

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO DE UN EQUIPO PARA MEDIR PERMEABILIDAD AL VAPOR
DE AGUA EN PELICULAS FLEXIBLES.”**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Multidisciplinario de Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERA EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Presentado por:

MACIAS SANCHEZ VICTOR HUGO

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, quienes se convirtieron en un pilar fundamental en esta etapa de mi vida. Mi hermana María Belén y a Fernandita, mi primera sobrinita que me ha dado esta vida. Todos ellos se convirtieron en mi motivación a lo largo de mi etapa de preparación.


Termino esta dedicatoria, agradeciendo a todos los profesores que me apoyaron provocando una inmensa admiración hacia ellos.

AGRADECIMIENTOS

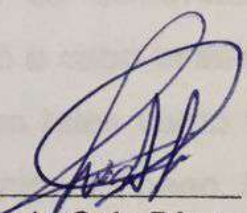
En primer lugar, agradezco a Dios por siempre darme la oportunidad de alcanzar nuevas metas y de conocer a personas hermosas en el camino, a mis padres por ser mi ejemplo y darme las fuerzas para seguir adelante y la Espol que siempre me abrió sus puertas para llegar más lejos.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por Víctor Hugo Macías Sánchez y el director Ricardo Alfredo Cajo Díaz y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de ingeniería en electricidad y computación (FIEC) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Víctor Macías S.
Autor



Ricardo Cajo Díaz
Director

RESUMEN

Actualmente el uso de plásticos en las industrias como envases se ha incrementado con respecto a los años anteriores. Esto debido, a la facilidad de su elaboración, sin embargo, esto ha llevado a que la cantidad de desechos aumente de manera considerable. una alternativa sería reemplazar esta problemática con algo que disminuya considerablemente este hecho. Esa alternativa debe ser algo biodegradable y con esto le damos paso a la elaboración de envases con polímeros biodegradable. No obstante, para su uso en el área alimenticia se requiere que cumplan con ciertos parámetros de permeabilidad al vapor de agua para garantizar la calidad de sus productos y que esta opción sea la mejor. De aquí nace la solución con el diseño de un equipo el cual permita realizar el ensayo ASTM E-95-96 y concluir si dichos polímeros se pueden o no implementarse como envases de alimentos. Con la elaboración de matriz de decisión para cada sistema, se llevó a cabo la selección de ciertas alternativas planteadas para la elaboración del equipo tales como fuente de calor, sensores de temperatura, sensores de humedad y medición del peso. Siguiendo las recomendaciones para este ensayo, dadas por la ASTM, se planteó una recámara donde las muestras serían evaluadas bajo ciertas condiciones como temperatura de operación 25 grados, la humedad relativa 53% al 57%, y que la resolución del sistema de medición de peso sea como mínimo de 1mg. Se llevo a cabo un análisis de operación continua del sistema y por tanto determinar el tipo de componentes a utilizar, los cuales fueron sensores de precisión tanto de temperatura como de humedad y un controlador que soporte estar encendido durante más de 24 horas. Las simulaciones mostraron la calidad del equipo, así como su rango de operación el cual cumple con los requerimientos de la ASTM, además el equipo está diseñado para monitorear todas las variables dentro y fuera de las muestras de esta forma, obtener un sistema completamente automatizado.

Palabras claves: permeabilidad, automatizado, biodegradable

ABSTRACT

Currently the use of plastics in industries as packaging has increased with respect to previous years. This is due to the ease of processing; however, this has led to increase the amount of waste considerably. An alternative would be to replace this problem with something that considerably diminishes this fact. That alternative must be something biodegradable and with this we give way to the development of packages with biodegradable polymers. However, for use in the food area is required to comply with certain parameters of water vapor permeability to ensure the quality of their products and that this option is the best. From this the solution is born with the design of a team which allows to carry out the test ASTM E-95-96 and to conclude whether these polymers can be or not implemented as food containers.

With the elaboration of decision matrix for each system, the selection of certain alternatives for the elaboration of equipment such as heat source, temperature sensors, humidity sensors and weight measurement was carried out. Following the recommendations for this test, given by the ASTM, a room was proposed where the samples would be evaluated under certain conditions as operating temperature 25 degrees, relative humidity 53% to 57%, and that the resolution of the weight measurement system is at least 1mg.

A continuous operation analysis of the system was carried out and therefore the type of components to be used were determined, which were temperature and humidity precision sensors and a controller that supports being on for more than 24 hours. The simulations showed the quality of the equipment, as well as its operating range which meets the requirements of the ASTM, in addition the equipment is designed to monitor all the variables inside and outside the samples in this way, to obtain a fully automated system.

Keywords: permeameter, automated, biodegradable.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	11
1. Introducción	11
1.1 Descripción del problema	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo General	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Marco teórico	14
1.3.1 Películas comestibles	14
1.3.2 Medición de permeabilidad	15
1.3.3 Desecadores	15
1.3.4 Control y monitoreo de procesos	16
1.3.5 Sistema de control	17
1.3.6 Transferencia de calor	19
CAPÍTULO 2	21
2. Metodología	21
2.1 Requerimientos de diseño	22
2.2 Levantamiento de información	23

2.3	Generación de conceptos	23
2.3.1	Descomposición funcional.....	23
2.3.2	Carta morfológica.....	23
2.4	Evaluación de conceptos	25
2.4.1	Tipo de controlador	25
2.4.2	Sensor de temperatura	29
2.4.3	Sensor de humedad.....	32
2.4.4	Fuente de calor	35
2.4.5	Sistema de extracción de humedad	40
2.4.6	Sistema de medición de peso	42
2.5	Selección de diseño	46
2.6	Diseño conceptual	47
2.7	Configuración del diseño	48
2.7.1	Manejo de raspberry pi 3.....	48
2.7.2	Interfaz en labview	56
2.7.3	Comunicación entre labview y raspberry	61
2.7.4	Control de temperatura	63
CAPÍTULO 3		65
3.	Resultados.....	65
3.1	Sistema de control.....	65
3.1.1	Temperatura	65
3.2	Monitoreo de variables	68
3.2.1	Desecador 1.....	68
3.2.2	Desecador 2.....	69
3.2.3	Desecador 3.....	70
3.3	Elaboración y evaluación del prototipo	71

3.4	Análisis de costos	75
3.4.1	Costos directos	75
3.4.2	Costos indirectos.....	75
CAPÍTULO 4		76
4.	Discusión y Conclusiones	76
4.1	Discusión de resultados.....	76
4.2	Conclusiones	77
4.3	Recomendaciones.....	78
BIBLIOGRAFÍA		79
APÉNDICES.....		80
APÉNDICE A.....		80
APÉNDICE B.....		81
APÉNDICE C		83
APÉNDICE D		84
APÉNDICE E.....		84

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción
ASTM	Asociación americana de ensayo de materiales

SIMBOLOGÍA

°C Grados centígrados

HZ Hertz

HR Humedad relativa

V Voltio

A Amperio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Condiciones actuales en las que se realizó el ensayo	12
Figura 1.2 Medidor permeabilidad al vapor de agua w3-030	15
Figura 1.3 Desecadora	16
Figura 1.4 Balanza de precisión wtc-200	17
Figura 1.5: Esquema de sistema de lazo abierto.	18
Figura 1.6: Esquema de sistema de control de lazo cerrado.	18
Figura 1.7 Mecanismos de transferencia de calor.....	19
Figura 2.1 Diagrama de flujo	21
Figura 2.2 Esquema de temperatura de un bombillo típico de 60W	36
Figura 2.3. Ejemplo de resistencia eléctrica.....	37
Figura 2.4 Balanza electrónica para laboratorio.....	43
Figura 2.5 Balanza hidráulica, uso industrial.....	44
Figura 2.6 funcionamiento de las galgas extensiométricas	44
Figura 2.7. Diseño conceptual	47
Figura 2.8 Configuración PuTTY	49
Figura 2.9 Instalación de librerías	50
Figura 2.10 Instalación de Adafruit y última versión de Python	50
Figura 2.11 Código Python DHT11	51
Figura 2.12 Visualización de datos del DHT11	51
Figura 2.13 Diagrama de conexiones del DS18B20.	52
Figura 2.14 Habilitar comunicación ONE-WIRE.....	53
Figura 2.15 Primera parte del código del DS18B20.	53
Figura 2.16 Segunda parte del código del DS18B20.	54
Figura 2.17 Configuración del pin 4 de la raspberry como salida.....	55
Figura 2.18 Socket en Python.....	56
Figura 2.19 Código para esperar conexión con algún cliente.	56
Figura 2.20 Bloque Open TCP Labview.....	57
Figura 2.21 Bloque Read TCP Labview.	57
Figura 2.22 Bloque Close TCP Labview.	57

Figura 2.23 Diagrama de bloques del subvi salto.	58
Figura 2.24 Panel frontal de menú.....	59
Figura 2.25 Diagrama de bloques de menú.	60
Figura 2.26 Diagrama de bloques del guardado en Excel.....	61
Figura 2.27 Envío de datos a labview.	62
Figura 2.28 Lectura de datos desde Python	62
Figura 2.29 Relé 5v 2 canales	63
Figura 3.1 Relé 5v 2 canales.	65
Figura 3.2 Fuente de calor.....	66
Figura 3.3 Excel datos almacenados exterior parte 1.	67
Figura 3.4 Excel datos almacenados exterior parte 2.	68
Figura 3.5 Excel datos almacenados desecador1.	69
Figura 3.6 Excel datos almacenados desecador2.	70
Figura 3.7 Excel datos almacenados desecador3.	71
Figura 3.8. Equipo antes de las modificaciones	72
Figura 3.9. Preparación de los desecadores.....	72
Figura 3.10. Pruebas del prototipo con sensores de temperatura.....	73
Figura 3.11: Etapa de corrección para muestras de temperatura	73
Figura 3.12. Evaluación de sensores de humedad	74
Figura 3.13. Versión final del prototipo	74
Figura A – 1. Panel Frontal de VI principal	80
Figura A - 2. Programa principal en LabViewTM del sistema de monitoreo	81
Figura B – 1. Monitoreo del control de temperatura y humedad parte I	82
Figura B – 2. Monitoreo del control de temperatura y humedad parte II.....	82
Figura C – 1. Creación de funciones en Python.....	83
Figura C – 2. Programa principal en Python.	83
Figura D – 1. Diseño PCB de la conexión de sensores a rasperry.....	84
Figura E – 1. Gráfica temperatura vs tiempo en el exterior.	84
Figura E – 2. Gráfica Humedad vs tiempo en el exterior.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Requerimientos de Diseño.....	22
Tabla 2.2 Carta Morfológica	24
Tabla 2.3 Comparación de criterios para el tipo de controlador	27
Tabla 2.4 Matriz de Decisión para el tipo de controlador	29
Tabla 2.6 Matriz de Decisión para el sensor de temperatura	32
Tabla 2.7 Comparación de criterios para el sensor de humedad	34
Tabla 2.8 Matriz de Decisión para el sensor de humedad	35
Tabla 2.9 Valores de Calificación de criterios	38
Tabla 2.10 Matriz de ponderación para selección de fuente de calor	39
Tabla 2.11 Matriz de selección para fuente de calor.....	40
Tabla 2.12 Comparación de criterios para sistema de extracción de humedad	41
Tabla 2.13 Matriz de Decisión para sistema de extracción de humedad.....	41
Tabla 2.14 Matriz de ponderación para el sistema de medición de peso	45
Tabla 2.15 Matriz de decisión para medición de peso	46
Tabla 3.1. Detalle de costos directos del proyecto.....	75

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de plásticos para el envasado de alimentos se ha incrementado en un periodo relativamente corto, desplazando así al metal y al vidrio. Sin embargo, el plástico convencional a la larga llega a ser perjudicial para la salud y el medio ambiente.

La gran preocupación en la sustitución de los empaques plásticos por empaques biodegradables deriva en la búsqueda de nuevas tecnologías para extender la vida de guardado de los alimentos, los cuales a pesar de sus numerosas ventajas deben cumplir, dos propiedades clave: Resistencia mecánica y Permeabilidad al vapor de agua.

Éste último parámetro se define como la cantidad de agua que atraviesa la superficie de un material en un cierto intervalo de tiempo. Cualquier material con muy baja permeabilidad se considera barrera, siendo la humedad un factor importante al momento de conservar alimentos utilizando polímeros como envoltorio, lo que influiría directamente en el tiempo de vida y la calidad del producto.

Por ello, la implementación de un sistema que permita determinar mediante cálculos la calidad de películas finas de plásticos biodegradables no solamente garantiza un producto en buenas condiciones, sino que además reduce pérdidas en la mayor parte de la línea de distribución, dado que se disminuye la pérdida de producto y se facilita el almacenamiento.

Es de resaltar, además, que la implementación de este equipo facilitaría de sobremanera a estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos, quienes podrían mejorar su formación académica con este ensayo, e incluso, puede replicarse este proyecto en distintos institutos de educación superior.

1.1 Descripción del problema

Actualmente, ESPOLE cuenta con un equipo especializado en la medición de permeabilidad al oxígeno a través de films, pero no se encuentra en estado operativo, y su reparación es muy costosa, así como la adquisición de un equipo de medición de permeabilidad al vapor de agua, en buen estado.

Debido a ello, conociendo el método en el que se basan dichos equipos de medición de permeabilidad, los estudiantes de Ingeniería en Alimentos han optado por improvisar este ensayo construyendo un equipo mediante distintos componentes y accesorios como se muestra en la figura 1.1. Esta configuración permite realizar la medición de forma manual, lo que implica un aumento en tiempos de espera de las tomas de datos, así como la ampliación del margen de error en el sistema.

Analizando el equipo en su estado actual, se puede notar que no posee un sistema automatizado ni una estructura adecuada que pueda garantizar la validez en los valores obtenidos al emplear el método gravimétrico.



Figura 1.1 Condiciones actuales en las que se realizó el ensayo

Fuente: Elaboración propia.

Posee ventiladores de computadora para obligar a circular el aire, lo cual no corresponde a lo requerido por la ASTM, y además no dispone de una

balanza, por lo que las muestras deben ser trasladadas manualmente para la medición alterando los resultados.

El sistema además solo puede operar cercanamente a lo requerido en condiciones de temperatura promedio en la ciudad, pero en días demasiado soleados, o por el contrario en días lluviosos, las pruebas no pueden ser llevadas a cabo.

Por último, a pesar de que el ensayo debe ser realizado en un tiempo total de 24 horas, éste debía ser monitoreado constantemente debido a que los ventiladores tendían a apagarse de manera improvisada.

1.2 Objetivos

Una vez culminado el proyecto, los objetivos propuestos a continuación deberán satisfacer los requerimientos ya mencionados. Éstos objetivos además se enfocarán en los componentes principales del equipo.

1.2.1 Objetivo General

- Diseñar un equipo de medición de permeabilidad al vapor de agua para films plásticos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un equipo que pueda cumplir con el método modificado E96-95 de esta forma, aproximar el valor de permeabilidad al vapor de agua.
- Diseñar la estructura, así como componentes mecánicos del equipo, los cuales permitan la medición de 3 muestras al mismo tiempo.
- Elaborar el sistema de control de regulación de temperatura y humedad, permitiendo mantener en 23°C y 50% respectivamente.

- Desarrollar un sistema automático que permita llevar a cabo la medición, así como la captación y procesamiento de datos, y posteriormente comparar resultados con otro equipo.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Películas comestibles

La definición de películas comestibles se basa en la formación de un conjunto de capas finas en un material el cual es consumible por los seres vivos además de, tener resistencia a la transferencia de agua, solutos de alimentos y gases.

1.3.1.1 Función de las películas

Las películas comestibles no se diseñaron para reemplazar envases no biodegradables ni envases sintéticos. Su elaboración radica en la mejoría de la calidad de los alimentos, además de extender su tiempo de vida de guardado mejorando la economía de los materiales para empaquetamiento.

1.3.1.2 Propiedades mecánicas y de transporte

Las propiedades mecánicas en las películas biodegradable influyen en la flexibilidad y estabilidad a cambios de temperatura, ambientales y físicos.

1.3.1.3 Permeabilidad

Característica particular de un material de oponerse al paso de flujo sin alterar su estructura interna entonces, un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad considerable de fluido en un intervalo de tiempo.

1.3.2 Medición de permeabilidad

El método de medición a usarse es una variación del método gravimétrico ASTM E96-95, para un gradiente de humedad relativa entre 53 a 100%. Las muestras de film son montadas en copas o bases de aluminio, dentro de las cuales se les es agregado 5 ml de agua destilada. Cada copa es introducida dentro de desecadores, los que dentro del horno (el cual mantendría la temperatura) tendrían ventiladores en la parte superior homogeneizando la atmósfera. Cada 1,5 horas se tomaría muestras de peso con los sensores durante 24 horas. Finalmente, mediante análisis de regresión, se obtendría la pendiente de los datos de peso frente al tiempo, dividido para el área del film (McHugh, Bustillo, & Krochta, 1993). En la figura 1.2 se muestra un equipo medidor de permeabilidad que utiliza este método.



