



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN EQUIPO PARA  
MEDIR LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA DE  
PELÍCULAS FLEXIBLES”

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previa a la obtención del Título de:

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

**SANTIAGO XAVIER SANDOVAL ARÉVALO**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2017**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme las herramientas necesarias, sabiduría y fuerzas para llegar a esta meta.

A mis padres, parte esencial de mi crecimiento y formación por creer y apoyarme en todo lo que emprenda para cumplir mis sueños.

A mis maestros y tutores de tesis que se esforzaron por instruirme, compartirme de sus conocimientos y tiempo para lograr este trabajo.

**Santiago Xavier Sandoval Arévalo**

## DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres Santiago Sandoval Ancajima y Elda Lira Arévalo Castillo quienes han sido un gran apoyo incondicional y han velado cada día a lo largo de estos años para que yo pueda superar esta gran etapa de mi vida.

A mis hermanas Nadia Victoria Sandoval Arévalo y Sheila Cassidy Sandoval Arévalo por el amor y la confianza que me han brindado desde el día en que tomé la decisión de emprender una carrera universitaria y me alentaron cada día a seguir adelante.

A personas importantes en mi vida, Allison Moreira, David Tarira, Jaime Morales, Erik Ramón, Keneth Ramón, Ana Balladares, Jorge Valencia y Kevin Romero quienes han comprendido mi decisión y me han dado fuerza para cada día crecer más como persona.

A mis profesores que se esforzaron en mi aprendizaje, y estuvieron conmigo para corregir mis errores y lograr mis objetivos.

Por último, pero no menos importante, a la Ing. Janeth Godoy, Ing. Ronald Ponguillo y Dra. Sandra Acosta quienes fueron mis guías del presente proyecto y depositaron su total confianza en mí.

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....  
**Ing. Janeth Godoy Ortega**

PROFESOR EVALUADOR

.....  
**Ing. Ronald Ponguillo Intriago**

PROFESOR EVALUADOR

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....  
Sandoval Arévalo Santiago Xavier

## RESUMEN

En la actualidad, los polímeros flexibles utilizados son productos derivados del petróleo contaminantes del medio ambiente y la vida marina del planeta, por ello, se ha determinado la necesidad de mejores opciones y reemplazos como la utilización de plásticos biodegradables. Para lograr este objetivo se debe demostrar que los films biodegradables son equiparables al plástico cotidiano mediante una serie de características sobre ellos, uno de estas es la permeabilidad al vapor de agua.

El presente trabajo tiene como finalidad la construcción de un equipo que permite la medición de la permeabilidad al vapor de agua de películas flexibles, que hace uso de una modificación del método gravimétrico ASTM E96-95, midiendo el grado de permeabilidad al vapor de agua de manera indirecta cuantificando el índice de movimiento de vapor de agua a través de la película mediante los cambios de peso debido a la transferencia de humedad.

Para adquirir la información de las variaciones de peso, como variable de interés dentro del equipo, se diseñó e implementó un sistema capaz de almacenar todos esos datos en un archivo con extensión .tdms. Así mismo se construyó una estructura que permita que las condiciones internas del equipo contruido sean lo más constantes posibles y mediante LabVIEW se implementó una interfaz accesible para que los usuarios puedan manipularlo.

Como resultado, la base de datos generada contiene todas las variaciones de peso a las que se vio expuesta la muestra mediante una temperatura y humedad controlada, sin necesidad de abrir el equipo como en otras técnicas aplicadas usando el mismo método acompañado de una interfaz que informa al operador las condiciones en las que se encuentra la prueba en cualquier intervalo de tiempo con duración de 24 horas.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	7
CAPÍTULO 1.....	11
1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.1 Planteamiento del problema.....	11
1.2 Objetivos.....	12
1.2.1 Objetivo General .....	12
1.2.2 Objetivos Específicos .....	12
1.3 Justificación .....	13
1.4 Alcance .....	14
CAPÍTULO 2.....	15
2. ESTADO DEL ARTE.....	15
2.1 Antecedentes .....	15
2.2 Marco Teórico .....	16
2.2.1 Importancia de los polímeros y biopolímeros .....	16
2.2.2 Películas flexibles a base de material biodegradable .....	18
2.2.3 Características de las películas flexibles .....	19
2.2.4 Medición de la permeabilidad al vapor de agua.....	20
2.2.5 Características de equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua.....	21
2.2.6 Reseñas de prototipos y bases de mediciones de la permeabilidad al vapor de agua de películas flexibles.....	21
2.2.7 Esquema básico y elementos que intervienen en un equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua.....	22
CAPÍTULO 3.....	25

3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	25
3.1	Análisis del estado actual del equipo.....	25
3.2	Construcción del equipo de medición de permeabilidad al vapor de agua.....	26
3.2.1	Sensores y actuadores.....	26
3.2.2	Tablero de control .....	28
3.3	Implementación de Interfaz de usuario.....	30
3.3.1	Comunicación entre Balanzas y LabVIEW .....	30
3.3.2	Comunicación entre Raspberry PI 3 y LabVIEW .....	32
3.3.3	Análisis del control en Raspberry .....	34
3.3.4	Análisis del interfaz en LabVIEW. ....	35
	CAPÍTULO 4.....	42
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	42
4.1	Resultados de comunicación con balanzas y controlador Raspberry Pi3.....	42
4.1.1	Comunicación con balanzas analíticas.....	42
4.1.2	Comunicación con el controlador Raspberry y lectura de sensores.....	44
4.2	Resultados del almacenamiento de datos.....	45
4.3	Resultados de realizar la interfaz de usuario.....	47
4.4	Resultados de la fabricación del equipo .....	48
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
	Bibliografía.....	52



## TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Esquemático del método sintético simplificado y etapas del ciclo de vida del plástico [11].	18
Figura 2: Permeabilímetro al vapor de agua w3-030 [16].	21
Figura 3: Esquema de sistema para medir permeabilidad al vapor de agua.	23
Figura 4: Desecador de Vidrio [18]	23
Figura 5: Sensores [21].	24
Figura 6: Actuadores [22].	24
Figura 7: Condiciones iniciales del equipo	26
Figura 8: Muestra colocada en Balanza Analítica.	27
Figura 9: Vista superior del equipo	28
Figura 10: Tablero Eléctrico	28
Figura 11: Placa de sensores	30
Figura 12: Comunicación con una balanza	31
Figura 13: Comunicación con 3 balanzas	32
Figura 14: Envío de datos	33
Figura 15: Recepción de datos	33
Figura 16: Escritura TCP LabView	33
Figura 17: Lectura TCP LabView	34
Figura 18: Lectura de sensores de humedad y temperatura.	34
Figura 19: Código para interpretación de sensores Ds18b20.	35
Figura 20: Determinación de servidor.	35
Figura 21: Control de actuadores y envío de datos.	35
Figura 22: Pestaña principal.	36
Figura 23: Pestaña General.	36
Figura 24: Pestaña de desecadores.	37
Figura 25: Pestaña Instrucciones.	37
Figura 26: Pestaña Errores.	38
Figura 27: Proyecto LabVIEW.	38
Figura 28: Inicialización de archivo .tdms.	39
Figura 29: Código para escritura de archivo .tdms.	40

Figura 30: Decodificador de la cadena de caracteres.	41
Figura 31: Programación para lectura de balanzas.	42
Figura 32: Datos en panel frontal de balanzas.	43
Figura 33: Lectura de peso en balanzas	43
Figura 34: Definición de Raspberry como servidor.	44
Figura 35: Conexión exitosa con dispositivo cliente – LabVIEW.	44
Figura 36: Llamado a funciones para lectura de sensores.	45
Figura 37: Datos de humedad y temperatura sensados.	45
Figura 38: Código para almacenamiento de datos de interés.	46
Figura 39: Datos almacenados de la prueba.	46
Figura 40: Datos almacenados de la prueba.	47
Figura 41: Pestaña General de interfaz de usuario.	47
Figura 42: Vista total del equipo.	48
Figura 43: Vista superior del equipo.	49

## CAPÍTULO 1

### 1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad el plástico, producto-derivado del petróleo, es fácil de conseguir por su bajo costo, siendo utilizado para la fabricación de todo tipo de productos desechables con un tiempo de vida superior a 100 años desembocando en uno de los problemas más críticos para el medio ambiente [1].

