOR                | 90                     | 90,9                | 0,9                 | 1,00           |
|               | AMBIENTE                | 50                     | 49,4                | 0,6                 | 1,20           |

Tabla 6.8: Resultados de las pruebas de Humedad

Los resultados obtenidos en la variación de Humedad y Temperatura dentro de un ambiente cerrado son satisfactorios, ya que los mismos no presentan un error mayor al aceptable para diferentes prácticas de laboratorio que es del 5%.



## **CAPITULO 7**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO**

#### **7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO**

##### **ANTECEDENTES**

- El presente proyecto fue financiado por los estudiantes ejecutores del proyecto en conjunto con el Laboratorio de Automatización Industrial del DECEM, el cual facilitó algunos de las partes necesarias para la construcción del equipo.
- Para realizar el análisis económico se tomaron en cuenta todas las partes que fueron entregadas por el laboratorio tanto como las adquiridas por los estudiantes para la construcción del proyecto.
- Se realizó un análisis costo beneficio, comparando el equipo con otros equipos de características similares que ofrece el mercado para estas aplicaciones.
- No es necesario realizar un análisis de la recuperación de la inversión del capital, ya que el proyecto es un equipo didáctico para Laboratorio donde

los beneficiados directos son los estudiantes y de esta manera se ve reflejado en el aporte a la preparación integral de los alumnos de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

## 7.1.2 COSTOS DEL EQUIPO

### 7.1.2.1 Costos Directos

El costo de la ingeniería de los dos ejecutores y sus respectivos directores para la realización del proyecto durante los siete meses que duró el mismo es el siguiente:

| <b>COSTOS DE REMUNERACIONES</b> |                     |                       |                    |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| <b>No</b>                       | <b>Descripción</b>  | <b>Costo Unitario</b> | <b>Costo Total</b> |
| 1                               | Director de Tesis   | 500,00                | 500,00             |
| 1                               | Codirector de Tesis | 500,00                | 500,00             |
| 2                               | Estudiantes         | 300,00                | 600,00             |
| <b>Total</b>                    |                     |                       | <b>1600,00</b>     |

Tabla 7.1 Costo de Remuneraciones

Costos de materiales, para poder construir el equipo y cumplir con los objetivos propuestos se necesito de los siguientes materiales:

| <b>LISTA DE MATERIALES DEL EQUIPO</b> |                             |                       |                    |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Cantidad</b>                       | <b>Descripción</b>          | <b>Costo Unitario</b> | <b>Costo Total</b> |
| 1                                     | Tubo PVC agua caliente      | 15,00                 | 15,00              |
| 5                                     | Conexiones de bronce        | 2,50                  | 12,50              |
| 4                                     | Codo compresión bronce      | 2,84                  | 11,36              |
| 4                                     | Tuerca de compresión bronce | 3,50                  | 10,50              |
| 10                                    | Anillo de compresión bronce | 0,40                  | 4,00               |
| 2                                     | Terminales macho            | 0,10                  | 0,20               |

|     |                                    |              |               |
|-----|------------------------------------|--------------|---------------|
| 4   | Abrazaderas titán                  | 2,16         | 8,64          |
| 2   | Cable de asbesto #16               | 3,50         | 7,00          |
| 3   | Interruptor ojo de cangrejo        | 4,00         | 12,00         |
| 1   | Unión polipropileno                | 2,83         | 2,83          |
| 10  | Amarras                            | 0,25         | 2,50          |
| 1   | Conectores                         | 4,60         | 4,60          |
| 1   | Dimmer                             | 10,50        | 10,50         |
| 1   | Placa dimmer                       | 0,50         | 0,50          |
| 100 | Remaches                           | 0,05         | 5,00          |
| 1   | Bisagra galvanizada                | 0,04         | 0,04          |
| 1   | Taipe imán                         | 3,30         | 3,30          |
| 1   | Plancha de Lana de vidrio          | 4,50         | 4,50          |
| 1   | Controlador de temperatura         | 85,00        | 85,00         |
| 1   | Contactador                        | 12,70        | 12,70         |
| 1   | Deshumidificador                   | 170,00       | 170,00        |
| 1   | Acople deshumidificador            | 35,00        | 35,00         |
| 4   | Racores                            | 3,80         | 15,20         |
| 1   | Relé para controlador              | 8,40         | 8,40          |
| 1   | Sensor de humedad                  | 80,00        | 80,00         |
| 1   | Sensor de temperatura              | 60,00        | 60,00         |
| 1   | Caja de equipos                    | 25,00        | 25,00         |
| 2   | Transformadores 110v a 12 v        | 15,00        | 30,00         |
| 1   | Ducto de aluminio                  | 7,50         | 7,50          |
| 1   | Cable de adquisición de datos      | 60,00        | 60,00         |
| 2   | Ventiladores                       | 4,30         | 8,60          |
| 2   | Tapones                            | 3,35         | 6,70          |
| 1   | Horno eléctrico                    | 160,00       | 160,00        |
| 1   | Cierre de puerta                   | 15,00        | 15,00         |
| 1   | Borde de protección                | 8,00         | 8,00          |
| 1   | Plancha para aislamiento de puerta | 5,00         | 5,00          |
|     |                                    | <b>Total</b> | <b>907,07</b> |