Figura 1.2 Medidor permeabilidad al vapor de agua w3-030

Fuente: (Metrotec, 2017)

1.3.3 Desecadores

El desecador esta formado por una estructura de vidrio con tapa ajustada a dicha estructura. el ajuste de su tapa permite que el recipiente formado sea herméticamente cerrado. El desecador busca eliminar la humedad de una sustancia o protegerla de la humedad. En la figura 1.3 se muestra un desecador de laboratorio.



Figura 1.3 Desecadora

Fuente: (TP-laboratorio químico, 2017)

1.3.4 Control y monitoreo de procesos

Los desecadores tienen que estar ubicados en una cámara donde la temperatura y humedad deben permanecer constantes además se debe llevar un monitoreo de temperatura, humedad y peso dentro de cada desecador para que al aplicar el método gravimétrico tenga validez en sus resultados.

1.3.4.1 Control Humedad

Una variación de humedad afecta la velocidad con la que los gases atraviesan la pared del envase (plapiqui, 2016), entonces, es importante mantener un control de la misma en su exterior para que no tenga mayor afectación en los gases ubicados dentro del recipiente. La humedad debe mantenerse a un valor aproximado de 50% por lo tanto cuando dicho valor este por encima de lo que se requiere entonces debe aplicarse alguna técnica adecuada que permita regularla al valor de referencia.

1.3.4.2 Sistema de medición de peso

Debido a que, las muestras que se requiere analizar estarán dentro de un recipiente sellado entonces, el equipo que se vaya a utilizar para monitorear el peso debe tener al menos, comunicación con la computadora para poder realizar las lecturas de manera fácil y evitando complicaciones. En la figura 1.4 se muestra una balanza

con la precisión requerida para la aplicación del método gravimétrico y con comunicación rs232.



Figura 1.4 Balanza de precisión wtc-200

Fuente: (radwag, 2017)

1.3.4.3 Control Temperatura

Cuando se realiza comparaciones en los valores de permeabilidad para varias muestras, una muestra con su respectiva ficha técnica o realizar un monitoreo continuo de la permeabilidad, es necesario que los valores de permeabilidad hayan sido calculados bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad relativa, ya que de lo contrario no se puede comparar directamente. Los sistemas de control de temperatura son los más sencillos debido a las numerosas alternativas que permiten aumentar y disminuir la misma. La temperatura está directamente ligada con el calor esto quiere decir, que, si se desea aumentar la temperatura entonces, debe usarse un equipo que proporcione calor.

1.3.5 Sistema de control

Se denomina sistema de control al conjunto de subsistemas o procesos que tiene como finalidad regular la salida de dichos procesos, esto es, produciendo la salida para una entrada o estímulo dado.

El uso de sistemas de control ha avanzado conforme el paso del tiempo, y ha facilitado de sobremanera los procesos en la industria, no solo reduciendo la interferencia humana en el ciclo, sino que además se consigue precisiones que de otra forma serían imposibles, así como un aumento en la eficiencia del proceso (Nise, 2004). En general los sistemas de control pueden separarse en dos clases:

1.3.5.1 Sistema de lazo abierto

Son comandados por la entrada del sistema, y son incapaces de corregir perturbaciones (Figura 1.5). Ejemplos de esto son sistema de masa resorte, tostadores, etc.

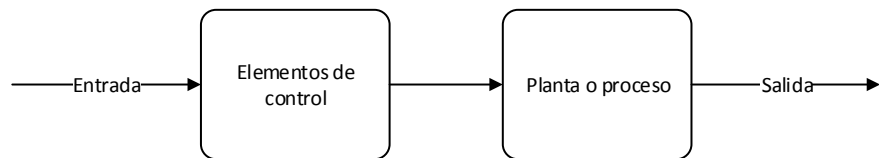


Figura 1.5: Esquema de sistema de lazo abierto.

Fuente: Elaboración propia

1.3.5.2 Sistema de lazo cerrado

Es capaz de compensar perturbaciones mediante la medición de la respuesta de salida, y comparando con la entrada. En caso de haber diferencia la planta actuaría para realizar la corrección (figura 1.6).

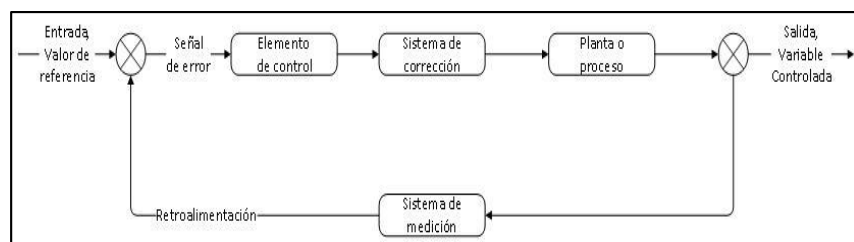


Figura 1.6: Esquema de sistema de control de lazo cerrado.

Fuente: Elaboración propia

1.3.6 Transferencia de calor

Como se ha mencionado, uno de los requisitos para el ensayo es mantener la temperatura del aire en el desecador donde se encuentre la muestra en 25°C, por lo que será necesario una fuente de calor. Sin embargo, el calor no llegará inmediatamente al aire, sino que primero atravesará distintos mecanismos de transferencia de calor, los cuales se pueden esquematizar en la Figura 1.7 a continuación.

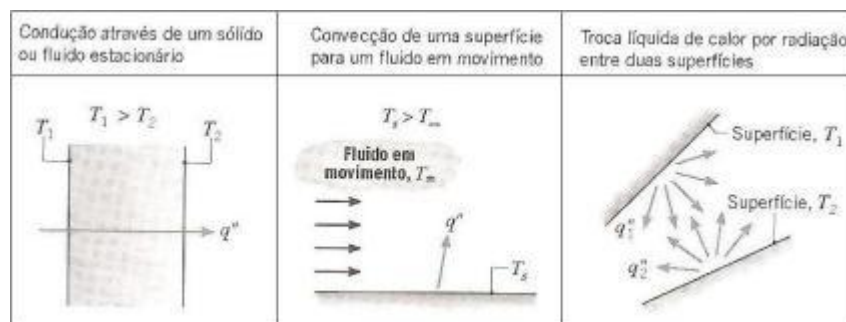


Figura 1.7 Mecanismos de transferencia de calor.

Fuente: Incropera, 1999.

La transferencia de calor se puede definir como la energía en tránsito o circulación debido a un cambio o diferencia de temperaturas. Dadas las condiciones en las cuales se produce el paso de energía, se puede tener:

1.3.6.1 Transferencia de calor por conducción

Es la transferencia de energía entre partículas que interactúan mediante contacto directo, la misma que se da desde partículas más energéticas hacia las menos energéticas. (Incropera, 1999) Generalmente es más representativa en los sólidos, dado que es el estado en el que los átomos se encuentran más unidos entre sí.

1.3.6.2 Transferencia de calor por convección

La transferencia de calor por convección es el traslado de energía debido a la interacción y al movimiento global de las partículas de un fluido. Al haber una diferencia de temperatura, ésta provoca que el

fluido altere su densidad, por lo que las moléculas se trasladarían, provocando movimiento general y a la vez transporte de energía.

1.3.6.3 Transferencia de calor por radiación

La radiación térmica es la liberación de energía por la materia, la cual se encuentra a una determinada temperatura finita. Esta forma de transferencia de energía no precisa de un medio material, diferenciándose de la conducción o la convección, debido a que la energía es transportada en forma de ondas electromagnéticas. (Incropera, 1999).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Existen distintos tipos de metodologías de diseño para poder alcanzar los objetivos planteados en un comienzo. A continuación, en la figura 2.1 se muestra un diagrama de flujo que representa la metodología aplicada en este proyecto.

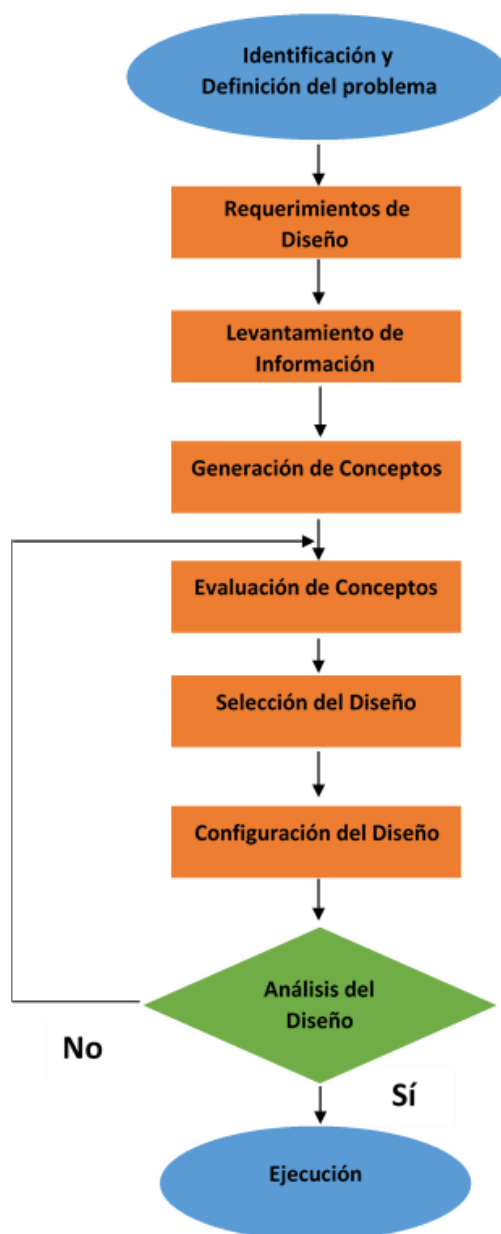


Figura 2.1 Diagrama de flujo

Fuente: Elaboración propia.

El permeámetro de gas que es objeto de estudio en el presente trabajo puede ser rediseñado de tal manera que cuente con un funcionamiento óptimo para conseguir un valor de permeabilidad confiable y al mismo tiempo cubra las necesidades de mejoras en el equipo, requeridas por los usuarios.

Se espera que el equipo automatizado sea capaz de incluir funciones acordes a la tecnología actual que dispone el mercado y brindar diferentes condiciones de prueba para un mismo ensayo. Por estos motivos se ha considerado los siguientes requerimientos:

- Efectuar todas las mediciones manera automática.
- Realizar una misma prueba con dos gases: Nitrógeno y Helio.
- Analizar la permeabilidad con distintos tamaños de núcleos.
- Determinar la permeabilidad corregida (considerando el efecto Klinkenberg).

2.1 Requerimientos de diseño

El equipo debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Estructura de Acero inoxidable, en respuesta a la corrosión.
- Sistema de control de temperatura, incluyendo una fuente de calor, manteniendo la temperatura del aire en las muestras en 23°C.
- Sistema de control de humedad, incluyendo un extractor, manteniendo la humedad del aire en la cámara de 50%.
- Espacio suficiente para colocar y manipular 3 muestras de films a la vez, las cuales irán dentro de desecadoras de 15 cm de diámetro cada una.
- Monitoreo de humedad y temperatura dentro de cada desecador.
- Sistema de medición de peso de un desecador (+/-0,001g).
- Programa de captura y proceso de las lecturas tomadas.

En la tabla 2.1 se especifican los valores del requerimiento de Diseño

Tabla 2.1 Requerimientos de Diseño

Rango de ensayo	(0.1-10,000) g/m ² .24h
Rango temperatura de la cámara	(22 – 25) °C
Exactitud temperatura	+/- 1°C
Rango de humedad de la cámara	(50 – 55) %
Exactitud Humedad	+/- 2 %
Resolución	0.001g
Material de construcción	Acero inoxidable 316
Dimensiones en el espacio	Escala laboratorio
Tipo de montaje	Fácil
Tipo de operación	Batch
Tiempo de funcionamiento	Continuo
Mantenimiento	Fácil
Otros	Hermeticidad

Fuente: Elaboración propia

2.2 Levantamiento de información

Para el desarrollo de este proyecto se procedió a investigar distintas normas, libros y documentos científicos que avalen el diseño del equipo, a fin de garantizar la calidad del mismo. El método recomendado para calcular la permeabilidad del vapor de agua es el ASTM E96.

2.3 Generación de conceptos











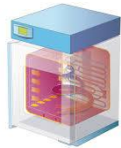

2.3.1 Descomposición funcional



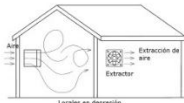
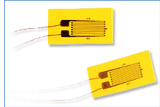


El equipo debe cumplir con las siguientes funciones:

- Tipo de controlador
- Sensor de temperatura
- Sensor de humedad
- Fuente de calor
- Sistema de extracción de humedad
- Sistema de medición de peso

2.3.2 Carta morfológica

Tabla 2.2 Carta Morfológica

Función	Alternativa # 1	Alternativa # 2	Alternativa # 3
<p>Tipo de controlador</p>	 <p>Tarjeta Raspberry Fuente: (Castro, 2014)</p>	 <p>Arduino Fuente: (Arduino, 2016)</p>	 <p>PLC Fuente: (Siemens, 2016)</p>
<p>Sensor de temperatura</p>	 <p>Termocupla tipo T Fuente: (Giva, s.f.)</p>	 <p>PT100 (RTD) Fuente: (PAKARI, s.f.)</p>	 <p>DS18B20 Fuente: (Espruino, 2017)</p>
<p>Sensor de Humedad</p>	 <p>Sensor Capacitivo Fuente: (NDU, 2017)</p>	 <p>Sensor Infrarrojo Fuente: (SuperRobotica, 2017)</p>	 <p>Sensor Digital Fuente: (Prometec, s.f.)</p>
<p>Fuente de calor</p>	 <p>Bombillo Fuente: (Medrano, 2017)</p>	 <p>Cámara de precalentamiento de aire Fuente: (WebProgress, s.f)</p>	 <p>Resistencia Fuente: (Construnario, 2016)</p>

Sistema de extracción de humedad	 <p>Des humidificador Fuente: (SolerPalau, s.f)</p>	 <p>Ventilación por sobrepresión Fuente: (Buro, 2000)</p>	 <p>Ventilación por depresión Fuente: (Buro, 2000)</p>
Sistema de medición de peso	 <p>Galgas extensiométricas Fuente: (Omega, s.f)</p>	 <p>Balanza hidráulica Fuente: (Lazarte, 2012)</p>	 <p>Balanza electrónica Fuente: (Avadtar, s.f)</p>

Fuente: Elaboración propia

2.4 Evaluación de conceptos

2.4.1 Tipo de controlador

Los criterios que gobiernan la selección del tipo de controlador son:

- Costo
- Versatilidad
- Tiempo de operación

2.4.1.1 Raspberry

Raspberry Pi es una computadora diminuta con dimensiones de 85 x 54 milímetros el cual consta de un chip Broadcom BCM2835 con procesador ARM capaz de alcanzar 1 GHz de velocidad, GPU VideoCore IV y 512 MB de memoria RAM. Las últimas versiones de Raspberry como la Raspberry Pi 2 y Raspberry Pi 3 tienen un 1GB de memoria RAM. Para que encienda, necesita de una fuente de

poder (normalmente se utiliza cargador de celular) y para que funcione de un medio de almacenamiento (Raspberry Pi utiliza tarjetas de memoria SD o microSD).

2.4.1.2 Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basado en fácil uso de software. Consiste en un tablero de circuito físico programable (a menudo referido como un microcontrolador) y una pieza de software, o IDE (entorno de desarrollo integrado) que se ejecuta en el ordenador, se utiliza para escribir y cargar el código de computadora a la tarjeta física. Para ello se usa el lenguaje de programación de Arduino, y el software (IDE), sobre la base de procesamiento. Es una plataforma de código abierto que se utiliza para la construcción de proyectos de electrónica (Arduino, 2016).

2.4.1.3 PLC

Un controlador lógico programable o PLC, es un ordenador de tipo digital que se emplea en automatización de procesos industriales electromecánicos, como en el control de procesos para la elaboración de materia prima en las fábricas, juegos mecánicos, o artefactos de iluminación. Este sistema operativo es altamente especializado y optimizado para manejar los eventos entrantes en tiempo real, es decir, en el momento de su ocurrencia. El PLC tiene líneas de entrada, a la que los sensores están conectados a notificar de eventos (tales como la temperatura, el nivel del líquido alcanzó, etc.), y líneas de salida, a los que los actuadores están conectados para efectuar señales de reacciones a los eventos entrantes (como arrancar un motor, abrir / cerrar una válvula, y así sucesivamente). Se utiliza un lenguaje llamado RLL (Lógica de escalera de relé).