El grado de polución debido al uso y desecho de plásticos a nivel mundial es elevado, siendo el residuo inorgánico más abundante y sus efectos son reflejados en el ámbito de la salud y la economía [2]. Frente al ascendente grado de contaminación producto de los polímeros, se ha llevado a cabo la búsqueda de alternativas viables para reducirlo; sin embargo, el plástico común se ha convertido en uno de los materiales de mayor producción en las últimas décadas por la sociedad y la industria [3].

ESPOL cuenta con equipos que permiten realizar pruebas de permeabilidad, pero no se encuentran en estado de operación, por ello, un proyecto integrador que precede al presente trabajo ha realizado el diseño y prototipo de una estructura con la capacidad de medir la permeabilidad al vapor de agua de films plásticos biodegradables, es decir, con funciones similares a los que no se encuentran activos. Sin embargo, el sistema no tiene implementada una interfaz que permita tomar datos de las muestras y de todas las variables asociadas al sistema en tiempo real como la temperatura, humedad y peso, y así conocer su estado en cualquier momento.

El equipo desarrollado cuenta con un sistema de control de temperatura y humedad, pero no con uno de peso. Las mediciones de esta variable se realizan manualmente en intervalos de tiempo definidos, realizar tal acción provoca que se requiera abrir la compuerta del prototipo para acto seguido retirar y pesar la muestra, y posteriormente ingresarla para continuar el proceso, provocando la alteración de las tres variables antes mencionadas, de modo que las lecturas realizadas resultan erróneas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Construir un equipo de permeabilidad al vapor de agua con sensores de control de humedad, temperatura y peso para realizar ensayos en películas bio y no biodegradables aplicando el método gravimétrico.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar el seguimiento de las variaciones de peso de la muestra para la determinación del grado de permeabilidad al vapor de agua de las películas flexibles.
- Transferir el sistema de control de temperatura y humedad a la nueva estructura para la regulación de ambas variables en el proceso.
- Desarrollar una interfaz gráfica para el monitoreo de las variables que intervienen en el proceso como la temperatura, humedad y peso.

### 1.3 Justificación

El presente proyecto se enfoca en mejorar el esquema electrónico del prototipo de una máquina capaz de medir la permeabilidad de films plásticos desarrollados a base de material orgánico, el mismo que fue implementado en un proyecto integrador previo en ESPOL.

Uno de los parámetros de calidad analizados sobre los plásticos biodegradables para convertirse en una opción factible capaz de reemplazar a los plásticos derivados del petróleo, es la permeabilidad que presenta el film plástico frente al vapor de agua; cuanto menos permeable sea la película flexible, se aseguraría en un mayor índice la preservación y la vida de anaquel de los productos empaquetados. El cambio a efectuarse sobre el equipo se realiza debido a la necesidad de evitar posibles alteraciones y variaciones considerables sobre la temperatura, humedad y peso, variables que intervienen directamente sobre la eficiencia del proceso.

La permeabilidad del film depende de las variaciones de peso de la muestra; debido a que el equipo no cuenta con un control para esta variable, uno de los cambios a realizar en el presente proyecto se centra en colocar dispositivos de medición de peso que adquieran las variaciones que ha sufrido la muestra en el tiempo y de esta manera evitar la toma de mediciones manuales afectando las condiciones de exposición de la muestra.

Otra de las modificaciones es transferir todo el sistema de sensores, actuadores y control a una nueva estructura con la finalidad de garantizar confiabilidad y eficiencia sobre los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas para analizar la permeabilidad de las muestras.

Y adicional se requiere implementar una interfaz amigable con el usuario que permita observar el estado de todas las variables asociadas al proceso en tiempo real, la adquisición y exportación de datos a otras plataformas para el análisis y almacenamiento de los mismos.

#### **1.4 Alcance**

El proyecto a llevarse a cabo es de tipo multidisciplinario, y consiste en mejorar un equipo que mide la permeabilidad al vapor de agua de películas flexibles, cambiando el prototipo ya existente a una estructura metálica e implementando materiales y componentes que representan mayor confiabilidad para el proceso.

En este trabajo intervienen las carreras de Ingeniería Electrónica y Automatización Industrial, Mecánica y Alimentos; cada área cubre un enfoque diferente, pero con el mismo objetivo. El área electrónica se encarga de adecuar el sistema de control y temperatura en la nueva estructura a fabricar, instalar y verificar los sensores de peso (balanzas de precisión) al 100% y de implementar una interfaz gráfica para el monitoreo de variables que intervienen en el proceso como la temperatura, humedad y peso.

## CAPÍTULO 2

### 2. ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 Antecedentes

La permeabilidad al vapor de agua ha sido utilizado como uno de los factores para determinar la calidad de los plásticos comunes; con los años y la necesidad del reemplazo de este tipo de materiales se comenzó a realizar análisis e investigaciones en polímeros biodegradables en diversas partes del mundo [4] [5].

En el Ecuador se han realizado algunos proyectos e investigaciones de fabricación y utilidad de polímeros biodegradables, a base de carbohidratos y diversos compuestos como una forma de reemplazo y nuevas vías de conservación de alimentos, estos han sido guías y bases para continuar con los estudios de calidad y estándares que deben cumplir los mismos, tecnificando y convirtiendo éstos en una opción para la industria alimenticia y afines [6] [7].

El presente proyecto ha surgido de la necesidad de someter a pruebas de control de calidad a películas flexibles biodegradables que tienen como fin ser usadas como material que reemplace al plástico común como parte de los derivados del petróleo, siendo éste un gran causante de problemas medioambientales por su prolongado tiempo de vida [1].

El sistema a realizar se enfoca principalmente en ensayos de la permeabilidad al vapor del agua que presentan los films plásticos como una de las principales características para determinar la calidad y la eficiencia, deseando así lograr alcanzar estándares equiparables que lo conviertan en una opción viable para el reemplazo de los polímeros contaminantes.

Debido a los efectos adversos producto de los plásticos, en ESPOL un grupo de estudiantes realizaron un proyecto integrador previo que desarrolló un prototipo de la máquina para realizar estos ensayos, por tanto al equipo se le diseñó con el propósito de que sea capaz de controlar variables como la temperatura,

humedad, peso, así como también que posea una interfaz que permita conocer el estado en tiempo real del sistema.

La etapa inicial del prototipo ha sido finalizada, sin embargo, carece de una estructura adecuada para que las muestras sean sometidas a condiciones similares, aún no posee una interfaz amigable para el usuario quien se encarga de analizar los datos y así evitar alterar el estado de credibilidad de los resultados a obtener, y tampoco existe el monitoreo de una de las variables más importantes en este sistema, el peso, siendo este como un factor indicativo de la permeabilidad al vapor de agua del film.