Tabla 7.2: Lista de materiales y precios

El total de los costos directos es el siguiente:

$$\text{Costos Directos} = 1600.00 + 907.07$$

$$\text{Costos Directos} = \$ 2507,07$$

### 7.1.2.2 Costos Indirectos

Dentro de este rubro se contempla: herramientas el transporte de los materiales, planificación del proyecto, impresión de memoria técnica y planos.

| <b>COSTOS INDIRECTOS</b> |                    |
|--------------------------|--------------------|
| <b>Descripción</b>       | <b>Costo Total</b> |
| Herramientas             | 80,00              |
| Transporte               | 350,00             |
| Suministros de oficina   | 100,00             |
| Impresiones y Plotter    | 200,00             |
| Imprevistos              | 100,00             |
| <b>Total</b>             | <b>830,00</b>      |

Tabla 7.3 Lista de Costos Indirectos

El total de los costos directos es el siguiente:

$$\text{Costos Indirectos} = \$ 830.00$$

### 7.1.3 COSTO TOTAL DEL EQUIPO

El costo total de equipo una vez materializado resulta de la sumatoria de todos los costos antes mencionados:

Costo total del Equipo = costos directos + costos indirectos

Costo Total del Equipo = \$2507.07+ \$830.00

**Costo Total del Equipo = \$ 3337.07**

### 7.1.4 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Se realizaran un análisis de costo beneficio del proyecto por lo cual se detallan equipos didácticos de automatización con precios aproximados, existentes en el mercado que se ajusten a los requerimientos del Laboratorio.

| <b>EQUIPOS EN EL MERCADO</b>                               |                                    |                    |
|--|------------------------------------|--------------------|
| <b>Descripción</b>   | <b>Ubicación</b>                   | <b>Costo total</b> |
| Cámara Ambiental<br>Controlada De Humedad Y<br>Temperatura | COLOMBIA<br>Valle Del Cauca (Cali) | \$ 9500.00         |
| Cámara Ambiental<br>Bioclimática - A-50624                 | MEXICO<br>MEXICO DF                | \$12000.00         |

Tabla 7.4 Costos de Equipos Similares en el Mercado

La adquisición de un equipo de esta naturaleza para el Laboratorio sería demasiado alta, según los costos mostrados en la tabla 7.4 y comparando con el valor que se obtuvo de realizar el presente equipo se logró un ahorro mayor del 100%, que es de beneficio directo para la Universidad

Una vez terminado el análisis Económico Financiero del proyecto, se puede concluir que además de ser necesario el equipo para las prácticas de laboratorio es completamente conveniente en relación a los costos de equipos similares que se presenta en el mercado.

## **CAPITULO 8**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **8.1 CONCLUSIONES**

- Se construyó e implementó el equipo en su totalidad, seleccionando de manera adecuada sensores y actuadores para que los resultados sean los requeridos y óptimos, brindando la oportunidad a los estudiantes de conocer el funcionamiento de forma práctica y verificar el funcionamiento de los mismos.
- Para el diseño del vaporizador se seleccionó uno de electrodos ya que tiene una rápida generación de vapor mediante el paso directo de corriente a través del agua, teniendo en cuenta que a mayor contenido de sales del agua es mayor la conductividad eléctrica y por tanto la intensidad que circula, lo que a su vez implica un mayor caudal.
- La selección del deshumidificador se realizó tomando en cuenta la cantidad de partículas de agua introducida en el ambiente cerrado para la variación de humedad,

mediante el uso del vaporizador; la capacidad del deshumidificador es de 8 onzas por día, lo que satisface de forma satisfactoria su utilización.