2.4.1.4 Selección de la mejor alternativa

En la Tabla 2.3., se compararon los criterios mencionados anteriormente otorgándole la relevancia a los mismos (ponderación), para lo cual se definieron rangos, en base a las entrevistas realizadas a los expertos en cada función definida en la carta morfológica; el mismo procedimiento se realizó para las demás selecciones.

Los rangos por utilizar fueron los siguientes:

- (0-1); Menos importante
- [1-3]; Igual de importante
- [3-5]; Más importante

Tabla 2.3 Comparación de criterios para el tipo de controlador

Criterios por evaluar	Costo	Versatilidad	Tiempo de operación	TOTAL (fila)	Peso
Costo	1	3,2	0,33	4,53	0,32
Versatilidad	0,31	1	0,25	1,56	0,11
Tiempo de operación	3	4	1	8	0,57
TOTAL				14,09	1

Fuente: Elaboración propia

Ahora se presenta los valores ponderados con los cuales se evaluarán las alternativas en función de los criterios antes mencionados:

- 1: Insatisfactorio
- 2: Satisfactorio
- 3: Muy Satisfactorio

En la Tabla 2.4. se muestra la matriz de decisión que funciona de la siguiente manera; el peso que se obtuvo de la comparación de criterios de la Tabla 2.3; es multiplicado con el valor de ponderación que se otorgó a cada una de las alternativas (insatisfactorio, satisfactorio y muy satisfactorio), luego se suman dichos valores para tener un total de cada una. Se finaliza la operación seleccionando la alternativa con el mayor resultado, el mismo procedimiento se realiza en las demás selecciones.

Tabla 2.4 Matriz de Decisión para el tipo de controlador

Criterios a evaluar / Alternativas		Tarjeta Raspberry		Arduino		PLC	
			Peso				
Costo	0,32	2	0,64	3	0,96	1	0,32
Versatilidad	0,11	3	0,33	2	0,22	3	0,33
Tiempo de operación	0,57	3	1,71	2	1,14	3	1,71
TOTAL		2,68		2,32		2,36	

Fuente: Elaboración propia

La alternativa escogida para el monitoreo y control es Raspberry, la cual ofreciendo diversas funcionalidades se considera no muy costosa en comparación con un PLC. Su versatilidad se refleja en la gama de aplicaciones prácticas como censar variables y controlar dispositivos que se puedan ejecutar a un tiempo de operación largo y sin para a diferencia de un Arduino. Por todo esto se considera esta opción como la ganadora.

2.4.2 Sensor de temperatura

Los criterios que restringen la selección del sensor son:

- Costo
- Resolución
- Facilidad de instalación
- Disponibilidad
- Tiempo de respuesta

2.4.2.1 Termocupla tipo k

Las termocuplas es uno de los sensores mas empleados en los sistemas de control de las industrias. Su principio de funcionamiento

se basa en el efecto Seebeck, que consiste en unir dos alambres de diferente material en un extremo, al calentar cerca de la unión de los metales se genera una diferencia de voltaje muy pequeño, la salida esta en milivoltios. El voltaje medido es proporcional a la diferencia de temperaturas. Existen siete clases de termocuplas las cuales se asignan el nombre con letras elaboradas por el Instrument Society of America (ISA). No se recomienda utilizar las termocuplas en lugares donde el sitio de medición y el instrumento están lejos debido, a las interferencias eléctricas.

2.4.2.2 Termistor LM35

El termistor LM35 es un sensor de temperatura que varia su resistencia en forma proporcional a la variación de temperatura. La ventaja del LM35 frente a otro sensor es el bajo costo y el pequeño encapsulado que posee. No necesita circuitería adicional ni métodos de calibración para funcionar, el rango de medida abarca desde -55°C hasta los 150°C. la señal adquirida por este sensor es analógica y debido a su pequeño tamaño, se puede acondicionar cualquier lugar de manera que mantenga el sensor en funcionamiento continuo y trabajando de forma óptima.

2.4.2.3 Sensor digital DS18B20

El sensor de temperatura DS18B20 trabaja con información digital. Cuenta con tres terminales: Gnd, Vcc y Data. La comunicación empleada es de tipo OneWire. Este protocolo envia y recibe datos utilizando un solo cable.

Este sensor posee las siguientes características:

- Resolución de 9 hasta 12 bits
- Rango de operación de -50 a 125 grados Centígrados
- Precisión de +- 0.5 grados

2.4.2.4 Selección de la mejor alternativa

En la tabla 2.5 se compararon los criterios mencionados anteriormente para poder otorgar relevancia a los mismos(peso).

Tabla 2.5 Comparación de criterios para el sensor de temperatura

Criterios a evaluar	Costo	Resolución	Facilidad de instalación	Disponibilidad	Tiempo de respuesta	TOTAL (fila)	Peso
Costo	1	1,25	1,43	1,43	0,33	5,44	0,19
Resolución	0,8	1	1,25	1,25	1	5,3	0,19
Facilidad de instalación	0,7	0,8	1	1	0,5	4	0,14
Disponibilidad	0,7	0,8	1	1	0,33	3,83	0,13
Tiempo de respuesta	3	1	2	3	1	10	0,35
TOTAL						28,57	1

Fuente: Elaboración propia

Ahora se presenta los valores ponderados con los cuales se evaluarán las alternativas en función de los criterios antes mencionados:

- 1: Insatisfactorio
- 2: Satisfactorio
- 3: Muy Satisfactorio

En la tabla 2.6 se muestra la matriz de decisión de los factores para el tipo de sensor de temperatura.

Tabla 2.6 Matriz de Decisión para el sensor de temperatura

Criterios que evaluar / Alternativas		Termocupla tipo T		DS18B20		Termistor LM35	
		Peso					
Costo	0,19	2	0,38	3	0,57	3	0,57
Resolución	0,19	3	0,57	3	0,57	1	0,19
Facilidad de instalación	0,14	1	0,14	3	0,42	2	0,28
Disponibilidad	0,13	3	0,39	2	0,26	2	0,26
Tiempo de respuesta	0,35	2	0,70	3	1,05	2	0,70
Total		2,18		2,87		2	

Fuente: Elaboración propia

La alternativa que se seleccionó fue el sensor DS18B20 porque tiene un costo intermedio entre la termocupla tipo T y el termistor LM35, además presenta grandes ventajas con respecto a la resolución y tiempo de respuesta; lo cual es lo que se necesita en un proyecto que exige sensibilidad en sus medidas. Esto se ve complementado con la gran versatilidad en la toma de datos gracias a su comunicación Onewire. Por todo esto se considera esta opción como la más conveniente.

2.4.3 Sensor de humedad

Los criterios que gobiernan la selección del sensor son:

- Costo
- Versatilidad
- Resolución

2.4.3.1 Sensor capacitivo

En su tipo los más difundidos en la meteorología e industria, son de fácil producción, alta fidelidad y bajos costos. Su principio se basa en el cambio que sufre la capacidad de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo. El material dieléctrico empleado es higroscópico poroso que rodea el alambre, el cual al absorber el agua aumenta la constante dieléctrica del condensador, en proporción a la humedad relativa existente. se recomienda limpiar el sensor constantemente, con la finalidad de no obstruir el flujo de aire a través del manto, y por ende no modificar el valor real de la medición. Tienen una buena precisión y son robustos, además de operar en intervalos de temperaturas de -80°C a 60°C .

2.4.3.2 Sensor piezoeléctrico

La frecuencia de oscilación de los cristales es muy estable, sin embargo, al variar la masa del cristal por arrojamiento de materiales sobre él, experimenta variación de $2000[\text{Hz}]$ en la frecuencia de oscilación por cada microgramo de humedad, el material higroscópico es utilizado para cubrir el cristal, para aumentar la cantidad de agua sobre él; en forma proporcional a la humedad absoluta presente, debido a lo anteriormente explicado se consideran sensores con gran sensibilidad en la medición y pueden ser aplicados para medir la humedad.

2.4.3.3 DHT22

El DHT22 esta en el listado de los sensores mas conocidos a la hora de realizar medidas de temperatura y humedad del aire. Su funcionamiento es similar al DHT11, la diferencia radica en la mayor resolución que el DHT22 ofrece.

Las características de este sensor son las siguientes:

- Voltaje de funcionamiento: 5v
- Rango de medida de humedad: 0/100%HR
- Rango de medida de temperatura: -40/80°C
- Resolución de humedad: +-0.3%HR

2.4.3.4 Selección de la mejor alternativa

En la Tabla 2.7., se compararon los criterios mencionados anteriormente para poder otorgar la relevancia a los mismos (peso).

Tabla 2.7 Comparación de criterios para el sensor de humedad

Criterios a evaluar	Costo	Versatilidad	Resolución	TOTAL (fila)	Peso
Costo	1	2	0,5	3,5	0,33
Versatilidad	0,5	1	0,5	2	0,19
Resolución	2	2	1	5	0,48
TOTAL				10,5	1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2.8. se muestra la matriz de decisión de los factores para el sensor de humedad.

Tabla 2.8 Matriz de Decisión para el sensor de humedad

Criterios a evaluar / Alternativa		Sensor capacitivo		Sensor piezoeléctrico		DHT22	
Costo	0,33	2	0,66	2	0,66	2	0,66
Versatilidad	0,19	1	0,19	1	0,19	3	0,57
Resolución	0,48	1	0,48	2	0,96	2	0,96
TOTAL		1,33		1,81		2,19	

Fuente: Elaboración propia.

Se selecciono el sensor DHT22 debido a su resolución y facilidad de adaptación en cualquier sistema, además de su facilidad en la lectura de datos, lo cual evita realizar otro tipo de acondicionamiento al aplicar sensores analógicos para la obtención de la humedad.

2.4.4 Fuente de calor

Dado que no en todo el año tendremos la temperatura requerida para el ensayo en el ambiente, y que además en general los laboratorios de prueba la temperatura bordea los 19°C, se requerirá el uso de una fuente de calor. Además, ya que el sistema debe permanecer aislado, se requiere de una fuente de calor interna. Se propone las siguientes alternativas.

2.4.4.1 Focos regulables

En esta alternativa se utilizaría focos incandescentes para la generación de calor dentro del equipo, se utilizaría un bombillo para cada uno de los desecadores. Esto conlleva a su vez que para cada bombillo debe realizarse un proceso de control por separado, permitiendo teóricamente una regulación individual y más exacta.

Aunque pueda tener un aceptable tiempo de respuesta, en general los focos poseen un rango de error de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Otra desventaja radica en el tiempo de vida de los bombillos, y dado que además existe transferencia por convección tanto dentro como fuera del foco (Figura 2.2), si se necesitase modelarlo sería un modelo en cierta forma complejo (Fric, 2010).

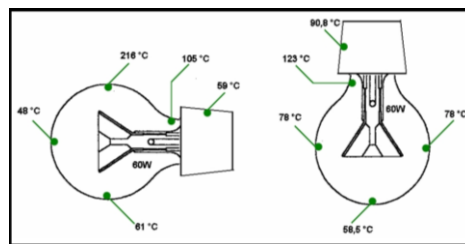


Figura 2.2 Esquema de temperatura de un bombillo típico de 60W

Fuente: www.posterus.spk

2.4.4.2 Resistencia electrica

Para esta alternativa, se implementaría una resistencia eléctrica en el centro del equipo, la cual generaría calor para las tres desecadoras. Regulando el paso de corriente a la misma podemos variar su potencia y a su vez el calor. Es un elemento de instalación sencilla, además que prácticamente toda la potencia que consuma será convertida en calor. En general las resistencias eléctricas (Figura 2.3) como elemento de corrección de un sistema de control poseen un rango de error de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, permitiéndonos una regulación más exacta.

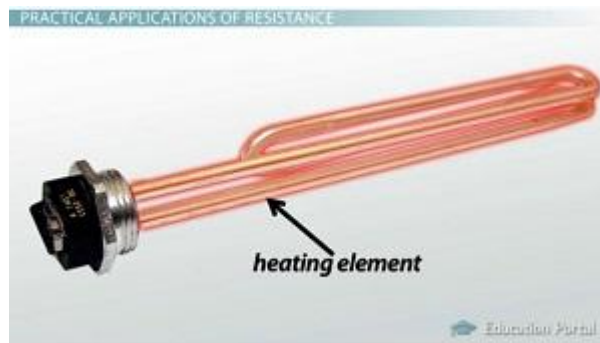


Figura 2.3. Ejemplo de resistencia eléctrica.

Fuente: Study,2017.

2.4.4.3 Cámara de precalentamiento de aire

Para esta opción, se precalentaría el aire en una cámara inferior del equipo usando una resistencia eléctrica. Nótese que la misma no tiene contacto directo con las muestras, y a su vez la radiación emitida por este elemento no afectaría el ambiente.

El aire caliente en esta opción subiría por convección natural hasta las muestras. Su tiempo de respuesta no es instantáneo, pero puede ser corregido con el sistema de control.

2.4.4.4 Evaluación de alternativas de fuente de calor

Para seleccionar nuestra fuente de calor, se tendrá en cuenta distintos factores como:

- **Tiempo de respuesta:** Este parámetro determina qué tan rápido el sistema puede corregir y estabilizar la temperatura.
- **Costo:** Dado que los demás componentes del sistema tienen un elevado precio, como los sensores o los desecadores, Se calificará 1 como el más costoso y 5 el más barato.
- **Tamaño:** Un equipo demasiado grande implicaría aumentar la cantidad de material a utilizar para la estructura.

- **Facilidad de instalación:** Un elemento que sea demasiado complejo para su implementación ocasionaría problemas al momento del mantenimiento.
- **Tiempo de Vida:** Permitiría tener el equipo final el mayor tiempo posible operando. Dado que el equipo requiere operar en intervalos largos, se espera sea elevado.

Para evaluar los criterios, se comienza asignando valores acordes a la importancia de los mismos en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Valores de Calificación de criterios

Valoración	Descripción
1	Igual de importante
2	Más importancia
3	Mayor importancia

Fuente: Elaboración propia.

La ponderación de cada criterio, acorde a su importancia se muestra a continuación en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Matriz de ponderación para selección de fuente de calor

Criterio	Tiempo de respuesta	Costo	Tamaño	Facilidad de instalación	Tiempo de vida	Total, parcial	Ponderación
Tiempo de respuesta	-	2	2	2	1	7	32%
Costo	0.5	-	1	2	1	4.5	20%
Tamaño	0.5	1	-	1	1	3.5	16%
Facilidad de instalación	0.5	0.5	1	-	1	3	14%
Tiempo de vida	1	1	1	1	-	4	18%
Total						22	100%

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó como parámetros más relevantes al tiempo de respuesta y costo, dado que, siendo un ensayo con un control de temperatura lo suficientemente delicado, es importante que nuestro sistema reaccione de forma rápida.

El costo también fue un factor clave, pues si bien, aunque ninguna de las opciones tenga un costo exorbitante, otros elementos del proyecto como son los sensores o las balanzas, e incluso las desecadoras y las copas de aluminio ya de por sí son de alto costo.

Ya definidos los factores y cómo se realizaría la calificación, se procede a evaluar las alternativas de solución, lo cual es mostrado en la Tabla 2.11. La alternativa ganadora para la fuente de calor sería la cámara de aire precalentado, con un 75% de puntaje.

Tabla 2.11 Matriz de selección para fuente de calor

Criterio	Focos	Resistencia	Cámara de aire precalentado
Tiempo de respuesta (32%)	25%	15%	28%
Costo (20%)	15%	15%	10%
Tamaño (16%)	13%	10%	10%
Facilidad de instalación (14%)	13%	13%	10%
Tiempo de Vida (18%)	5%	12%	17%
Total	71%	65%	75%

Fuente: Elaboración propia.

2.4.5 Sistema de extracción de humedad

Los criterios que gobiernan la selección del tipo de controlador son:

- Costo
- Operación
- Mantenimiento

2.4.5.1 Deshumidificador

El principio de funcionamiento del deshumidificador es el termo mecánico, el cual, es un aparato de frío, al tratar el conjunto de aire del medio que nos rodea, condensa el vapor de agua y se extrae la misma del aire, haciendo que disminuya la humedad relativa, hasta el valor deseado. Este sistema se puede emplear en diferentes volúmenes de aire.

2.4.5.2 Ventilación por sobrepresión

Consiste en inyectar aire a un lugar, haciendo que el interior del mismo, este en sobrepresión con respecto a la presión atmosférica. El aire se dispersa hacia el exterior por las ranuras dispuestas para ello.

2.4.5.3 Ventilación por depresión

Consiste en colocar el ventilador de tal forma que cumpla la función de extraer el aire del lugar, entonces, el aire queda en depresión respecto de la presión atmosférica. El aire ingresa desde el exterior por la ranura adecuada, realizando una ventilación de iguales condiciones que la anterior.

2.4.5.4 Selección de la mejor alternativa

En la tabla 2.12., se compararon los criterios mencionados anteriormente para poder otorgar la relevancia a los mismos (peso).