Pensando en ello se buscó la optimización y mejora de este equipo mediante una segunda etapa con la participación de carreras interdisciplinarias que puedan reunir los conocimientos necesarios y construir una mejora significativa en los resultados de los estudios realizados por la carrera de Ingeniería en Alimentos.

## **2.2 Marco Teórico**

### **2.2.1 Importancia de los polímeros y biopolímeros**

Actualmente, en el mundo la producción y el consumo de plástico alcanzan millones de toneladas. Los países desarrollados presentan el mayor consumo de polímeros, seguidos por el consumo presentado en países en vías de desarrollo y subdesarrollados. El 80% de productos realizados a base polímeros, es decir, fabricados con recursos fósiles, empiezan su vida útil en las industrias petroquímicas que operan en los diferentes países del planeta. Por tanto, desde el momento en el que se adquiere la prima para la fabricación de estos productos ipso facto se está generando un impacto fuerte sobre el medio ambiente [8].

De tal modo que los ecosistemas más afectados son los terrestres y mayoritariamente los marinos, consecuencia de que los polímeros encuentran vías para alcanzar el lecho marino. Uno de los factores que provocan esta situación es que el mercado global se ve en la necesidad de producir y satisfacer la excesiva demanda de la población que se encuentra acostumbrada a el consumo de productos fabricado o que



contienen este material, como por ejemplo, supermercados, jugueterías, servicios de comida, almacenes, etc [8].

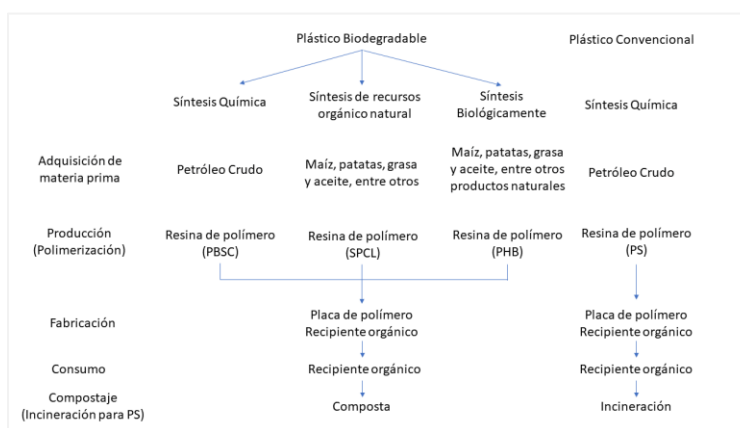
En el transcurso del tiempo se han buscado opciones que permitan reutilizar o reducir el consumo de polímeros productos de los recursos fósiles.

Una opción es reciclar y tratar a los plásticos utilizados, mediante alternativas de recuperación como el reciclaje mecánico que se fragmenta en reciclaje primario encargado de aprovechar los polímeros vírgenes de los productos sin necesidad de invertir una gran cantidad de tiempo, o reciclaje secundario que refiere a la extracción de plástico sin recurrir a procesos demasiado complejos, sin embargo, no todo el plástico puede ser re-utilizado de manera sencilla por lo que se recurre al reciclaje químico (reciclaje terciario) que permite la extracción de un mayor porcentaje de polímeros embebidos en productos del consumo diario mediante la aplicación de sustancias químicas que descomponen el material reciclado; y como última opción se encuentra el reciclaje energético (reciclaje cuaternario), éste último permite la recuperación de combustibles sólidos, aunque realizarlo provoca la emisión de sustancias peligrosas al medio ambiente [9].

Otra opción es la utilización de plásticos biodegradables, su elaboración incluye materia microbiana o pueden ser extraídos del almidón, además la utilización de fibras naturales de diversas plantas pueden mejorar las características del producto como durabilidad, resistencia, etc. Debido a la naturaleza con la cual se fabrican estos plásticos se ven propensos a que su degradación se realice bajo la acción de microorganismos, hongos y algas. No obstante, a los polímeros biodegradables también se les puede clasificar como: fotodegradables, degradables por oxidación, hidrolítica mente degradables o aquellos que pueden ser compostados. La utilización de material polimérico biodegradable presenta dos ventajas sobre el uso del plástico común, la primera es que su producción puede provenir de diversas fuentes orgánicas como materia prima y no solo

como derivado del petróleo, y la segunda es que la vida útil de productos con polímeros biodegradables no es tan elevada e incluso pueden aportar nutrientes al medio ambiente cuando ha sido desechado terminando en rellenos sanitarios o en compostas; ambas ventajas representan una reducción significativa del impacto sobre el medio ambiente, pero aun así esta solución no ha alcanzado a reemplazar al plástico en el mercado debido a la dificultad al cambio de las industrias de optar por vías más amigables ambientalmente [10].

A continuación, se expone las etapas de los polímeros bio y no biodegradables:



**Figura 1: Esquemático del método sintético simplificado y etapas del ciclo de vida del plástico [11].**

### 2.2.2 Películas flexibles a base de material biodegradable

Con el objetivo de contrarrestar la contaminación causada por el plástico, varios laboratorios de los diferentes países se encuentran desarrollando tecnología sustentable para el medio ambiente. Uno de los avances que más resalta es el estudio, diseño y fabricación de películas flexibles (films plásticos) biodegradables que puedan reemplazar el plástico común principalmente para el empaquetado de productos alimenticios u otros, que se ven en la necesidad de ser envasados y los cuales generalmente mantienen el envoltorio plástico una muy pequeña parte de su vida útil y

luego son desechados. Debido a su vida útil prolongada, estos materiales terminan contaminando bosques, mares, entre otros entornos ambientales.

Con la nueva propuesta de crear nuevos productos que tengan las mismas funcionalidades, pero aumentando la sostenibilidad, recientemente se han inclinado los desarrollos tecnológicos por incrementar el desempeño de los materiales orgánicos, incluyendo matrices poliméricas, nano estructuras y aditivos, todo derivado de recursos renovables, pero con propiedades similares a las del poliestireno o cualquier otro derivado del petróleo. La materia orgánica permite desarrollar films plásticos, así como también puede ser moldeada para dar acabados con diferentes formas dependiendo de la orientación de la aplicación para la cual se está creando el producto. Sin embargo, ciertas aplicaciones de estos films se ven a menudo limitadas debido su naturaleza frágil y estabilidad térmica baja. Aun así son capaces de mantener sus propiedades de homogeneidad, térmicas, mecánicas y de barreras al oxígeno en cierta cantidad de días a una temperatura y humedad definidas [12].

### **2.2.3 Características de las películas flexibles**

Las películas flexibles toman sus características dependiendo de los materiales que se utilizaron para su fabricación, de tal modo que estos otorgan a la película la diversidad de propiedades que puede presentar como su color, olor, entre otras más importantes como están:

Su propiedad mecánica, para este test el film plástico biodegradable es expuesto a temperaturas elevadas para reducir su humedad, posteriormente las muestras son sometidas a estrés mecánico en condiciones de temperatura y humedad constantes, de acuerdo al ASTM D638M- 90 de manera que se pueda determinar su resistencia a la tracción [13] [14].

Su característica térmica, este test suele ser de tipo mecánico térmico, en donde la muestra es colocada a una temperatura superior a los 100° C y se eleva a un valor que es dos veces el inicial, el ascenso de temperatura es realizado en pasos definidos y en ciertos intervalos de tiempo, de manera que el test permita observar cómo reacciona la muestra con cada variación de temperatura [13].