- La selección de lana de virio como aislante térmico es el adecuado, ya que esta minimiza la transferencia de calor al cubículo exterior como se puede verificar con el promedio de las temperaturas calculadas en la superficie de contacto del cubículo exterior que es de 26 ° C (70 °F) la misma que permite al estudiante manipular al equipo sin correr ningún riesgo de quemadura.
- Una vez terminado el análisis económico financiero del proyecto, se puede concluir que además de ser necesario el equipo para las prácticas de laboratorio, es completamente conveniente en relación a los costos de equipos similares que se presenta en el mercado.
- Los resultados obtenidos en la variación de Humedad y Temperatura dentro de un ambiente cerrado son satisfactorios, ya que los mismos no presentan un error mayor al aceptable para diferentes prácticas de laboratorio que es del 5%.
- Se ha conseguido obtener la interacción de los estudiantes a través de un interfaz maquina computadora, para la verificación de sensores de humedad y temperatura para lo cual se ha diseñado y construido un pequeño recinto cerrado que cumple con los requerimientos didácticos del Laboratorio de Automatización Industrial del DECEM.
- A pesar de que el funcionamiento del equipo es el óptimo y deseado, tiene sus limitaciones al utilizar como sensor patrón los provistos por el Laboratorio de Automatización Industrial; para que alcance del proyecto sea mayor es necesario utilizar sensores certificados, pero esto a su vez incrementan el costo del equipo.



## 8.2 RECOMENDACIONES

- Al trabajar el equipo con fluidos a altas temperaturas, si debe tener la suficiente precaución o pueden ocurrir graves accidentes. Es por esto, que se recomienda operar el equipo con las reglas básicas de un laboratorio.
- Para el correcto funcionamiento del vaporizador se recomienda utilizar 350 ml de agua, lo que proporciona un flujo de vapor adecuado para la variación de la humedad en el ambiente cerrado.
- Al trabajar el equipo con agua se recomienda tener precaución en el llenado del reservorio, para evitar posibles daños en las conexiones eléctricas.
- Se recomienda para todas las prácticas de laboratorio seguir las especificaciones del manual de usuario, para no correr el alto riesgo de obtener resultados erróneos; y de esta forma verificar el funcionamiento de los sensores evaluados.
- Al momento de realizar la práctica de verificación de los sensores de humedad, se debe realizar un precalentamiento del equipo, durante 10 minutos, lo que genera un óptimo estado al deshumidificador para realizar de forma adecuada las prácticas.
- Se recomienda siempre al finalizar la práctica realizar el drenado del reservorio, para evitar la corrosión de las partes metálicas y prolongar su vida útil.

## BIBLIOGRAFIA

- Ing. ECHEVERRIA. Luis. Apuntes de Instrumentación
- Ing. SORIA, Ernesto. Apuntes de Termodinámica
- Ing. MONTENEGRO. Fernando; Apuntes de Transferencia de Calor
- Ing. TERNEUS. Apuntes de Fluidos
- MAYNE, J. Sensores Acondicionadores y Procesadores de Señal
- INEN. Código de Dibujo Técnico; Ecuador/2000
- CD. Measure. Manual de Usuario Measure. 2009
- FULL GAUGE. Manual MT-512 controlador
- LOPEZ, O. y PEÑA, A. Cartas Psicométricas
- INCROPERA, F. y DEWIT D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4 ta ed. Prentice Hall hispanoamericana SA. México. 1999
- CENGEL, Y. Transferencia de Calor y masa. Traducido del ingles por José Pérez y Javier Enríquez. 3era ed. México, MacGraw Hill, 2007
- MOTT, L. R. Mecánica de Fluidos Aplicada. Traducido por Carlos Cordero. 4ta ed. México, Pearson, s.f.
- GIECK, K. Manual de Formulas Técnicas. Traducido por Dr. Víctor Gerez . 19ª ed. México, Alfaomega, 1993
- <http://www.idm-instrumentos.es/Sensores/gas.htm>
- <http://www.fischer-barometer.de/spanisch/index.htm?luftfeuchte/messverfahren.htm>
- <http://www.earthssystemssolutions.com/assets/2tenSP.html>
- [http://www.redeweb.com/\\_txt/636/68.pdf](http://www.redeweb.com/_txt/636/68.pdf)
- <http://www.monografias.com/trabajos10/humed/humed.shtml>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Humidificador>
- [http://www.consumer.es/web/es/economia\\_domestica/servicios-y-hogar/2005/10/05/145913.php?page=3](http://www.consumer.es/web/es/economia_domestica/servicios-y-hogar/2005/10/05/145913.php?page=3)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Deshumidificador>
- [http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-11462419-camara-ambiental-controlada-de-humedad-y-temperatura-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-11462419-camara-ambiental-controlada-de-humedad-y-temperatura-_JM)

# **ANEXOS**



## **Anexo A**

Manual de Usuario



## **Anexo B**

Software measure





## **Anexo C**

### Cartas Psicométricas



## **Anexo D**

### Tablas de Propiedades



## **Anexo E**

Manual del controlador de temperatura



# PLANOS