Tabla 2.12 Comparación de criterios para sistema de extracción de humedad

Criterios a evaluar	Costo	Operación	Mantenimiento	TOTAL (fila)	Peso
Costo	1	2	1,5	4,5	0,41
Operación	0,5	1	3	4,5	0,41
Mantenimiento	0,67	0,33	1	2	0,18
TOTAL				11	1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2.13. se muestra la matriz de decisión de los factores para el tipo de sistema de extracción de humedad.

Tabla 2.13 Matriz de Decisión para sistema de extracción de humedad

Criterios que evaluar / Alternativas		Deshumidificador		Ventilación por depresión		Ventilación por sobrepresión	
	Peso						
Costo	0,41	1	0,41	3	1,23	3	1,23
Operación	0,41	3	1,23	2	0,82	2	0,82
Mantenimiento	0,18	2	0,36	3	0,54	3	0,54
TOTAL		2		2,59		2,59	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede notar en la matriz de decisión, cualesquiera de las dos alternativas de ventilación son buenas por su bajo costo y operación continua, recordemos que para este equipo se necesita que funcione durante las 24 horas durante toda la semana para efectuar las pruebas; por lo cual se escogió la alternativa de ventilación por depresión.

2.4.6 Sistema de medición de peso

El método gravimétrico modificado E96-95 se basa en la diferencia de peso que ocurre a lo que el vapor de agua atraviesa las muestras, por lo que es vital un adecuado sistema de medición de peso. Como se mencionó, éste debe ser sensible a los cambios de peso de las muestras, y además debe proporcionar lecturas fieles a la temperatura de trabajo.

Se propone los siguientes criterios:

- Sensibilidad
- Costo
- Resolución
- Tamaño
- Tiempo de vida

2.4.6.1 Balanza electrónica

Las Balanzas electrónicas, como la que se muestra en la Figura 2.4, son elementos de medición de peso de alta precisión, en muchos casos pueden alcanzar décimas de miligramos y cuentan incluso con conexión a un ordenador, facilitando la captación de datos. Presentan, sin embargo, un costo elevado localmente.



Figura 2.4 Balanza electrónica para laboratorio

Fuente: <http://instrumentosdelaboratorio.org/>

2.4.6.2 Balanza hidráulica

Estas balanzas funcionan mediante diferencia de presiones y áreas en un sistema con un fluido y plataformas. Útiles para cargas elevadas, aunque pueden acondicionarse de ser necesario para cargas pequeñas, sin embargo, puede ser dificultosa su instalación al ser de tamaño considerable. En la Figura 2.5 se muestra un ejemplo de este tipo de balanzas.



Figura 2.5 Balanza hidráulica, uso industrial

Fuente: <http://industriadebalanzas.blogspot.com>

2.4.6.3 Galgas extensiométricas

Las galgas extensiométricas, cuyo esquema se muestra en la Figura 2.6, son elementos que permiten medir la deformación: al alterarse la distancia entre ellas, se genera una diferencia de voltaje. Usando este principio, se puede diseñar un elemento de medición exclusivo para nuestro proyecto, pero antes de su aplicación deben ser debidamente probado y calibrado.

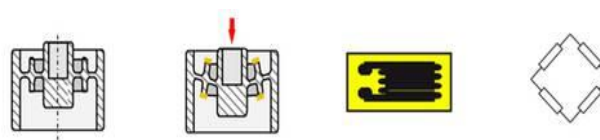


Figura 2.6 funcionamiento de las galgas extensiométricas

Fuente: <http://industriadebalanzas.blogspot.com>

2.4.6.4 Selección de la mejor alternativa

Se considerará los siguientes parámetros para la selección del sistema de medición de peso:

- **Sensibilidad:** Este factor indica que la señal más pequeña que puede detectar o reaccionar un cambio o estímulo. Para

cambios de carga menores, se requiere un dispositivo de alta sensibilidad.

- **Costo:** Se busca un dispositivo con el menor costo, de ser posible, dado que en general este tipo de sistemas tienen un costo elevado
- **Resolución:** Se denomina como la mínima variación que puede provocar una respuesta perceptible. Se requiere para este ensayo una resolución verdaderamente significativa.
- **Tamaño:** un dispositivo de gran tamaño implicaría un aumento en el tamaño de la estructura, así como elevación de costo y disposición de otros componentes.
- **Tiempo de vida:** indica en qué medida podremos seguir usando el dispositivo, sin tener que reemplazarlo, lo que involucraría re inversión y parada innecesaria del sistema.

Tabla 2.14: Matriz de ponderación para el sistema de medición de peso

Criterios que evaluar	Sensibilidad	Costo	Resolución	Tamaño	Tiempo de vida	TOTAL (fila)	Peso
Sensibilidad	1	2	1	2	2	8	0,27
Costo	0,5	1	0,5	1	2	5	0,18
Resolución	1	2	1	1	2	7	0,25
Tamaño	0,5	1	1	1	2	5,5	0,19
Tiempo de vida	0,5	0,5	0,5	0,5	1	3	0,11
TOTAL						28,5	1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2.15. se muestra la matriz de decisión de los factores para el tipo de sistema de medición de peso.

Tabla 2.15: Matriz de decisión para medición de peso

Criterios a evaluar / Alternativas		Balanzas hidráulicas		Balanza electrónica		Galga extensiométrica	
			Peso				
Sensibilidad	0,27	1	0,27	3	0,81	2	0,54
Costo	0,18	2	0,36	1	0,36	3	0,54
Resolución	0,25	2	0,50	3	0,75	1	0,25
Tamaño	0,19	1	0,19	2	0,38	3	0,57
Tiempo de vida	0,11	2	0,22	2	0,44	2	0,22
Total			1,54		2,74		2,12

Fuente: Elaboración propia

Debido a la precisión y sensibilidad que se requiere en el proyecto, se ha considerado estos criterios como los más importantes, y la única alternativa que satisface a pesar de lo costoso es la balanza electrónica. Cabe recalcar que se necesita una resolución de 0.001g como mínimo, caso contrario el sistema de medida no es válido.

2.5 Selección de diseño

De acuerdo con las matrices de selección, las mejores alternativas para cada función del diseño del equipo son:

- Tipo de controlador: Raspberry pi
- Sensor de temperatura: DS18B20
- Sensor de humedad: DHT22
- Fuente de calor: cámara de aire precalentado

- Sistema de extracción de humedad: ventilación por depresión
- Sistema de medición de peso: balanza electrónica

2.6 Diseño conceptual

A continuación, se muestra un “diseño conceptual” del medidor de permeabilidad y su sistema de control, en el mismo se logra apreciar esquemáticamente las conexiones que existen entre los sensores del equipo con la mini computadora raspberry y la comunicación entre el programa y los actuadores, véase figura 2.7.

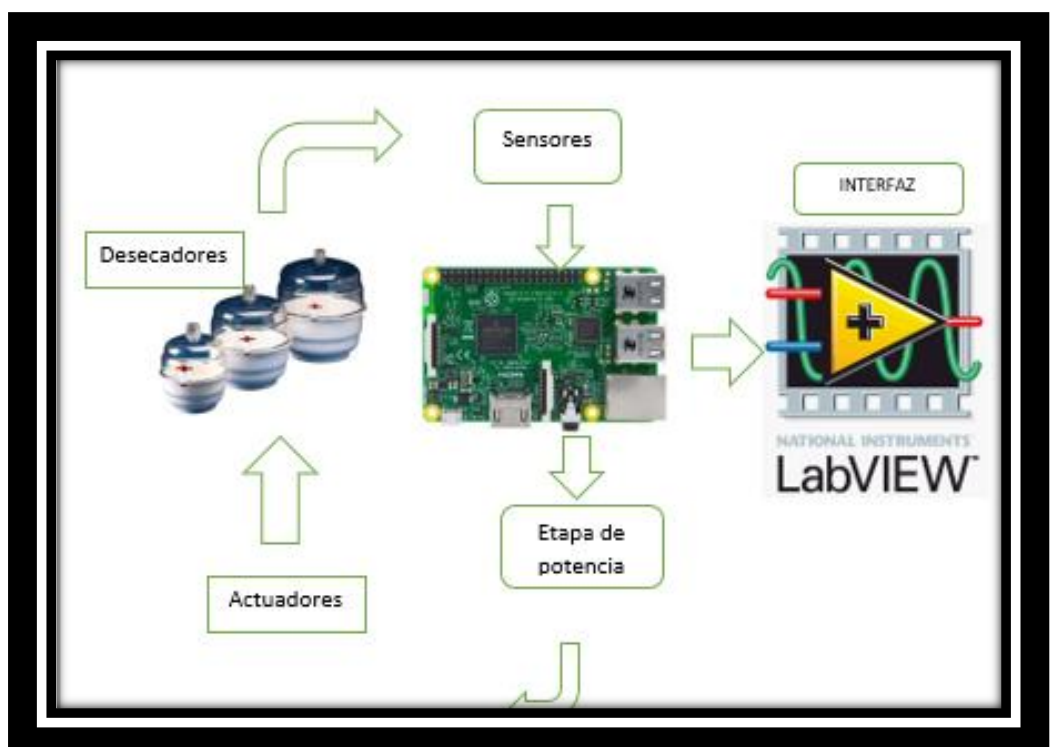


Figura 2.7. Diseño conceptual

Fuente: Elaboración propia

2.7 Configuración del diseño

2.7.1 Manejo de raspberry pi 3

2.7.1.1 Instalación de sistema operativo

Raspberry pi es una minicomputadora inteligente que permite conectar dispositivos en sus terminales, mencionando lo anterior entonces, debe tener un sistema operativo para que realice sus funciones. El sistema operativo que se ha decidido instalarse por su facilidad es Raspbian. Raspbian es un sistema operativo parecido a Linux y para instalarlo se necesita de una micro SD cumpliendo los siguientes pasos:

- Descarga de la última versión de Raspbian de la página raspberrypi.org.
- Insertar una tarjeta micro SD con su respectivo adaptador a la PC.
- Mediante el programa SD formatter, formatear la micro SD.
- Descargando la aplicación win32DiskImg, se procede a instalar el sistema operativo en la micro SD.

2.7.1.2 Comunicación SSH

Para empezar a escribir comandos en la Raspberry se necesita que la misma permita el acceso desde cualquier computadora cumpliendo los siguientes pasos.

- Crear un fichero con el nombre ssh en la micro SD.
- Descargar el programa llamado PuTTY.
- Descargar el programa IP-scanner.
- Conectar al router mediante cable de red a la raspberry y la computadora a usar.
- El programa IP-scanner permitirá al usuario escanear la IP de la tarjeta Raspberry.

- Una vez que se conoce la IP de la raspberry entonces, se abre PuTTY y se realiza la conexión tal como se muestra en la figura 2.8.

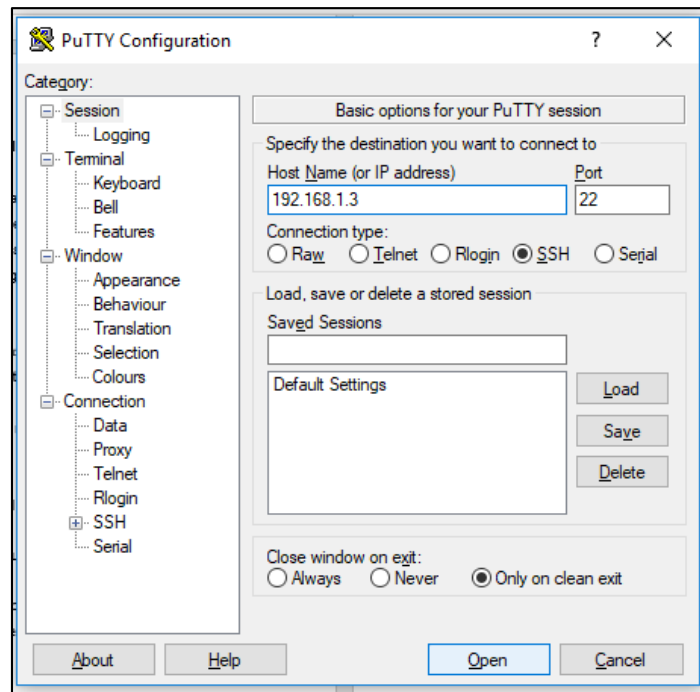


Figura 2.8 Configuración PuTTY

Fuente: Elaboración propia

2.7.1.3 DHT11 con Python

Como se mencionó anteriormente la raspberry pi es una computadora con un sistema operativo parecido al Linux, el cual permite realizar y ejecutar códigos de programación en Python.

Gracias a la comunicación SSH entre la raspberry y el computador se puede escribir comandos en el prompt del virtual terminal. Los comandos por escribirse para la lectura del sensor de humedad DHT11 se han detallado en los siguientes pasos:

- Escribir en el prompt los comandos mostrados en la figura 2.9. estos comandos permitirán descargar Git, el cual permitirá

usar la librería que nos facilite la lectura de datos del sensor DHT11 en Python.

```
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get install git-core
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following NEW packages will be installed:
git-core
0 upgraded, 1 newly installed, 0 to remove and 9 not upgraded.
Need to get 1,406 B of archives.
After this operation, 8,192 B of additional disk space will be used.
Get:1 http://mirrordirector.raspbian.org/raspbian stretch/main armhf git-core al
1:1:2.11.0-3 [1,406 B]
Fetched 1,406 B in 0s (2,801 B/s)
Selecting previously unselected package git-core.
(Reading database ... 12389 files and directories currently installed.)
Preparing to unpack .../git-core_1:2.11.0-3_all.deb ...
Unpacking git-core (1:2.11.0-3) ...
Setting up git-core (1:2.11.0-3) ...
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get update
Ign:1 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ InRelease
Ign:2 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Release
Hit:3 http://mirrordirector.raspbian.org/raspbian stretch InRelease
Ign:4 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Packages
Ign:5 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Translation-en
Ign:6 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Translation-en_GB
Ign:7 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Packages
Ign:8 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Translation-en
Ign:9 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Translation-en_GB
Hit:4 http://mirrordirector.raspbian.org/raspbian stretch InRelease
Ign:5 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Translation-en
Ign:6 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Translation-en_GB
Hit:4 http://mirrordirector.raspbian.org/raspbian stretch InRelease
Ign:5 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Translation-en
Ign:6 http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Translation-en_GB
Hit:7 http://archive.raspberrypi.org/debian stretch InRelease
Reading package lists... Done
W: The repository 'http://feeds.labviewmakerhub.com/debian binary/ Release' does not have a Release file.
E: Data from such a repository can't be authenticated and is therefore potentially dangerous to use.
M: See apt-secure(8) manpage for repository creation and user configuration details.
```

Figura 2.9 Instalación de librerías

Fuente: Elaboración propia

- A continuación, se debe descargar la librería Adafruit y la última versión de Python tal como se muestra en la figura 2.10. Para todos estos pasos se necesita tener conexión a internet, la cual se obtiene conectando los dispositivos en una red LAN.

```
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
pi@raspberrypi:~$ git clone https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT.git
Cloning into 'Adafruit_Python_DHT'...
remote: Counting objects: 249, done.
remote: Total 249 (delta 0), reused 0 (delta 0), pack-reused 249
Receiving objects: 100% (249/249), 77.00 KiB | 0 bytes/s, done.
Resolving deltas: 100% (142/142), done.
pi@raspberrypi:~$ cd Adafruit_Python_DHT
pi@raspberrypi:~/Adafruit_Python_DHT$ sudo apt-get install build-essential python-dev
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
build-essential is already the newest version (12.3).
python-dev is already the newest version (2.7.13-2).
python-dev set to manually installed.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
pi@raspberrypi:~/Adafruit_Python_DHT$ sudo python setup.py install
running install
running build_egg
running egg_info
creating Adafruit_DHT.egg-info
writing Adafruit_DHT.egg-info/PKG-INFO
writing top-level names to Adafruit_DHT.egg-info/top_level.txt
writing dependency links to Adafruit_DHT.egg-info/dependency_links.txt
writing manifest file 'Adafruit_DHT.egg-info/SOURCES.txt'
reading manifest file 'Adafruit_DHT.egg-info/SOURCES.txt'
writing manifest file 'Adafruit_DHT.egg-info/SOURCES.txt'
installing library code to build/bdist.linux-armv7l/egg
running install_lib
running build_py
creating build
creating build/lib.linux-armv7l-2.7
creating build/lib.linux-armv7l-2.7/Adafruit_DHT
copying Adafruit_DHT/platform_detect.py -> build/lib.linux-armv7l-2.7/Adafruit_DHT
copying Adafruit_DHT/Fast.py -> build/lib.linux-armv7l-2.7/Adafruit_DHT
copying Adafruit_DHT/Beaglebone_Black.py -> build/lib.linux-armv7l-2.7/Adafruit_DHT
copying Adafruit_DHT/common.py -> build/lib.linux-armv7l-2.7/Adafruit_DHT
copying Adafruit_DHT/Raspberry_Pi.py -> build/lib.linux-armv7l-2.7/Adafruit_DHT
```

Figura 2.10 Instalación de Adafruit y última versión de Python

Fuente: Elaboración propia

- Luego, se debe colocar el comando `sudo nano dht11.py` en el prompt. El cual permite crear un archivo extensión `.py` para poder escribir cualquier código de programación.
- El código por escribir en el archivo creado para la lectura del sensor es el que se muestra en la figura 2.11.

```
1 #!/usr/bin/python
2 import sys
3 import Adafruit_DHT
4
5 while True:
6
7     humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 4)
8
9     print 'Temp: {0:0.1f} C Humidity: {1:0.1f} %'.format(temperature, humidity)
```

Figura 2.11 Código Python DHT11

Fuente: Elaboración propia

- En los pasos anteriores solo se ha creado un archivo listo para compilarlo y ejecutarlo. Para realizar la ejecución se escribe el comando mostrado en la figura 2.12.

```
Finished processing dependencies for Adafruit-DHT==1.3.2
pi@raspberrypi:~/Adafruit_Python_DHT $ cd
pi@raspberrypi:~ $ sudo nano dht11.py
pi@raspberrypi:~ $ python dht11.py
pi@raspberrypi:~ $ sudo nano dht11.py
pi@raspberrypi:~ $ python dht11.py
Temp: 26.0 C Humidity: 68.0 %
Temp: 25.0 C Humidity: 60.0 %
Temp: 26.0 C Humidity: 51.0 %
Temp: 26.0 C Humidity: 51.0 %
```

Figura 2.12 Visualización de datos del DHT11

Fuente: Elaboración propia

2.7.1.4 DS18B20 con Python

Para la creación y ejecución de la programación del DS18B20 es parecida al del DHT11. La diferencia radica en que para el DS18B20 no necesita instalar librerías, debido a que estos sensores utilizan comunicación one-wire y la raspberry tiene soporte para dicha

comunicación, pero, se deben realizar los siguientes pasos para la lectura de datos:

- Conexión de los sensores a la raspberry pi, en la figura 2.13 se puede observar una similitud en la conexión que se realizó, en nuestro caso son 4 sensores.