Su permeabilidad al vapor de agua, determina las propiedades de barrera de la película frente al vapor de agua. El test para determinar el índice de permeabilidad al vapor de agua se realiza en condiciones de temperatura y humedad definidas y constantes en el tiempo [14].

Otras características que se pueden determinar en las películas flexibles son las fracturas que presentan a nivel molecular análisis con microscopios electrónicos, como también se puede establecer el grado de cristalinidad del material con análisis mediante rayos X [13].

#### **2.2.4 Medición de la permeabilidad al vapor de agua**

La propiedad de permeabilidad al vapor de agua en una película flexible es analizada de acuerdo al ASTM E96-90, que consiste en colocar varios films cortados en formas circulares en copas de aluminio y monitorear cuanta humedad atraviesa los films en períodos de 24 horas, un número determinado de días o hasta semanas, y con el fin capturando las variaciones de peso, estado de temperatura y humedad de la muestra cada ciertos intervalos de tiempo [14].

Para realizar las mediciones de peso de la muestra la recámara en la que se encontrarán las muestras debe estar con una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y con una humedad relativa de  $50\% \pm 2\%$  [14].

La permeabilidad al vapor de agua y el rango de transmisión de vapor de agua pueden ser medidos utilizando los datos registrados como la variación de peso de la muestra con respecto al tiempo, la superficie y el ancho de film expuesto y la diferencia parcial de presión a la que se ve sometida la muestra [15].

### 2.2.5 Características de equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua

El desarrollo tecnológico ha desarrollado equipos capaces de medir la permeabilidad al vapor de agua, cumpliendo con funcionalidades como:

*Pesaje automático de la muestra y captura de datos de ensayo*

*Tres muestras pueden ser sometidas al test simultáneamente*

*Control de temperatura y humedad para establecer condiciones estáticas o dinámicas de estas variables durante el ensayo.*

*Poseen interfaces de comunicación con otros equipos como ordenadores, impresoras, entre otras [16].*

Uno de los equipos capaces de realizar tal funciones es el equipo mostrado a continuación es un fabricado por TECHLAB SYSTEMS, y es uno de los varios permeabilímetros que produce.



**Figura 2: Permeabilímetro al vapor de agua w3-030 [16].**

### 2.2.6 Reseñas de prototipos y bases de mediciones de la permeabilidad al vapor de agua de películas flexibles.

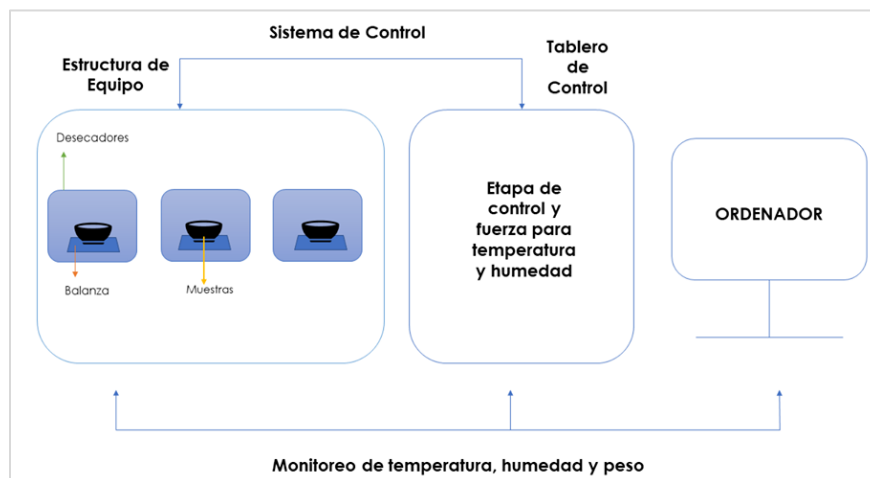
En los proyectos que anteceden al presente trabajo tienen como primer objetivo la creación del film biodegradable a base de ingredientes orgánicos (carbohidratos, proteínas y lípidos) que brindan diferentes funciones para dar como resultado una opción de calidad, que pueda ser

apto para las caracterizaciones y pruebas que servirán para validar la acreditación del plástico biodegradable como una opción de mercado en las agroindustrias y preservación de alimentos. Las propiedades físicas, mecánicas y antibacterianas que deben cumplir suponen una similitud a la del plástico común que ha servido a dichas industrias a mejorar la productividad, aumentar la vida útil y reducir el desperdicio. [17]

Entre estas características se encuentra la permeabilidad al vapor de agua que engloba un papel importante en la determinación esta calidad. Todos los equipos que utilizan el método gravimétrico miden las características de manera similar, utilizando el mismo principio en cuanto a la medición de la permeabilidad al vapor de agua con los parámetros de humedad, temperatura y registrando el peso en intervalos de tiempo de acuerdo con el polímero utilizado para la prueba. La unificación de la medición en el ensayo a diferencia de los trabajos anteriores ofrece una mejoría en cuanto a la eficacia y eficiencia de los resultados obtenidos brindando confianza y objetividad al momento de realizar el análisis respectivo. [18]

### **2.2.7 Esquema básico y elementos que intervienen en un equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua.**

El equipo consta de una estructura donde los desecadores contendrán las muestras sobre copas de aluminio y se verán expuestas a condiciones de temperatura definidas. Estas variables tendrán un sistema de control y una etapa de fuerza, el equipo contará con sensores de peso que permitan monitorear y adquirir las variaciones del peso de la muestra. Tiene que ser confiable y resistente realizar el ensayo durante un día o más tiempo [16].



**Figura 3: Esquema de sistema para medir permeabilidad al vapor de agua.**

La estructura metálica debe estar diseñada y construida con el fin de que la transferencia de calor desde el exterior al interior sea cercana a cero.

Los desecadores es un material de laboratorio construido con material resistente de vidrio, este se posee un ambiente controlado con un grado muy bajo de humedad. Está constituido de tres partes: El cuerpo, una plataforma interior donde se sitúa la muestra, y una tapa que permite un cierre hermético. Debajo de la plataforma se encuentra la sustancia desecante que eliminará la humedad presente en su interior [17].



**Figura 4: Desecador de Vidrio [18]**

Los sensores son los dispositivos capaces de obtener información de un sistema, también conocidos como transductores y una de sus principales

funciones es convertir magnitudes físicas, químicas o biológicas en una señal eléctrica. Se pueden manifestar de dos formas activa o pasiva [19] [20].



**Figura 5: Sensores [21].**

El equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua mínimo necesita sensores de temperatura, humedad y de peso.

Los actuadores constituyen la parte intermedia entre la etapa de control y el sistema, estos son los encargados de interpretar las órdenes por parte del control y ejecutar acciones sobre el proceso, mediante amplificación o transformación de la señal de control en señales eléctricas neumáticas o hidráulicas de potencia considerable [19] [20].



**Figura 6: Actuadores [22].**

El permeabilímetro a fabricar contará con actuadores para el ingreso o repulsión de humedad, y de temperatura.



## CAPÍTULO 3

### 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el presente capítulo se describe la metodología utilizada en el proyecto, la cual fue: análisis del prototipo del equipo, construcción del equipo de medición, implementación de la interfaz de usuario.

La siguiente información fue experimental, cuantitativa y de campo. A continuación se puntualizará cada una de las etapas de manera cronológica en que fue planificado y ejecutado el proyecto.