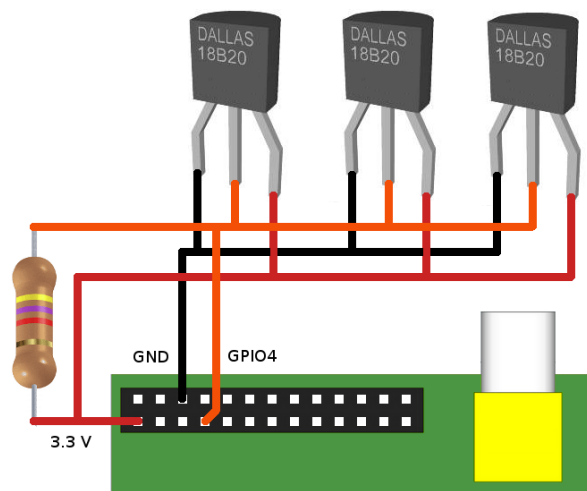


Figura 2.13 Diagrama de conexiones del DS18B20.

Fuente: Elaboración propia

- Configuración de la raspberry para habilitar la comunicación one-wire en el pin número 4. En la figura 2.14 se muestra la línea de código a escribir después de ejecutar la línea de comando `sudo nano /boot/config.txt` en el prompt.


```
pi@raspberrypi ~ % nano /boot/config.txt
#framebuffer_width=1280
#framebuffer_size=720
# uncomment if HDMI display is not detected and composite is being output
hdmi_force_hotplug=1
# uncomment to force a specific HDMI mode (this will force VGA)
hdmi_group=1
hdmi_mode=1
# uncomment to force a HDMI mode rather than DVI. This can make audio work in
# DVI (computer monitor) modes
hdmi_drive=2
# uncomment to increase signal to HDMI, if you have interference, blanking, or
# no display
hdmi_hdm_Boost=1
# uncomment for composite PAL
lastv_mode=
# uncomment to overclock the arm. 700 MHz is the default.
arm_freq=700
# Uncomment some or all of these to enable the optional hardware interfaces
dtparam=i2c_arm=on
dtparam=i2s=on
dtparam=spi=on
# Uncomment this to enable the lirc-rpi module
dtoverlay=lirc-rpi
# Additional overlays and parameters are documented /boot/overlays/README
# Enable audio (loads snd_bcm2835)
dtparam=audio=on
dtoverlay=w1-gpio
```

Figura 2.14 Habilitar comunicación ONE-WIRE.

Fuente: Elaboración propia

- Luego se debe crear un archivo extensión .py tal como se indicó con el sensor DHT11 y escribir el siguiente código mostrado en la figura 2.15 y 2.16. El cual se lo realizo con la finalidad de obtener las lecturas de los 4 sensores.

```
import os
import glob
import time

os.system('modprobe wl-gpio')
os.system('modprobe wl-therm')

base_dir = '/sys/bus/w1/devices/'
device_folder = glob.glob(base_dir + '28*')[0]
device_folder1 = glob.glob(base_dir + '28*')[1]
device_folder2 = glob.glob(base_dir + '28*')[2]
device_folder3 = glob.glob(base_dir + '28*')[3]

def read_temp_raw(device_folder):
    device_file = device_folder + '/w1_slave'
    f = open(device_file, 'r')
    lines = f.readlines()
    f.close()
    return lines
```

Figura 2.15 Primera parte del código del DS18B20.

Fuente: Elaboración propia

Para la lectura de los sensores DS18B20 ocurre algo interesante, la raspberry los almacena como archivos. Cada vez que se conectan a la placa, la raspberry crea unos archivos donde están almacenados los valores de temperatura de los sensores entonces, mediante Python se va a buscar estos archivos y guardarlos en alguna variable para después leerlos. Tal como se muestra en la figura 2.15.

```
def read_temp(device_folder):
    lines = read_temp_raw(device_folder)
    while lines[0].strip()[-3:] != 'YES':
        time.sleep(0.2)
        lines = read_temp_raw(device_folder)
    equals_pos = lines[1].find('t=')
    if equals_pos != -1:
        temp_string = lines[1][equals_pos+2:]
        temp_c = float(temp_string) / 1000.0
        temp_f = temp_c * 9.0 / 5.0 + 32.0
        return temp_c, temp_f

while True:
    print(read_temp(device_folder))
    print(read_temp(device_folder1))
    print(read_temp(device_folder2))
    print(read_temp(device_folder3))
    time.sleep(1)
```

Figura 2.16 Segunda parte del código del DS18B20.

Fuente: Elaboración propia

Estos archivos creados por la raspberry no traen directamente el valor de temperatura entonces, mediante la creación de una función en Python se convierte estos datos a temperatura tal como se muestra en la figura 2.16.

2.7.1.5 Salidas en raspberry pi

La raspberry pi 3 que es la utilizada en el diseño del proyecto, tiene 40 pines de los cuales 26 se pueden configurar como entrada o salida, para el propósito de este proyecto se va a necesitar de una salida para controlar la temperatura. En la figura 2.17 se muestra un ejemplo donde se hace parpadear un led con la raspberry pi.

```
1 import RPi.GPIO as GPIO #Libreria Python GPIO
2 import time #Libreria Time
3 GPIO.setmode(GPIO.BCM) #Establecemos el sisetma de numeracion de pins BCM
4 GPIO.setup(4, GPIO.OUT) #Ponemos el Pin GPIO4 como salida
5
6 while True:
7     print"ON"
8     GPIO.output(4, GPIO.HIGH)
9     time.sleep(1)
10    print"OFF"
11    GPIO.output(4, GPIO.LOW)
12    time.sleep(1)
13
14 GPIO.cleanup() #Reiniciar configuracion pins GPIO
```

Figura 2.17 Configuración del pin 4 de la raspberry como salida.

Fuente: Elaboración propia

El código para activar un pin como salida en la raspberry es parecido al que se utiliza en un Arduino, En el código de la figura 2.11 se puede observar en una línea de código que se establece el sistema de numeración de pin como BCM, esto es importante porque la raspberry tiene dos modalidades de lectura de los pines y es necesario indicarle cual se va a utilizar. con la librería RPi.GPIO se puede configurar un pin como salida o entrada indicándole OUT o IN respectivamente. Finalmente, si se le desea indicar el valor a la salida de alto o bajo se escribe en el código HIGH o LOW respectivamente.

2.7.1.6 Socket en Python

Un socket es una abstracción de programación para la representación de conexiones y permiten realizar una comunicación bidireccional. En Python se crea de la siguiente manera, tal como se muestra en la figura 2.18.

```
import socket
s = socket.socket() #Instanciamiento para el objeto 's'
host = "            #Host local por defecto
port = 8006        #Puerto
s.bind((host,port)) #Asignación de dirección y puerto a la instancia
s.listen(5)        #Número máximo de conexiones entrantes
```

Figura 2.18 Socket en Python.

Fuente: Elaboración propia

Luego, para que tenga concordancia un socket se debe definir un servidor y un cliente. En este caso Python pone al modo socket en modo servidor para de esta manera, esperar por un cliente con el siguiente código mostrado en la figura 2.19.

```
print u"Esperando conexión"
s, addr = s.accept()
print u"Conexión desde: ", str(addr)
```

Figura 2.19 Código para esperar conexión con algún cliente.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.19 se utiliza el método accept el cual devuelve la dirección de quien se haya establecido la conexión. Mas adelante se va a explicar porque se está implementando un socket en Python.

2.7.2 Interfaz en labview

2.7.2.1 Comunicación TCP

Muchos programas dentro de una red de datos compuesta por redes de computadoras pueden usar TCP para crear conexión entre si a través de la cual se puede enviar datos. Labview no es una excepción ya que, tiene un bloque TCP que permite realizar dicha función. En la figura 2.20 se muestra detalladamente las entradas de un bloque que permite abrir la comunicación TCP en labview.

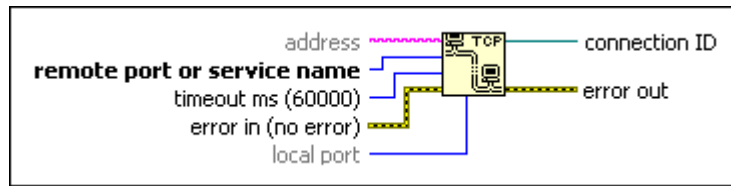


Figura 2.20 Bloque Open TCP Labview.

Fuente: Elaboración propia

El bloque mostrado en la figura 2.20 permite, abrir la comunicación con algún otro programa que esté esperando por la conexión de labview. En dicho bloque se coloca la dirección del cliente/servidor y el puerto. En la figura 2.21 se muestra el bloque de recibir datos mediante comunicación TCP.

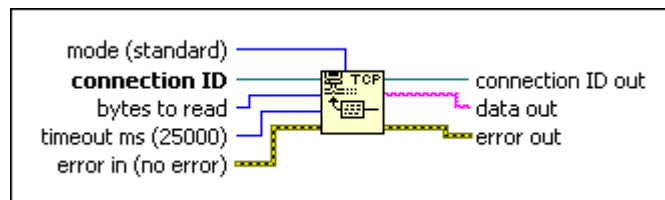


Figura 2.21 Bloque Read TCP Labview.

Fuente: Elaboración propia

El bloque de la figura 2.21 es muy importante si se requiere leer datos desde otro programa que requiera enviar datos a labview. Y finalmente para que la comunicación TCP por labview lleve a cabo su objetivo debe cerrarse la conexión. En la figura 2.22 se muestra el bloque en labview que permite darle fin a una conexión en labview.

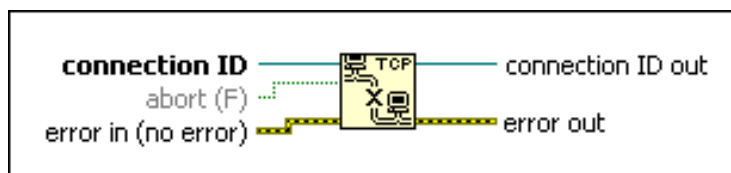


Figura 2.22 Bloque Close TCP Labview.

Fuente: Elaboración propia

2.7.2.2 Creacion de menú en labview

Para la realización de un menú amigable con el usuario se realizó un sub vi con el nombre salto, que nos permitirá abrir un Vi y posteriormente ejecutarlo. En la figura 2.23 se muestran los bloques para la ejecución de dicho VI.

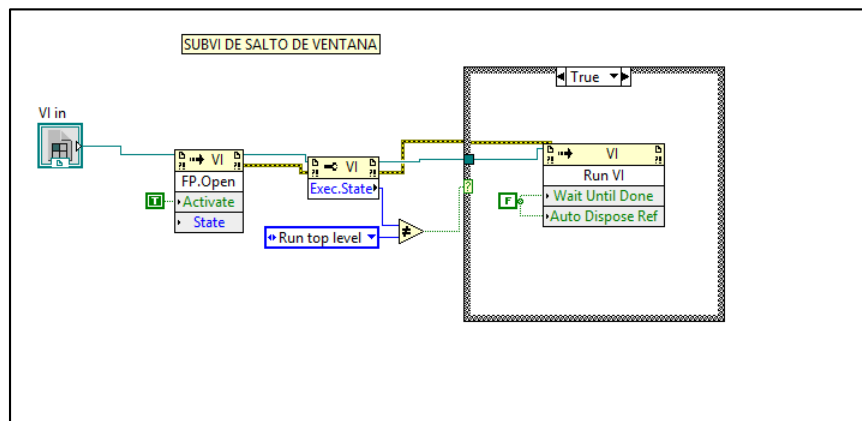


Figura 2.23 Diagrama de bloques del subvi salto.

Fuente: Elaboración propia

Después de crear el Subvi salto estamos listo para crear un menú y cada vez que presione una opción llame a este vi. En la figura 2.24 se puede observar el menú.



Figura 2.24 Panel frontal de menú.

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que todos los vi a ejecutar junto con el de salto deben estar almacenados dentro de un mismo proyecto para que realicen su función como tal. En la figura 2.25 se muestra una parte del diagrama de bloques de menú donde se ejecutan los saltos de un vi a otro.

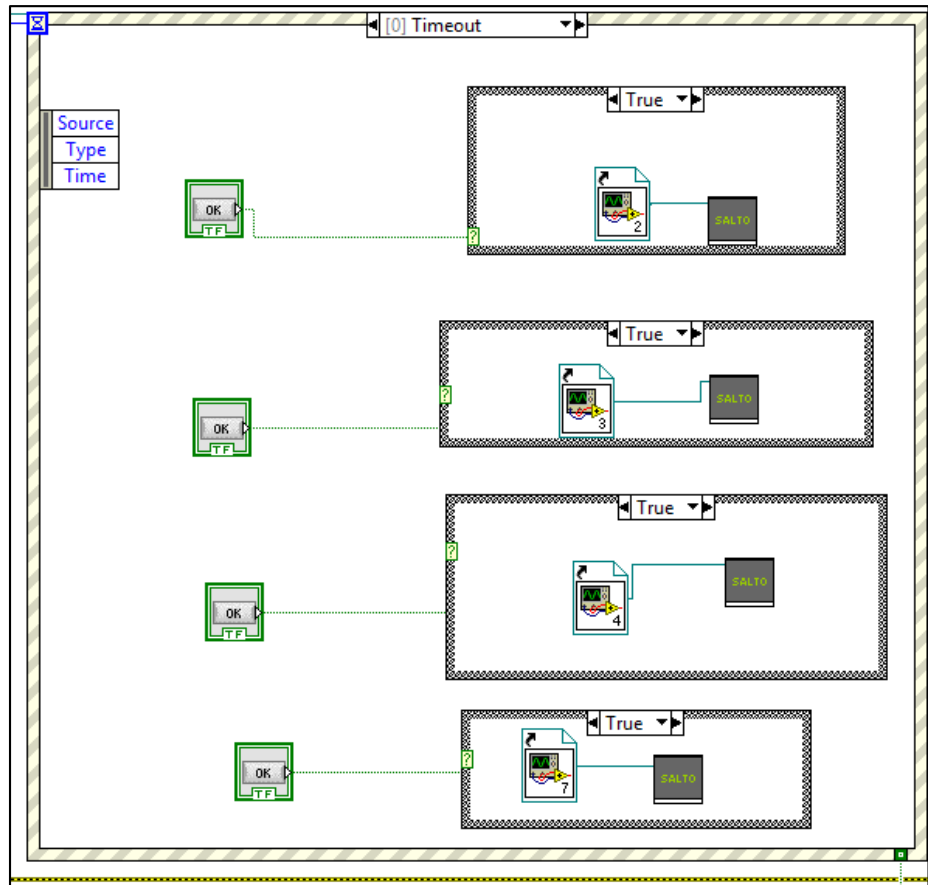


Figura 2.25 Diagrama de bloques de menú.

Fuente: Elaboración propia

2.7.2.3 Almacenamiento de datos en Excel

Para almacenar los datos en Excel se creó un subvi el cual recibe los datos que se requieren almacenar, en este caso el de humedad y temperatura. Almacenándolos y dándole un formato indicando la fecha y hora en la cual son almacenadas. En la figura 2.26 se muestra el bloque de guardado de datos.

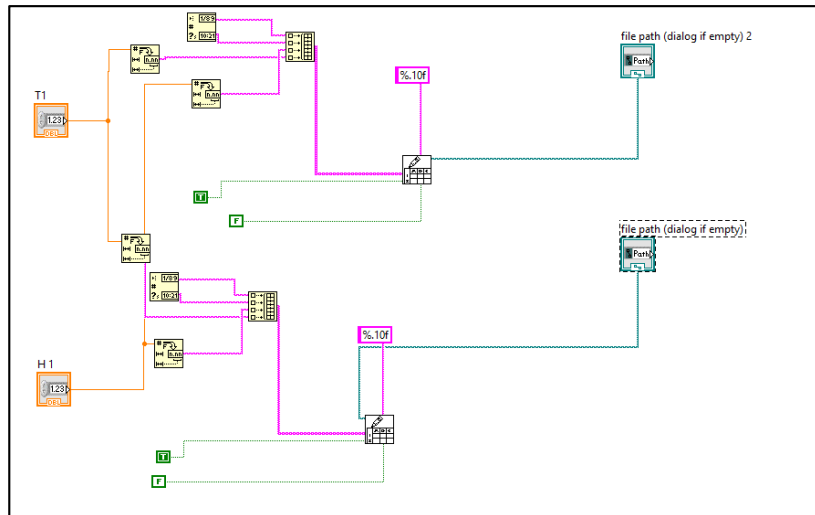


Figura 2.26 Diagrama de bloques del guardado en Excel.

Fuente: Elaboración propia

2.7.3 Comunicación entre labview y raspberry

Se ha mencionado que la lectura de los sensores se las va a realizar mediante Python y la lectura en una interfaz en labview, pero, no se ha dicho como se establece dicha conexión, no es tan difícil como suena siempre y cuando se sigan los siguientes pasos.

- Crear un socket en Python como se mencionó anteriormente, pero, esta vez crear un programa en el cual implemente todas las lecturas de sensores y utilizar el método send para enviar estos valores a labview tal como se muestra en la figura 2.27.

```

h2, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 27)
h3, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 22)
h4, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 10)
s.send(str(t1)+'CH0'+str(t2)+'CH1'+str(t3)+'CH2'+str(t4)+'CH3'+str(h1)+'$
control_histeresis(t4,22.49,22.30,7)
control_histeresis(h1,50.5,52,8)
print(t1)
print(t2)
print(t3)
print(t4)
print(h1)
print(h2)
print(h3)
print(h4)

time.sleep(0.2)

```

Figura 2.27 Envío de datos a labview.

Fuente: Elaboración propia

- Implementar un diagrama de bloques en labview que permita leer estos datos recibidos utilizando la comunicación TCP. En la figura 2.28 se muestra dicho diagrama.

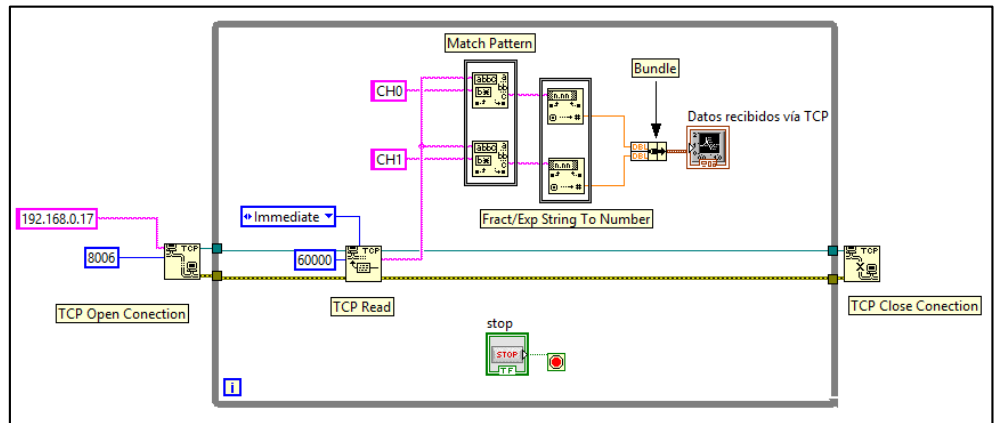


Figura 2.28 Lectura de datos desde Python

Fuente: Elaboración propia

- En el bloque TCP open connection colocamos la dirección IP de la raspberry y el puerto que establecimos para el socket en el programa de Python. Después de hacer la lectura utilizamos los bloques Match Patern para identificar las etiquetas de los canales y separar sus

valores. Finalmente se convierten las cadenas aisladas a números de tipo doublé para enviarlos al graficador.

- Ejecutar el código de Python en la raspberry.
- Ejecutar el diagrama de bloques de labview.
- Después de seguir todos estos pasos se estará realizando la lectura de todos los sensores en labview sin ningún problema.

2.7.4 Control de temperatura

2.7.4.1 Etapa de potencia

Como actuador se ha utilizado una placa de relé de 5v, el cual es ideal para trabajar con cualquier tipo de microcontroladores. En la figura 2.29 se puede observar el relé utilizado el cual es ideal para un control ON/OFF que se va a explicar detalladamente más adelante.

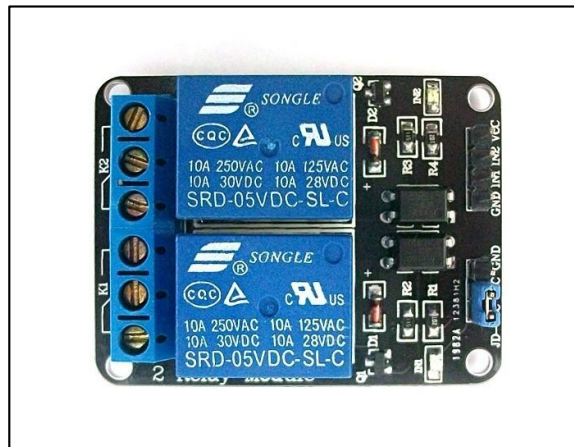


Figura 2.29 Relé 5v 2 canales

Fuente: Elaboración propia

Estos relés son capaces de soportar a su salida una corriente de 10 amp y tiene una vida útil de 1'000000 de conmutaciones en su salida.

2.7.4.2 Control on/off

para este sistema se ha utilizado una resistencia calefactora de aire con el objetivo de aumentar la temperatura. Un control PID no es

muy recomendable debido a la inercia térmica que presentan estas resistencias. Debido a que, los sensores DS18B20 tienen 3 decimales de precisión se ha implementado un control on/off con un lazo de histéresis de aproximadamente 1 grado Celsius. La resistencia va a trabajar a su máxima potencia, pero, por un tiempo muy pequeño lo cual es ideal para este tipo de sistema. la programación del control se lo ha implementado en Python. Lo cual es algo muy sencillo en términos de programación porque, solo se prende o apaga la resistencia cuando está por encima o por debajo de sus límites. Para el encendido y apagado ya se revisó anteriormente con el ejemplo del led solo que en este caso unido a toda la programación.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Sistema de control

3.1.1 Temperatura

En la figura 3.1 se muestra una gráfica donde se puede observar el control de temperatura.

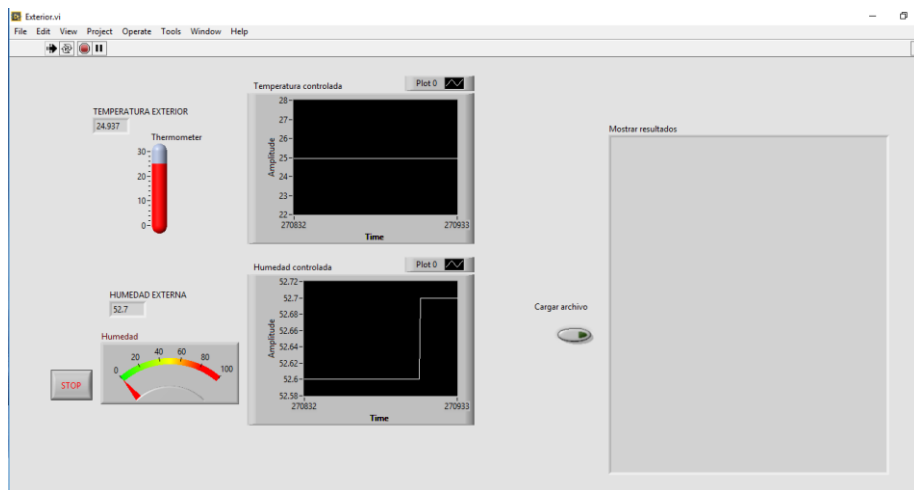


Figura 3.1 Relé 5v 2 canales.

Fuente: Elaboración propia

El control de temperatura se efectuó tomando en cuenta la inercia térmica de la resistencia calefactora y la precisión de los sensores digitales DS18B20. Debido a que, la resistencia calienta rápido entonces se colocó un ventilador debajo de la misma para que ayude con la transferencia de calor tal como se muestra en la figura 3.2.



Figura 3.2 Fuente de calor.

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de diseño de estructura permite que la transferencia de calor sea rápida y al mantener siempre prendido el ventilador ayuda que la resistencia se enfríe y disminuya el efecto de inercia térmica.

En la figura 3.1 se observa que la temperatura esta entre un valor de 24.937 y permanece constante durante un lapso de periodo grande. Esto quiere decir que cumple nuestro objetivo de mantener la temperatura a un valor de 25 grados. Las pruebas fueron realizadas en un laboratorio el cual mantiene en su interior una temperatura de 22 grados, el equipo estuvo encendido durante 28 horas continuas. Las pruebas del equipo funcionando las 28 horas nos la garantiza la figura 3.3.

258	1/9/2017	12:34	66.699997	27.312	
259	1/9/2017	12:35	80.199997	24.125	
260	1/9/2017	13:05	72.699997	25.187	
261	1/9/2017	13:35	75.599998	24.375	
262	1/9/2017	14:05	78.099998	24.375	
263	1/9/2017	14:35	61.900002	25.125	
264	1/9/2017	15:05	60.700001	24.187	
265	1/9/2017	15:35	61.700001	24.625	
266	1/9/2017	16:05	74.699997	25.562	
267	1/9/2017	16:35	58	24.25	
268	1/9/2017	17:05	55.400002	24.812	
269	1/9/2017	17:35	52.400002	25.437	
270	1/9/2017	18:05	49.400002	26.687	
271	1/9/2017	18:35	49.599998	26.187	
272	1/9/2017	19:05	51	25.437	
273	1/9/2017	19:35	51.200001	24.937	
274	1/9/2017	20:05	52.599998	24.5	
275	1/9/2017	20:35	45.700001	27.125	
276	1/9/2017	21:05	50.400002	25.437	
277	1/9/2017	21:35	51.099998	24.437	
278	1/9/2017	22:05	47.400002	25.562	
279	1/9/2017	22:35	51.299999	24.375	
280	1/9/2017	23:05	49.700001	25.312	

Figura 3.3 Excel datos almacenados exterior parte 1.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3 se puede observar que el equipo da inicio a las 12:35 y debido, a las lecturas que se programaron para que estas sean guardadas cada media hora, se puede observar el control de temperatura a lo largo de un lapso bastante largo. Este control redondea el valor de 25 grados que es lo necesario para el equipo de medición de permeabilidad.

El sistema fue configurado de tal manera que la resistencia encienda en un valor de 24.687 y se apague a 24.875 hablando en grados Celsius. con estos parámetros y debido a la inercia de la resistencia térmica la temperatura se mantiene durante las 28 horas entre el valor de 24.687 y 25.5.

	A	B	C	D	E	F	G	H
294	2/9/2017	6:05	42.200001	25.562				
295	2/9/2017	6:35	42.200001	25.312				
296	2/9/2017	7:05	46.599998	24.375				
297	2/9/2017	7:35	47.799999	25.312				
298	2/9/2017	8:05	50.5	24.75				
299	2/9/2017	8:35	49.099998	25.125				
300	2/9/2017	9:05	50.599998	24.25				
301	2/9/2017	9:35	50.400002	25.5				
302	2/9/2017	10:05	46	25.625				
303	2/9/2017	10:35	51.700001	25.812				
304	2/9/2017	11:05	52.5	24.875				
305	2/9/2017	11:35	47.099998	25.875				
306	2/9/2017	12:05	51.799999	25.5				
307	2/9/2017	12:35	48	25.25				
308	2/9/2017	13:05	51.5	25.75				
309	2/9/2017	13:35	45.5	25.937				
310	2/9/2017	14:05	49.900002	25.187				
311	2/9/2017	14:35	45.799999	25.437				
312	2/9/2017	15:05	49.599998	25.562				
313	2/9/2017	15:35	52.099998	25.562				
314	2/9/2017	16:05	52.799999	25				
315								
316								

Nota: Una flecha negra apunta a la celda D314, y un círculo verde con el texto "Paro del equipo" está situado a la derecha de la flecha.

Figura 3.4 Excel datos almacenados exterior parte 2.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.4 se puede observar el paro del sistema, además la temperatura siempre estuvo dentro del límite que se quería. El sistema podía seguir funcionando durante más tiempo solo que debido a que hubo problemas con la energía en el laboratorio se decidió ponerle fin a el control de temperatura del equipo.

3.2 Monitoreo de variables

Lo novedoso del proyecto es la lectura de 8 sensores a tiempo real, 4 de humedad y 4 de temperatura. Todos estos sensores deben ser monitoreados durante 24 horas como mínimo y desarrollar un sistema con tales características es complicado, pero, no imposible. Como se observó en el diseño de nuestro proyecto, mediante labview se tiene acceso a un menú el cual, nos da varias opciones a escoger:

3.2.1 Desecador 1

En el Vi desecador 1 se tiene una interfaz en el cual el usuario tiene la opción de escoger entre mostrar el archivo con los datos almacenados, además de observar el valor de la lectura a tiempo real mediante graficas e indicadores.

274	1/9/2017	12:34	59	26.812
275	1/9/2017	12:35	60	24.375
276	1/9/2017	13:05	61	24.75
277	1/9/2017	13:35	61	24.687
278	1/9/2017	14:05	61	24.625
279	1/9/2017	14:35	61	24.937
280	1/9/2017	15:05	62	23.437
281	1/9/2017	15:35	63	23.375
282	1/9/2017	16:05	61	24.562
283	1/9/2017	16:35	56	26.937
284	1/9/2017	17:05	56	27.312
285	1/9/2017	17:35	56	27.375
286	1/9/2017	18:05	55	28.25
287	1/9/2017	18:35	53	28.687
288	1/9/2017	19:05	53	27.812
289	1/9/2017	19:35	52	27.25
290	1/9/2017	20:05	50	26.812
291	1/9/2017	20:35	48	29
292	1/9/2017	21:05	50	27.937
293	1/9/2017	21:35	49	26.937
294	1/9/2017	22:05	48	28
295	1/9/2017	22:35	49	26.875
296	1/9/2017	23:05	49	27.812

Figura 3.5 Excel datos almacenados desecador1.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.5 Excel nos muestra un historial de los datos almacenados cada 30 minutos de los valores de temperatura y humedad en el desecador 1.

3.2.2 Desecador 2

En el vi desecador 2 se tiene una interfaz en el cual el usuario puede escoger entre cargar archivo o mostrar graficas e indicadores. En la figura 3.6 se puede observar la lectura de los sensores de humedad y temperatura ubicados dentro del desecador2.

270	1/9/2017	18:05	32	27.812
271	1/9/2017	18:35	21	28.625
272	1/9/2017	19:05	18	28
273	1/9/2017	19:35	19	27.437
274	1/9/2017	20:05	19	27.062
275	1/9/2017	20:35	28	28.687
276	1/9/2017	21:05	18	28
277	1/9/2017	21:35	19	27.062
278	1/9/2017	22:05	18	27.937
279	1/9/2017	22:35	19	27
280	1/9/2017	23:05	18	27.812
281	1/9/2017	23:35	19	27.562
282	2/9/2017	0:05	19	27.312
283	2/9/2017	0:35	18	27.875
284	2/9/2017	1:05	18	28.125
285	2/9/2017	1:35	19	26.875
286	2/9/2017	2:05	19	27.187
287	2/9/2017	2:35	19	27.5
288	2/9/2017	3:05	18	27.75
289	2/9/2017	3:35	18	28
290	2/9/2017	4:05	18	28
291	2/9/2017	4:35	19	26.875
292	2/9/2017	5:05	19	27.25

Figura 3.6 Excel datos almacenados desecador2.