#### 3.1 Análisis del estado actual del equipo

En base a las condiciones del prototipo del equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua realizado en la materia integradora que antecede al presente proyecto, se obtuvieron los siguientes antecedentes:

El equipo cuenta con los siguientes elementos:

*Resistencia de 300 w, utilizada para elevar la temperatura.*

*Ventilador homogenizador de calor, permite distribuir la temperatura en la máquina.*

*Ventilador extractor de humedad, ayuda a extraer la humedad interna.*

*Raspberry PI 3 empleado como controlador, con comunicación TCP/IP con la computadora a través de un router.*

*Módulo Relé de 2 canales como elemento de potencia para activar resistencia calefactora y el ventilador extractor de humedad.*

*Desecadores artesanales para albergar las tres muestras de plástico biodegradable.*

*Ventiladores, como extractores de humedad para las muestras de plástico.*

*La estructura cuenta con una capa de fibra de vidrio para mantener la temperatura y humedad internas. Es importante considerar que el equipo no dispone de un sensor o dispositivo de medición de peso, por lo que el mismo debe ser abierto*

*para retirar las muestras y pesarlas de forma manual, modificando las condiciones internas del equipo e introduciendo error a las variables de medición.*



**Figura 7: Condiciones iniciales del equipo**

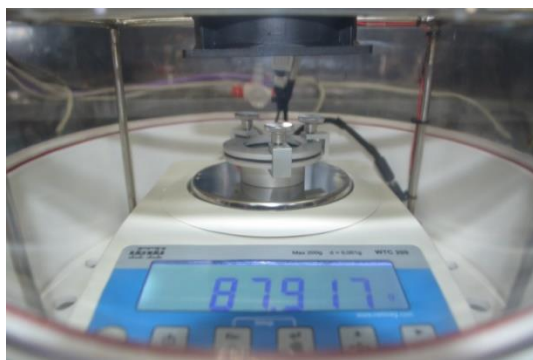
## **3.2 Construcción del equipo de medición de permeabilidad al vapor de agua**

### **3.2.1 Sensores y actuadores**

Para elaborar un sistema de control, se necesita conocer el estado de las variables de interés en el equipo, para el caso del mismo, las variables de interés son la humedad, la temperatura y el peso. El diseño precursor contaba con cuatro sensores de temperatura y cuatro de humedad, estos eran los Ds18b20 utilizados para medir temperatura, el DHT22 para medir la humedad interna de la máquina y tres DHT11 para medir la temperatura en los desecadores, en cuanto al peso, no existía ningún tipo de dispositivo que adquiriera datos de esta variable. Los actuadores presentes eran ventiladores de potencia baja para homogenizar el calor en la estructura y para extraer la humedad del equipo. Adicional a esto se contaba con una resistencia calefactora para elevar la temperatura en caso de estar bajo las condiciones requeridas.

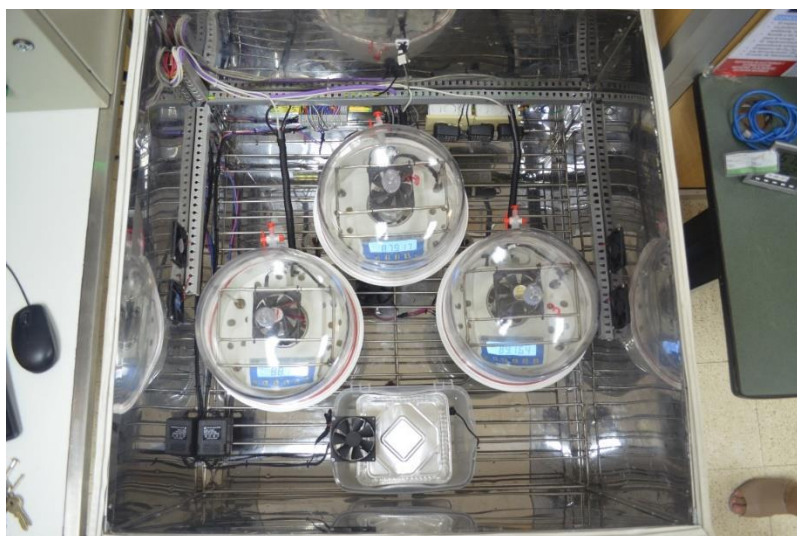
Las mejoras respecto a sensores, fue el reemplazo de los sensores DHT11 encontrados en los desecadores, por DHT22, de manera que la medición de la humedad genere menor error en el transcurso de la prueba

con una duración de 24 horas. En cuanto a los sensores Ds18b20 fueron conservados debido a que su precisión era suficiente para la especificidad requerida. Así mismo se agregó tres balanzas electrónicas/analíticas con una precisión de 0.001g, que realizan la función de medir el peso de la muestra constantemente en el transcurso de la prueba.



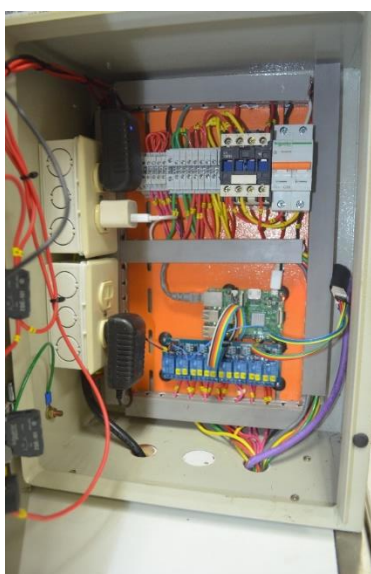
**Figura 8: Muestra colocada en Balanza Analítica.**

Los cambios referentes a los actuadores fueron los siguientes; se agregó dos ventiladores para extraer humedad, se conservó los tres ventiladores que llevaban los desecadores artesanales para extraer la humedad de las muestras, y fueron re-ubicados en desecadores de polipropileno y policarbonato que descansarían dentro de la máquina, sobre una estructura metálica removible en el desecador para tener mayor facilidad de maniobrabilidad con la muestra de plástico biodegradable. La potencia de la resistencia del diseño anterior fue de 300w. Debido al aumento del tamaño de la estructura, se colocó dos resistencias calefactoras en paralelo de 200w cada una para suplir con la demanda de calor necesaria para elevar la temperatura en caso de ser necesario. Adicionalmente se realizó la construcción de un humificador que permita aumentar la humedad si es que esta llega a bajar de los valores permisibles.



**Figura 9: Vista superior del equipo**

### 3.2.2 Tablero de control



**Figura 10: Tablero Eléctrico**

Similar a cualquier tablero de control, este contaba con dispositivos de protección y accionamiento, entre estos se encontraban un breaker de caja moldeada de 2 polos de 16 amperios y un contactor de 3 polos de 30 A. Luego de la energía pasar por estos dispositivos se repartían a distintos elementos de segmentación y fuentes de voltaje que permitían alimentar la Raspberry pi 3, el módulo relé de 8 canales y las balanzas de precisión.

La Raspberry Pi3 que tiene la función de ser el control de la máquina, y este se comunicaba hacia LabVIEW mediante comunicación TCP/IP. En conjunto con un módulo relé de 8 canales, el cual reemplazaba al módulo relé de 2 canales existente anteriormente en el diseño, de los 8 canales se usaron 7, descritos a continuación:

Salida 1 de Relé – GPIO 06 de Raspberry: Luz piloto indicadora de Raspberry funcionando.

Salida 2 de Relé - GPIO 13 de Raspberry: Activa los extractores de humedad del equipo.

Salida 3 de Relé – GPIO 19 de Raspberry: Activa los extractores de humedad sobre las balanzas.