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Desecador 3

Finalmente se obtiene el monitoreo de las variables de temperatura y humedad dentro del desecador 3, de la misma forma, que en desecador 1 y 2 es decir, mostrando las mismas alternativas en la interfaz del vi y almacenándose un historial en documento de Excel. En la figura 3.7 se puede observar los resultados mencionados.

293	2/9/2017	5:35	34	26.687
294	2/9/2017	6:05	34	27.125
295	2/9/2017	6:35	33	27.437
296	2/9/2017	7:05	34	26.062
297	2/9/2017	7:35	33	26.937
298	2/9/2017	8:05	34	26
299	2/9/2017	8:35	33	26.875
300	2/9/2017	9:05	34	25.875
301	2/9/2017	9:35	33	27.187
302	2/9/2017	10:05	33	28.875
303	2/9/2017	10:35	33	27.625
304	2/9/2017	11:05	33	26.562
305	2/9/2017	11:35	32	28.687
306	2/9/2017	12:05	33	27.25
307	2/9/2017	12:35	32	29
308	2/9/2017	13:05	33	27.5
309	2/9/2017	13:35	32	29.437
310	2/9/2017	14:05	33	27.937
311	2/9/2017	14:35	33	28.375
312	2/9/2017	15:05	32	28.312
313	2/9/2017	15:35	33	27.25
314	2/9/2017	16:05	33	26.625
315				

desecador3

Listo

Figura 3.7 Excel datos almacenados desecador3.

Fuente: Elaboración propia

3.3 Elaboración y evaluación del prototipo

Con las consideraciones y resultados anteriores, se procede a realizar un prototipo del equipo (Figura 3.13. Versión final del prototipo), con el que se validará la función de control de temperatura y humedad.

Para ello, se modificó el equipo en las condiciones iniciales, aplicándole lana de vidrio como aislante térmico alrededor, y asegurado con cinta de aluminio, un método similar al aislado en ductos de aire acondicionado, en reemplazo del poliuretano.

De los ventiladores que poseía, uno fue reemplazado ya que se encontraba inoperativo. La tapa del envase, así como 2 de las paredes fueron perforadas para instalar sensores de temperatura y humedad en la parte superior y lateral respectivamente. El fondo del equipo también fue perforado, y se le colocó un cajón adicional donde se instalaría la resistencia eléctrica.



Figura 3.8. Equipo antes de las modificaciones

Fuente: Elaboración propia

Se agregó además una parrilla de refrigeradora, como soporte para las desecadoras y las muestras. Las desecadoras fueron perforadas para permitir el paso de sensores de humedad y temperatura respectivamente.



Figura 3.9. Preparación de los desecadores

Fuente: Elaboración propia

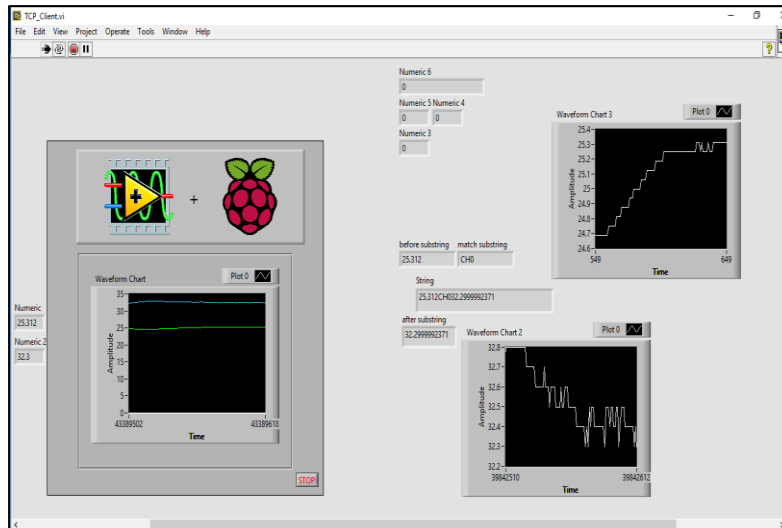


Figura 3.10. Pruebas del prototipo con sensores de temperatura

Fuente: Elaboración propia

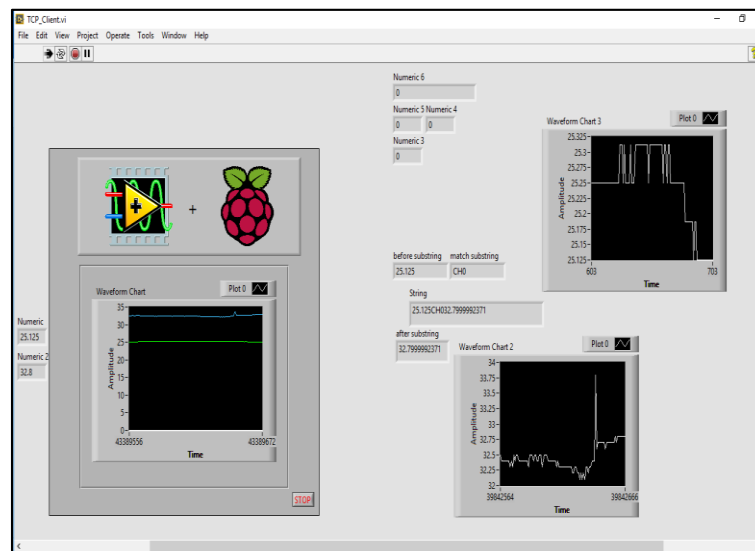


Figura 3.11: Etapa de corrección para muestras de temperatura

Fuente: Elaboración propia

Inicialmente, se planteó la idea de regular la resistencia eléctrica mediante un variador de voltaje, pero debido a la inercia térmica de la misma, es decir, que conserva energía térmica y la libera de forma progresiva (IECA, 2017), esto aumentaría de manera abrupta la histéresis del sistema, además de generar ruido en la señal de control(Figura 3.10 y Figura 3.11).

Por ello, las conexiones se hicieron mediante tarjeta Raspberry, en las que se realizó control de tipo On/Off tanto para los ventiladores dentro del recipiente, como para la resistencia eléctrica.

El control de la humedad en este caso se realizó de forma indirecta, es decir, activa el ventilador o el extractor dependiendo de la cantidad de humedad en la recámara. Las pruebas de este tipo de sensor se ilustran en la Figura 3.12.

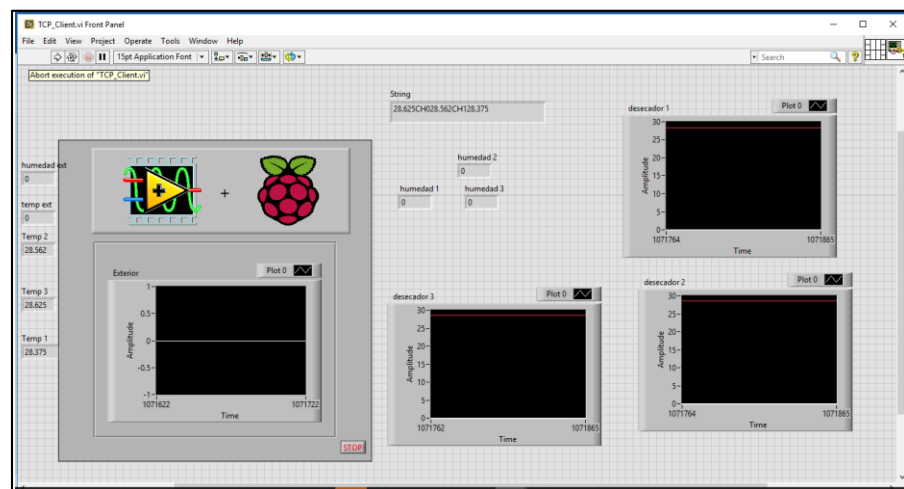


Figura 3.12. Evaluación de sensores de humedad

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.13. Versión final del prototipo

Fuente: Elaboración propia

3.4 Análisis de costos

En este apartado se detallará los costos tanto directos e indirectos para la implementación del proyecto.

3.4.1 Costos directos

Los costos directos incluyen la materia prima, insumos y equipos a utilizar, todo esto desglosado en la Tabla 3..

3.4.2 Costos indirectos

Los costos indirectos radican en rubros relacionados a la producción del proyecto, como servicios básicos, sueldos, gastos administrativos, etc. Para este caso, sólo se considerará un rubro para imprevistos, el cual se asumirá como 10% de los costos directos, es decir, \$128.29.

Finalmente, se tiene que la inversión necesaria llegaría a \$1,411.23. Es de mencionar que en el rubro de mano de obra se incluye también insumos necesarios para ensamblado, como cables, material de soldadura, tableros electrónicos, etc.

Tabla 3.1 Detalle de costos directos del proyecto

No	Componente	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Balanza de precisión 200g/1mg	u	1	\$340.00	\$ 340.00
2	Resistencia eléctrica, 300W. 20x20cm x3/8"	u	1	\$32.00	\$ 32.00
3	Sensor de Temperatura	u	4	\$10.00	\$ 40.00
4	Plancha Acero Inoxidable AISI 304, mate	u	2	\$23.68	\$ 47.36
5	Platina Aluminio, 850x350x3 mm	kg	2.4	\$1.70	\$ 4.08
6	Sensor de Humedad DHT 22	u	4	\$10.00	\$ 40.00
7	Ventilador de computadora 120 mm 12 V	u	5	\$10.00	\$ 50.00
8	Poliuretano	kg	3	\$6.50	\$ 19.50
9	Bisagra de acero inoxidable, para soldar, 40mm de espesor	u	2	\$5.00	\$ 10.00
10	Mano de obra	u	-	-	\$ 700.00
Total					\$ 1,282.94

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión de resultados

El presente proyecto surgió del requerimiento de permitir a estudiantes de la carrera de ingeniería en alimentos de la FIMCP realizar el ensayo ASTM E95-96 mediante un equipo confiable y de fácil mantenibilidad.

El diseño incluyó la selección de una fuente de calor adecuada, así como consideraciones como impedir el efecto de la radiación y una conservación de la temperatura de forma homogénea.

Al momento del dimensionamiento se tomó en cuenta no solo el espacio para las desecadoras, sino además para las balanzas que estarían llevando a cabo la medición del cambio de peso.

El cálculo de deflexión y carga para la parrilla fue obviado, ya que ésta puede ser adquirida fácilmente en el mercado local, o bien tomada de otro equipo, y la carga que va a soportar no es masiva.

Se seleccionó poliuretano dado que es un aislante liviano, resistente, de larga vida útil. Su instalación en el sistema se realizaría como una espuma que se solidificaría, lo que ahorraría tiempo de construcción.

Hubo complicaciones al momento de construir el prototipo, dadas las especificaciones para el sistema de medición de peso. Inicialmente se requería una precisión de 100mg lo cual, es difícil de conseguir hablando específicamente del costo. Para la elaboración de este prototipo se disminuyó la precisión a 1 mg.

La selección de la resistencia eléctrica fue discutida y llevada a cabo en conjunto con fabricantes a nivel local, tanto por cuestión de costos como de simplicidad.

La tarjeta raspberry pi fue difícil de encontrar debido a su poco uso en proyectos. Los estudiantes están más familiarizados con Arduino, pero, este microcontrolador no cumplía con nuestras demandas para el prototipo final.

4.2 Conclusiones

Se realizó el diseño y construcción del prototipo de un medidor de permeabilidad al vapor de agua para plásticos, con capacidad para 3 muestras en desecadores de 150mm de diámetro.

El control de temperatura no tuvo muchas complicaciones debido, a la precisión y rapidez en la lectura de los sensores por lo que se obtuvo en los rangos máximos y mínimos permitidos. El proyecto requería una temperatura de 25°C durante 24 horas, lo cual, se obtuvo gracias al control de la resistencia de 300w.

Para el control de humedad existe mayor variación, debido a que, los extractores no cumplen su función de disminuir la humedad, sin embargo, mediante la utilización de gel silica se logró contrarrestar dicha variación. Los extractores no disminuyen la humedad al estar encendidos debido a que, el ambiente externo es de mayor humedad que el interno.

El equipo trabaja las 24 horas a plenitud sin observarse picos ni ruidos en las mediciones, debido que, los sensores utilizados (dht22 y ds18b20) son diseñados para este tipo de aplicaciones donde se necesita tiempo de operación largo.

El interfaz que permite, la comunicación directa entre el usuario y la computadora es manejable dando varias opciones; las cuales permiten, un mejor entendimiento a la hora de dar inicio al sistema.

El material seleccionado es Acero AISI 304 -2B, mate pulido, debido a que, al ser equipo que trabaja con porcentajes de humedad significativos, debe de ser resistente a la corrosión, tanto para preservar las muestras como para aumentar la vida útil del equipo.

La potencia necesaria en la resistencia eléctrica se estimó en base a las pérdidas en las paredes, y la energía para calentar el aire en el ambiente, teniendo como resultado una resistencia tubular de 300W, con dimensiones de 20x20cm y 3/8" de diámetro.

El costo final del proyecto llegó a \$1411.23. Se considera como un equipo accesible para la universidad.

4.3 Recomendaciones

El equipo no debe ser abierto durante largos periodos mientras está en operación, ya que el cambio térmico podría alterar los resultados.

Es recomendable usar una tarjeta micro-sd de 16gb, clase 10 en la raspberry pi.

Utilizar un conjunto de disipadores de calor en la raspberry pi con la finalidad, de evitar paros en el sistema debido a sobrecalentamiento.

Este equipo está diseñado para operar dentro de un laboratorio, con condiciones de temperatura de 18°C y humedad de 50%.

Al momento de inyectar el poliuretano y al llevar a cabo la soldadura es recomendable utilizar equipo de protección personal adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fric, R. (8 de Diciembre de 2010). Light source thermal analysis II – Incandescent Lamp. Obtenido de <http://www.posterus.sk/?p=9400>
2. Hibbeler, R. C. (2004). *Mecánica Vectorial para ingenieros. Estática* (Décima ed.). México: Pearson Educación.
3. Incropera, F. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Cuarta ed.). México: Prentice Hall.
4. McHugh, T. H., Bustillo, R. A., & Krochta, J. M. (1993). Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal of food science*, 58.
5. Nise, N. S. (2004). *Sistemas de Control para Ingeniería*. México.
6. Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas. Un enfoque integrado*. México: Pearson.
7. Universidad Politécnica de Cataluña. (s.f.). *Sistemas de Control*. Cataluña, España. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Interfaz LabView

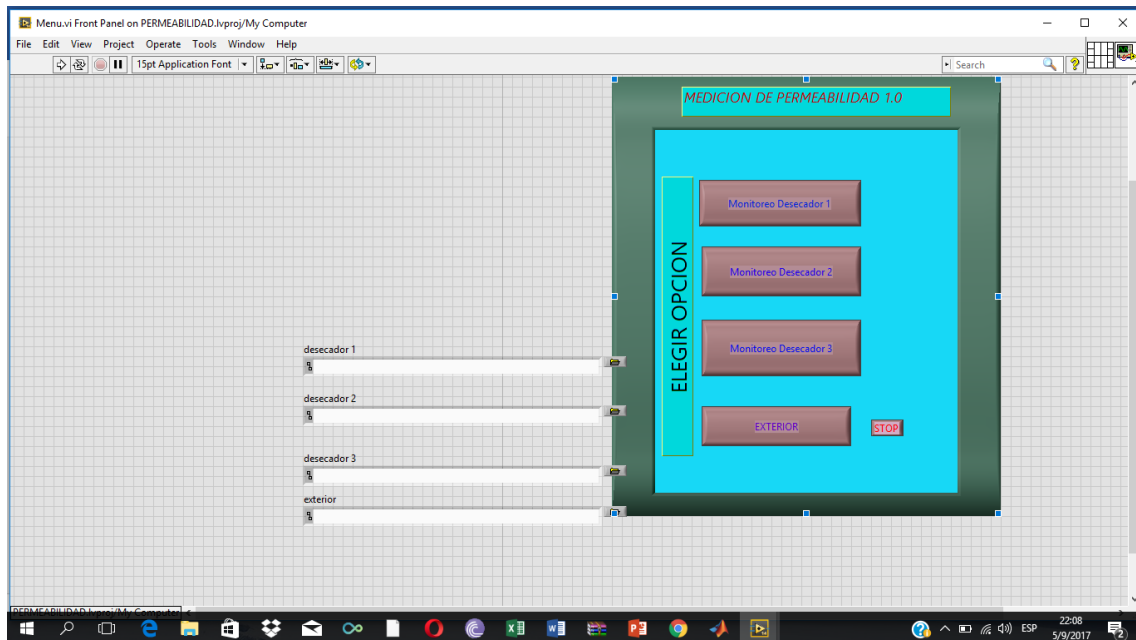


Figura A – 1. Panel Frontal de VI principal

Fuente: Elaboración propia

Descripción del Panel Frontal

Desecador 1: la dirección del archivo donde se almacenará las variables del desecador 1.

Desecador 2: la dirección del archivo donde se almacenará las variables del desecador 2.

Desecador 3: la dirección del archivo donde se almacenará las variables del desecador 3.

Exterior: la dirección del archivo donde se almacenará las variables controladas del equipo de permeabilidad.

Monitoreo desecador 1: Al presionar este botón, automáticamente se ejecuta el vi donde se observarán los cambios en la temperatura y humedad del desecador 1. Esto se repite en la opción del monitoreo del desecador2,3 y exterior.

Stop: Detiene el control automático y cierra el programa.

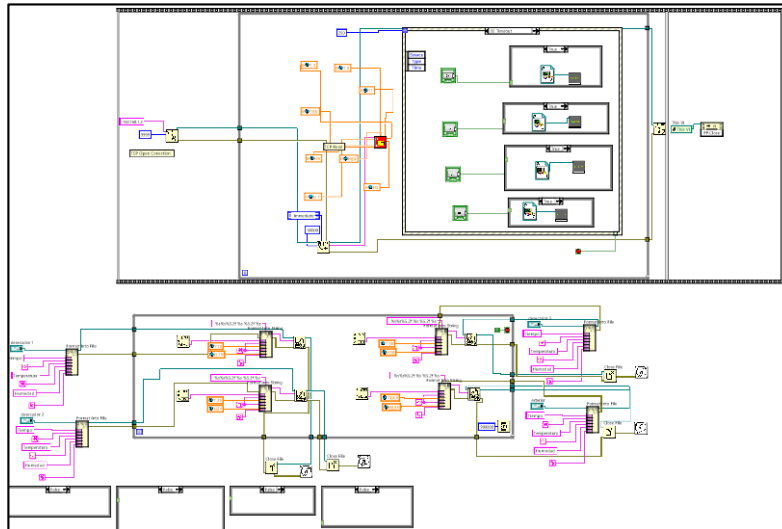


Figura A - 2. Programa principal en LabViewTM del sistema de monitoreo

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE B

Simulación Labview

Para la simulación en Labview se consideró una temperatura alrededor de 23.75°C y humedad entre 58% y 60%. El sistema después de su respectiva ejecución se realizó un seguimiento durante un intervalo de tiempo, con la finalidad de observar el comportamiento de la temperatura y humedad; Comprobando que dichas variables se mantienen dentro del rango controlado. Esto se puede observar comparando los valores de la Figura B -1 y Figura B -2.



Figura B – 1. Monitoreo del control de temperatura y humedad parte I

Fuente: Elaboración propia.

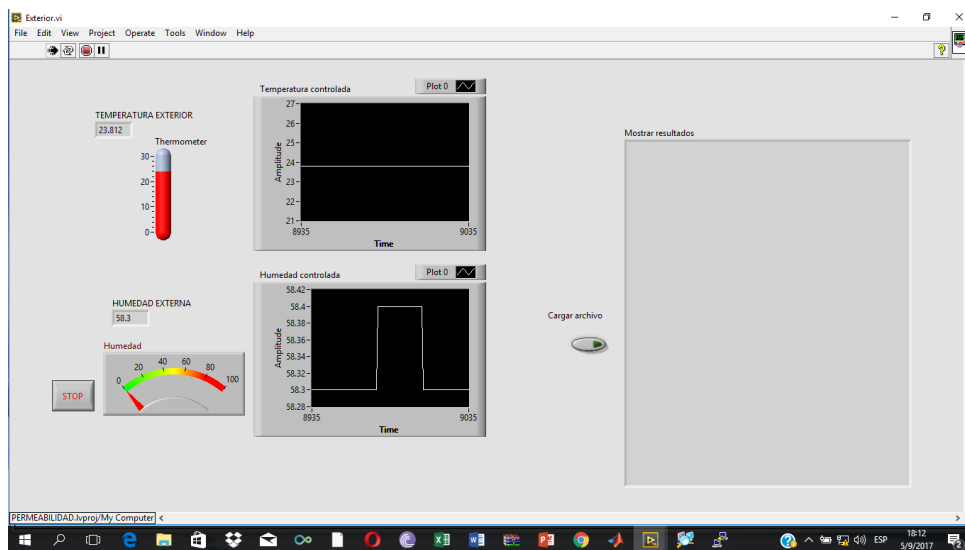
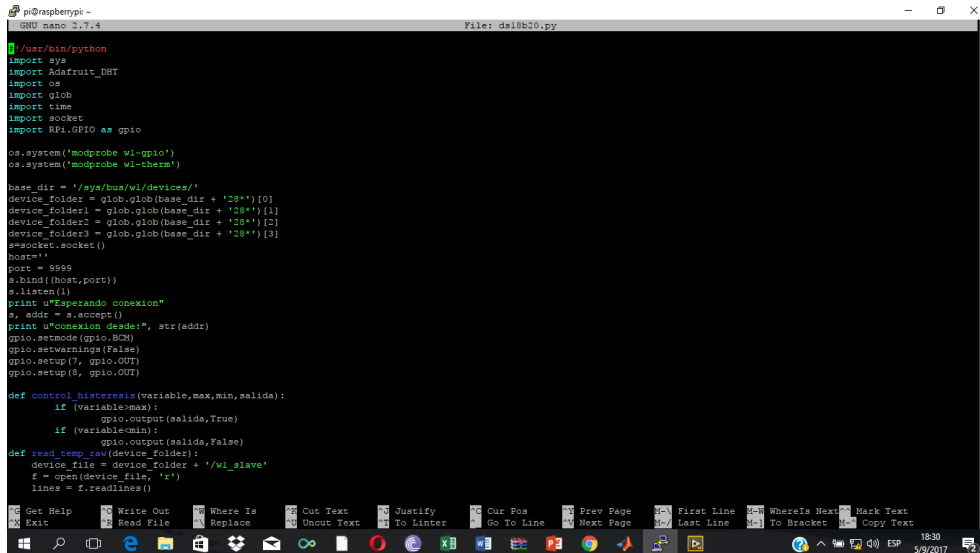


Figura B – 2. Monitoreo del control de temperatura y humedad parte II

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE C

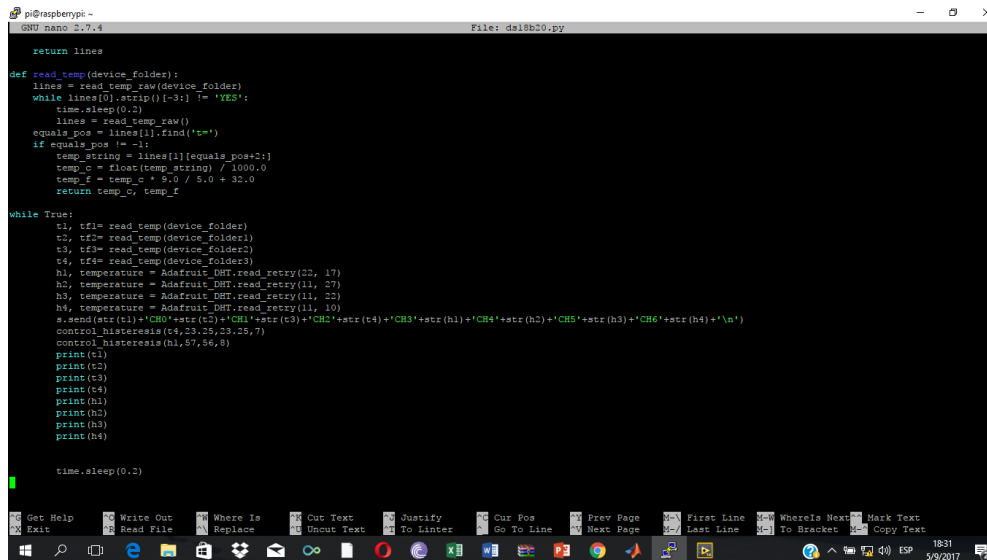
Código final en Python



```
pi@raspberrypi -  
GNU nano 2.7.4 File: ds18b20.py  
  
#!/usr/bin/python  
import sys  
import Adafruit_DHT  
import os  
import glob  
import time  
import socket  
import RPi.GPIO as gpio  
  
os.system('modprobe w1-gpio')  
os.system('modprobe w1-therm')  
  
base_dir = '/sys/bus/wi/devices/'  
device_folder = glob.glob(base_dir + '28*')[0]  
device_folder1 = glob.glob(base_dir + '28*')[1]  
device_folder2 = glob.glob(base_dir + '28*')[2]  
device_folder3 = glob.glob(base_dir + '28*')[3]  
s=socket.socket()  
host=""  
port = 5999  
s.bind((host, port))  
s.listen(1)  
print u"Esperando conexion"  
s, addr = s.accept()  
print u"Conexion desde:", str(addr)  
gpio.setmode(gpio.BCM)  
gpio.setwarnings(False)  
gpio.setup(7, gpio.OUT)  
gpio.setup(8, gpio.OUT)  
  
def control_histeresis(variable,max,min,salida):  
    if (variable>max):  
        gpio.output(salida,True)  
        if (variable<min):  
            gpio.output(salida,False)  
def read_temp_raw(device_folder):  
    device_file = device_folder + '/w1_slave'  
    f = open(device_file, 'r')  
    lines = f.readlines()  
  
return lines  
  
def read_temp(device_folder):  
    lines = read_temp_raw(device_folder)  
    while lines[0].strip()[-3:] != 'YES':  
        time.sleep(0.2)  
        lines = read_temp_raw()  
    equals_pos = lines[1].find('=')  
    if equals_pos != -1:  
        temp_string = lines[1][equals_pos+2:]  
        temp_c = float(temp_string) / 1000.0  
        temp_f = temp_c * 9.0 / 5.0 + 32.0  
        return temp_c, temp_f  
  
while True:  
    t1, t1f= read_temp(device_folder)  
    t2, t2f= read_temp(device_folder)  
    t3, t3f= read_temp(device_folder)  
    t4, t4f= read_temp(device_folder)  
    h1, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 17)  
    h2, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 27)  
    h3, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 22)  
    h4, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 10)  
    s.send(str(t1)+'@#0'+str(t2)+'@#1'+str(t3)+'@#2'+str(t4)+'@#3'+str(h1)+'@#4'+str(h2)+'@#5'+str(h3)+'@#6'+str(h4)+'\n')  
    control_histeresis(t4,23.25,23.25,7)  
    control_histeresis(h1,57,56,8)  
    print(t1)  
    print(t2)  
    print(t3)  
    print(t4)  
    print(h1)  
    print(h2)  
    print(h3)  
    print(h4)  
  
time.sleep(0.2)
```

Figura C – 1. Creación de funciones en Python.

Fuente: Elaboración propia



```
pi@raspberrypi -  
GNU nano 2.7.4 File: ds18b20.py  
  
return lines  
  
def read_temp(device_folder):  
    lines = read_temp_raw(device_folder)  
    while lines[0].strip()[-3:] != 'YES':  
        time.sleep(0.2)  
        lines = read_temp_raw()  
    equals_pos = lines[1].find('=')  
    if equals_pos != -1:  
        temp_string = lines[1][equals_pos+2:]  
        temp_c = float(temp_string) / 1000.0  
        temp_f = temp_c * 9.0 / 5.0 + 32.0  
        return temp_c, temp_f  
  
while True:  
    t1, t1f= read_temp(device_folder)  
    t2, t2f= read_temp(device_folder)  
    t3, t3f= read_temp(device_folder)  
    t4, t4f= read_temp(device_folder)  
    h1, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 17)  
    h2, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 27)  
    h3, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 22)  
    h4, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11, 10)  
    s.send(str(t1)+'@#0'+str(t2)+'@#1'+str(t3)+'@#2'+str(t4)+'@#3'+str(h1)+'@#4'+str(h2)+'@#5'+str(h3)+'@#6'+str(h4)+'\n')  
    control_histeresis(t4,23.25,23.25,7)  
    control_histeresis(h1,57,56,8)  
    print(t1)  
    print(t2)  
    print(t3)  
    print(t4)  
    print(h1)  
    print(h2)  
    print(h3)  
    print(h4)  
  
time.sleep(0.2)
```

Figura C – 2. Programa principal en Python.

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE D

Diseño PCB

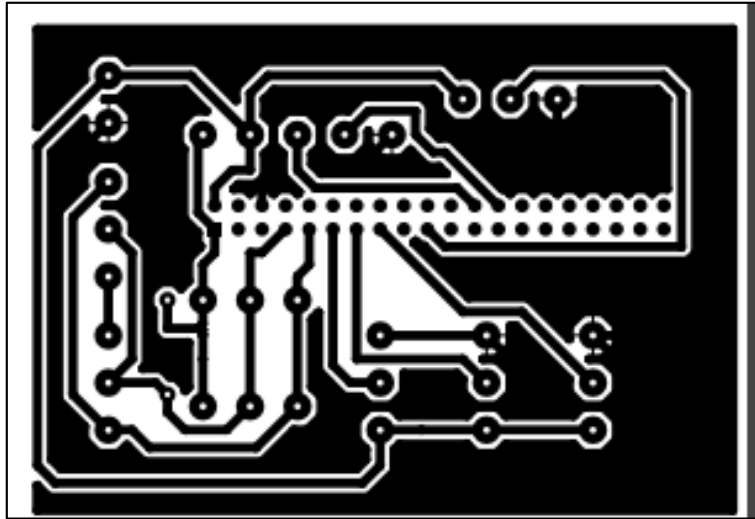


Figura D – 1. Diseño PCB de la conexión de sensores a raspberry.

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE E

Graficas MATLAB

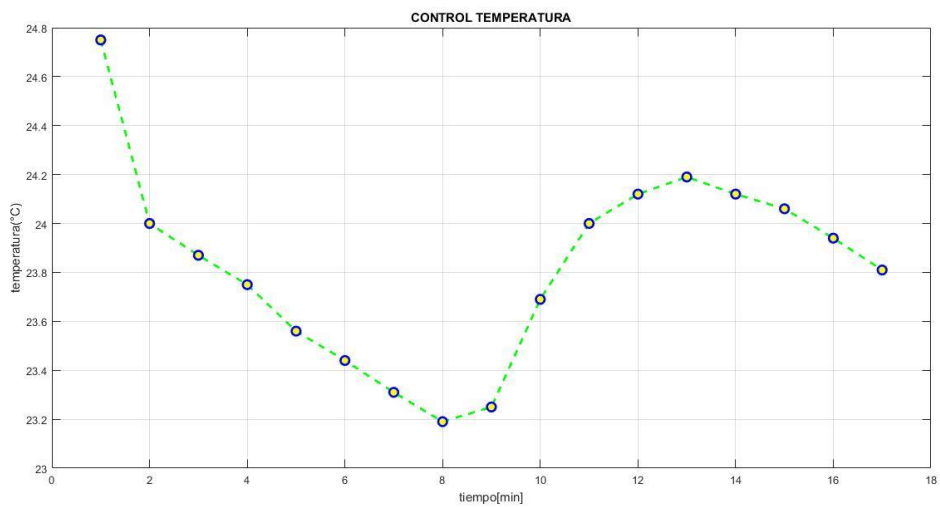


Figura E – 1. Gráfica temperatura vs tiempo en el exterior.

Fuente: Elaboración propia

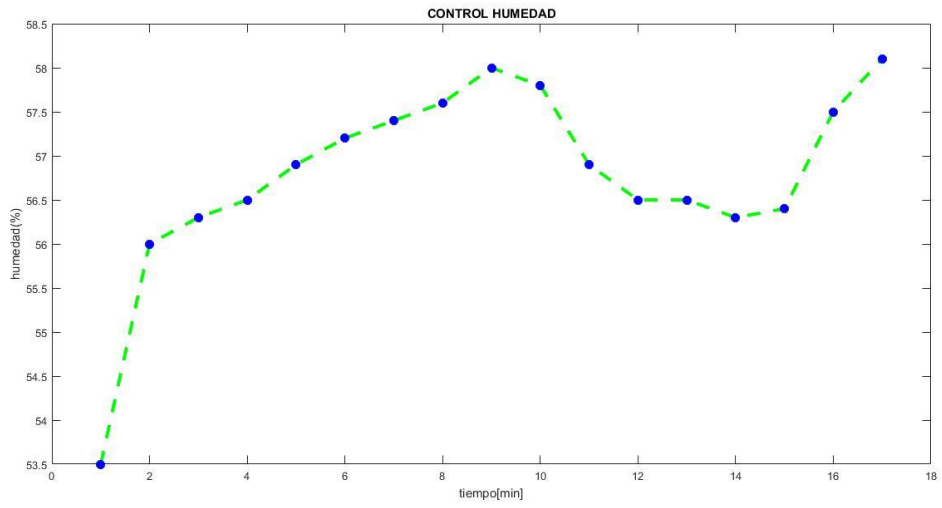


Figura E – 2. Gráfica Humedad vs tiempo en el exterior.

Fuente: Elaboración propia