Salida 4 de Relé – GPIO 26 de Raspberry: Activa el humidificador ultrasónico.

Salida 5 de Relé – GPIO 12 de Raspberry: Activa el ventilador homogenizador de humedad.

Salida 6 de Relé – GPIO 16 de Raspberry: Activa la resistencia calefactora.

Salida 7 de Relé – GPIO 20 de Raspberry: Activa el ventilador homogenizador de calor.

Salida 8 de Relé: No usado.

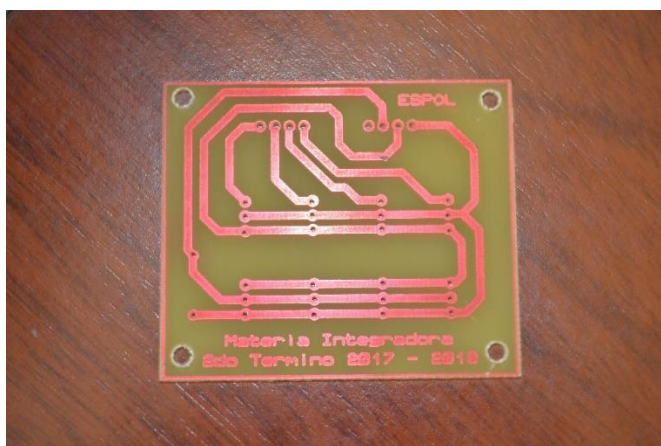
Las entradas utilizadas para los diferentes sensores y actuadores son las siguientes:

GPIO 04 de Raspberry: Sensores de temperatura Ds18b20, con comunicación one wire.

GPIO 17 de Raspberry: Sensor de temperatura DHT22 destinado para medir la temperatura en el equipo.

GPIO 27, 22 y 10 de Raspberry: Sensores de temperatura DHT22 respectivamente destinados a medir temperatura en cada uno de los desecadores.

Los sensores estaban ubicados en el equipo, y el controlador se encontraba en el tablero de control, por lo que para evitar llevar todo el cableado de sensores hacia la tarjeta, se diseñó una tarjeta que permita comunicar mediante un cable UTP blindado a los sensores con la tarjeta. La función era organizar los datos de los sensores y permitirles viajar de manera más discreta hacia la tarjeta de control. La tarjeta se muestra a continuación.



**Figura 11: Placa de sensores**

### **3.3 Implementación de Interfaz de usuario**

#### **3.3.1 Comunicación entre Balanzas y LabVIEW**

Para la medición de peso se utilizaron balanzas WTC200 con 0.001 g de precisión. La comunicación con estas balanzas son de tipo serial mediante RS 232, USB tipo B o USB tipo A, cuentan con un driver para LabVIEW que permite inicializar, leer, tarar, encerrar entre otras funciones a las balanzas. Para este caso inicializar, leer y encerrar eran las funciones necesitadas.

La comunicación serial se la realizó mediante USB tipo B, por lo cual se requerían algunas condiciones en el ordenador y configurar algunos parámetros en la balanza.

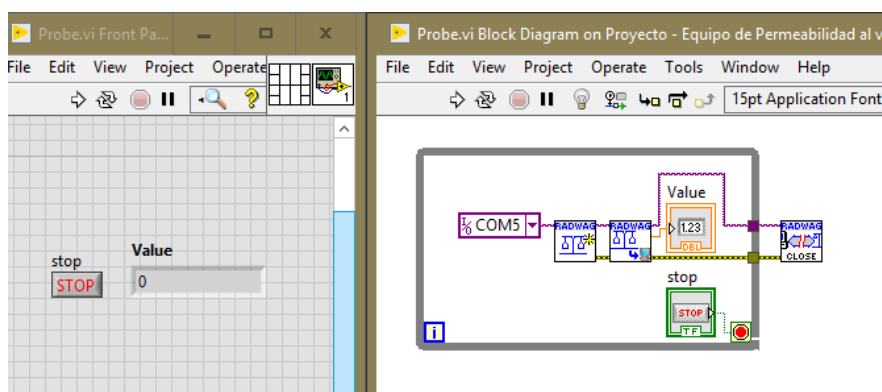
En el ordenador se instaló RADWAG USB driver, estos eran los controladores para las balanzas, posterior se insertó la librería “RADWAG Balances and Scales” a LabVIEW, esta librería le permitía manipular la balanza desde su entorno gráfico.

Los parámetros cambiados en la balanza fueron los siguientes:

5.1 PC/ 5.1.1 Prt/ USbb, este parámetro como configuración de fábrica se encuentra en RS 232, por lo que se lo cambia a USbb debido a que ese será el medio de comunicación entre la balanza y el ordenador

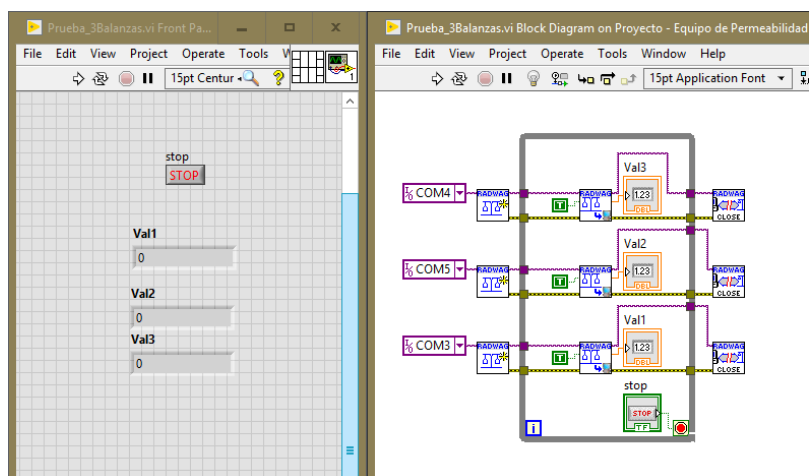
5.1 PC/ 5.1.2. Cnt NonE, éste parámetro la velocidad del envío de datos, su funcionamiento es el más adecuado si este parámetro esta en nonE, y está establecido de tal manera como configuración de fábrica.

Una vez realizadas esas configuraciones, la primera prueba se la realizó a una balanza individual, con la siguiente programación.



**Figura 12: Comunicación con una balanza**

Luego de corroborar que el código para comunicar una balanza funcionara correctamente se procedió a realizar la comunicación con 3 balanzas consecutivamente, la programación es similar a la prueba con una balanza pero repetida tres veces, de la siguiente manera. Por tanto la comunicación entre las balanzas y LabVIEW se realizó con éxito.



**Figura 13: Comunicación con 3 balanzas**

### 3.3.2 Comunicación entre Raspberry PI 3 y LabVIEW

Para realizar la comunicación entre la Raspberry PI3 y LabVIEW, en la Raspberry se utilizaba la función socket que permitía la comunicación TCP/IP de la Raspberry con cualquier otro elemento con dicha comunicación, en este caso sería LabVIEW. Para realizarlo, se debía establecer a un dispositivo como servidor y a otro como cliente, el dispositivo colocado como servidor fue la Raspberry PI3, y el dispositivo cliente fue el ordenador a través de LabVIEW. Para la comunicación tanto en la Raspberry y LabVIEW se tenían funciones que permitían el envío y recepción de datos, para el caso de la Raspberry las funciones eran:

`s.send()`, esta función se la utilizó para enviar una trama de datos hacia LabVIEW, donde sería decodificada.

`s.recv()`, esta función recibía una trama de datos enviada desde LabVIEW.



```

#PWM para indicar estado de raspberry, la salida oscila si la RPi
osc = gpio.FWM(6,0.5)
osc.start(50)

#Creación de socket para comunicación TCP/IP
s=socket.socket()
host=''
port = 9999 #Este puerto debe ser el mismo que en labview
s.bind((host,port))
s.listen(1)
print u"Esperando conexión"
s, addr = s.accept()
print u"conexión desde:", str(addr)

#Inicialización de variables
reply ="HACER NADA"
estadoRC ="OFF"
estadoH ="OFF"
estadoEH ="OFF"
estadoHRC ="OFF"
estadoEEP ="OFF"
estadoEB ="OFF"
#Paro de PWM, indicando que la RPi se ha conectado con Labview
osc.stop()
gpio.setup(6,gpio.OUT)
gpio.output(6,gpio.LOW) #Un bajo en la salida permite cerrar el co

```

Figura 14: Envío de datos

```

while True:
    reply=s.recv(1024)
    if(reply != "HACER NADA" and reply!="STOP"):
        #Se lee todas las temperaturas y humed
        #Lectura de temperatura en grados celc

```

Figura 15: Recepción de datos

Para el caso de LabVIEW se utilizaban 2 bloques de funciones, estos eran:

TCP Read Function, permite leer datos enviados desde la Raspberry

TCP Write Function, permite enviarle datos a la Raspberry

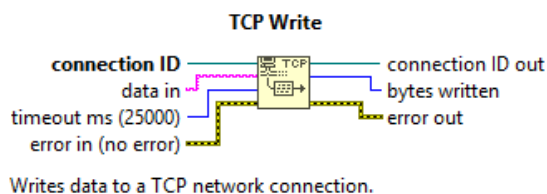
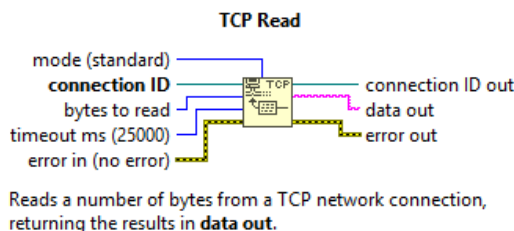


Figura 16: Escritura TCP LabView



**Figura 17: Lectura TCP LabView**

Tanto en Raspberry como en LabVIEW el puerto de comunicación requería ser el mismo, caso contrario la comunicación era fallida, debido a que los datos no tenían direccionamiento.

### 3.3.3 Análisis del control en Raspberry

La Raspberry era el controlador del equipo, este dispositivo era el que receptaba las señales de los 4 sensores DHT22 y de los 4 sensores DS18B20, como también contaba con un módulo de relé de 8 canales para activar los diferentes actuadores del equipo.

La lectura de los sensores se les realiza de la siguiente manera:

```
while True:
    reply=s.recv(1024)
    if(reply != "HACER NADA" and reply!="STOP"):
        #Se lee todas las temperaturas y humedades, se las envia al cliente y se les imprime por pantalla
        #Lectura de temperatura en grados celcius y fahrenheit desde sensores Ds18b20
        t1, tf1= read_temp(device_folder)
        t2, tf2= read_temp(device_folder1)
        t3, tf3= read_temp(device_folder2)
        t4, tf4= read_temp(device_folder3)
        #Lectura de temperatura y humedad desde sensores DHT11 y DHT22
        h1, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 17)
        h2, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 27)
        h3, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 22)
        h4, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 10)
        #Se realizaron cambios en histeresis de temperatura, antes estaba (t4,22.75,22.75,16)
        estadoRC = control_histeresis(t1,22.5,23.5,16) #Histéresis de temperatura - ON/OFF resistencias
        estadoHRC = control_histeresis(t1,22.5,23.5,20) #Histéresis de temperatura - ON/OFF ventilador pa
        estadoH = control_histeresis(h1,57,59,26) #Histéresis de humedad faltante - ON/OFF humidificador
        estadoEH = control_histeresis(h1,57,59,12) #Histéresis de humedad faltante - ON/OFF ventilador
        estadoEEP = control_histeresis_hum(h1,59.9,60,1,13) #Histéresis de humedad sobrante - ON/OFF ext
        #Envío de cadena de caracteres mediante TCP con información de la temperatura y humedad
        s.send(str(t1)+'T1'+str(t2)+'T2'+str(t3)+'T3'+str(t4)+'T4'+str(h1)+'H1'+str(h2)+'H2'+str(h3)+'H3'
```

**Figura 18: Lectura de sensores de humedad y temperatura.**

Para ello se utilizaron las siguientes funciones elaboradas en líneas del código posteriores:

```

#Función para lectura de información global de cada sensor Ds18b20
def read_temp_raw(device_folder):
    device_file = device_folder + '/w1_slave'
    f = open(device_file, 'r')
    lines = f.readlines()
    f.close()
    return lines #Retorna las 2 líneas de información

#Función para extracción de dato de temperatura de información global de sensor Ds18b20
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('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 #Retorna la temperatura en grados entigrados y grados celcius

```

Figura 19: Código para interpretación de sensores Ds18b20.

La comunicación con LabVIEW requería establecer a un dispositivo como servidor, en este caso sería el controlador y se lo realizaba con el siguiente código:

```

#PWM para indicar estado de raspberry, la salida oscila si la
osc = gpio.PWM(6,0.5)
osc.start(50)

#Creación de socket para comunicación TCP/IP
s=socket.socket()
host=""
port = 9999 #Este puerto debe ser el mismo que en labview
s.bind((host,port))
s.listen(1)
print u"Esperando conexión"
s, addr = s.accept()
print u"conexión desde:", str(addr)

```

Figura 20: Determinación de servidor.

Y las histéresis de control para activar o desactivar el humidificador y las relacionadas, así como el envío de datos son las mostradas a continuación:

```

h1, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 17)
h2, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 27)
h3, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 22)
h4, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 10)
#Se realizaron cambios en histeresis de temperatura, antes estaba (t4,22.75,22.75,16)
estadoRC = control_histeresis(t1,22.5,23.5,16) #Histéresis de temperatura - ON/OFF resistencias calefactoras
estadoHRC = control_histeresis(t1,22.5,23.5,20) #Histéresis de temperatura - ON/OFF ventilador para homogenizar temperatura
estadoEH = control_histeresis(h1,57,59,26) #Histéresis de humedad faltante - ON/OFF humidificador
estadoEEP = control_histeresis(h1,57,59,12) #Histéresis de humedad faltante - ON/OFF ventilador extractor de humidificador
estadoEEP = control_histeresis_hum(h1,59.9,60.1,13) #Histéresis de humedad sobrante - ON/OFF extractores de caja
#Envío de cadena de caracteres mediante TCP con información de la temperatura y humedad
s.send(str(t1)+'T1'+str(t2)+'T2'+str(t3)+'T3'+str(t4)+'T4'+str(h1)+'H1'+str(h2)+'H2'+str(h3)+'H3'+str(h4)+'H4'+estadoEEP+'eep')

```

Figura 21: Control de actuadores y envío de datos.

### 3.3.4 Análisis del interfaz en LabVIEW.

La programación realizada en LabVIEW estaba enfocada para adquirir datos de temperatura y humedad desde la Raspberry, y los datos de peso desde las balanzas mediante las librerías de las balanzas que tenían en LabVIEW. La interfaz cuenta con una pantalla que posee en total 7

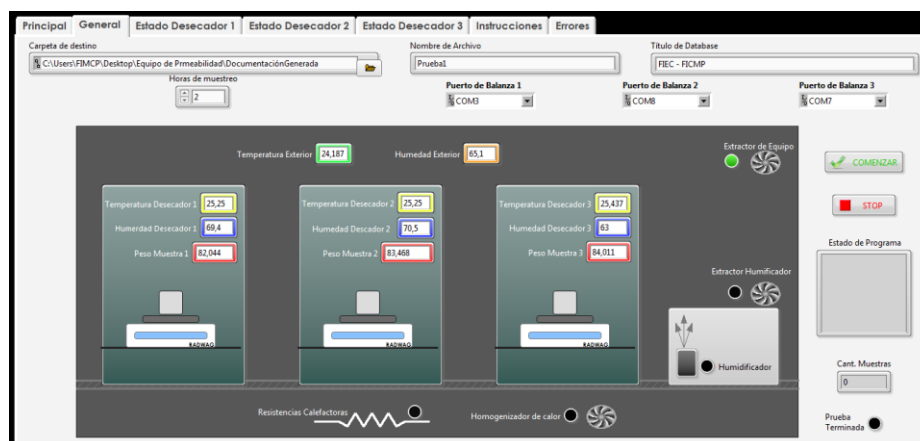
pestañas, cada una de ellas tiene una función específica, descritas a continuación:

La pantalla principal, en la cual se encuentra información del proyecto e integrantes.



**Figura 22: Pestaña principal.**

La pantalla general, siendo la pantalla más completa, y la cual mostraba la situación actual del equipo en tiempo real.



**Figura 23: Pestaña General.**

Luego venían tres pestañas llamadas, “estado desecador 1-2-3”, las tres pestañas eran similares y mostraban al usuario la situación en la que se encontraba cada uno de los desecadores, tanto sus niveles de temperatura, humedad, peso y el estado del extractor de humedad correspondiente.

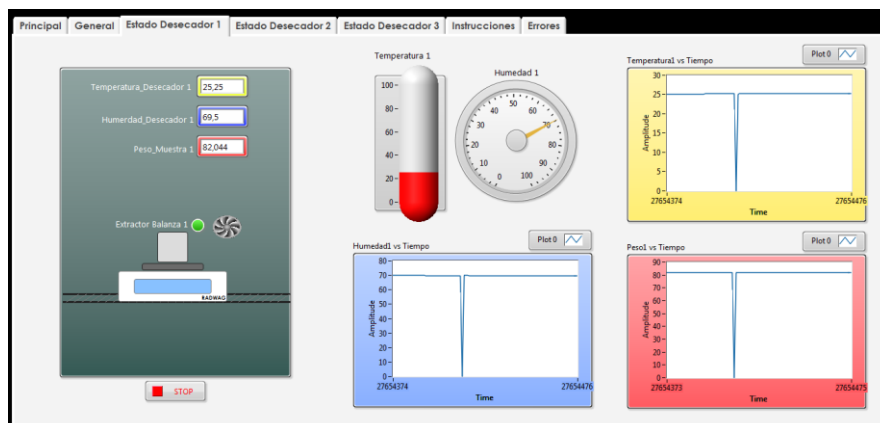


Figura 24: Pestaña de desecadores.

La quinta pestaña, era para verificar e informar al usuario el COM de las balanzas y poder colocarlos en la pantalla principal, como también brindaba la opción de encerrar las tres balanzas.

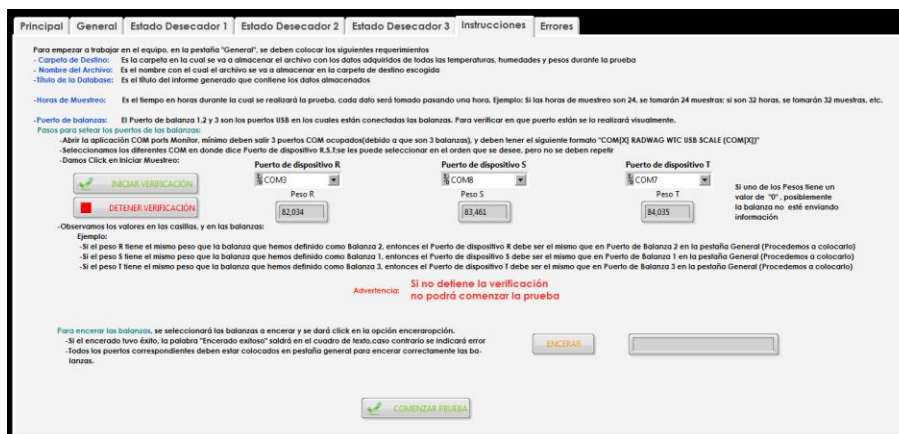
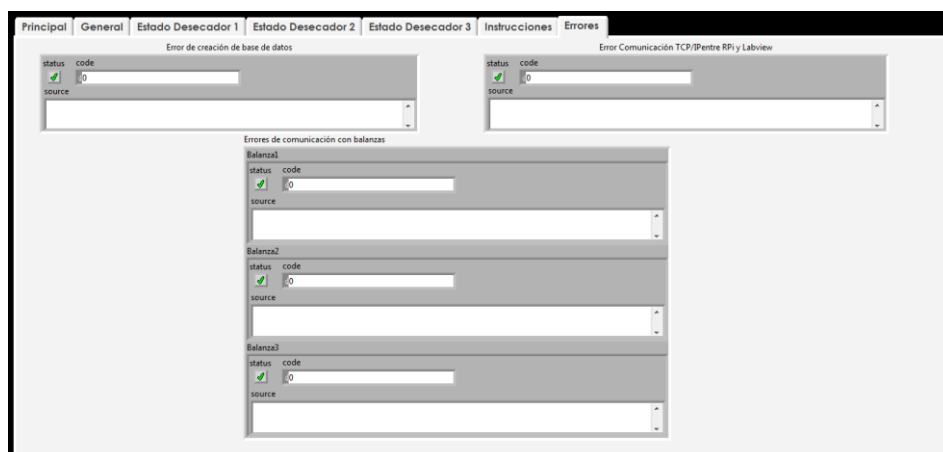


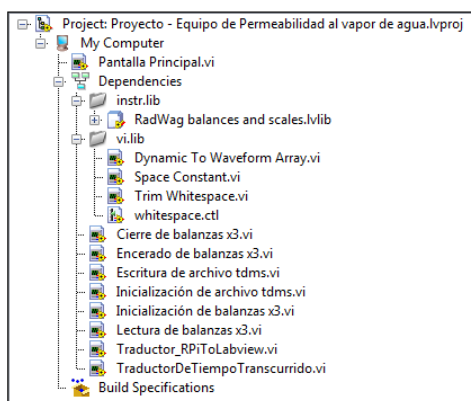
Figura 25: Pestaña Instrucciones.

Y la última pestaña llamada errores, permitía ver al usuario que tipo de errores han ocurrido al momento de realizar la prueba, estos tipos de errores podían ser al escribir el archivo .tdms el cual almacenaría los datos de todas las variables de interés, podría ser problema de comunicación con las balanzas, o error de comunicación entre LabVIEW y Raspberry.



**Figura 26: Pestaña Errores.**

El proyecto en LabVIEW tenía una serie de sub vi que le permitían la inicialización-lectura-cierre de comunicación con las balanzas, permitían almacenar datos, traducir la información desde la Raspberry hacia LabVIEW, entre otras funcionalidades. Los sub vi eran los siguientes:



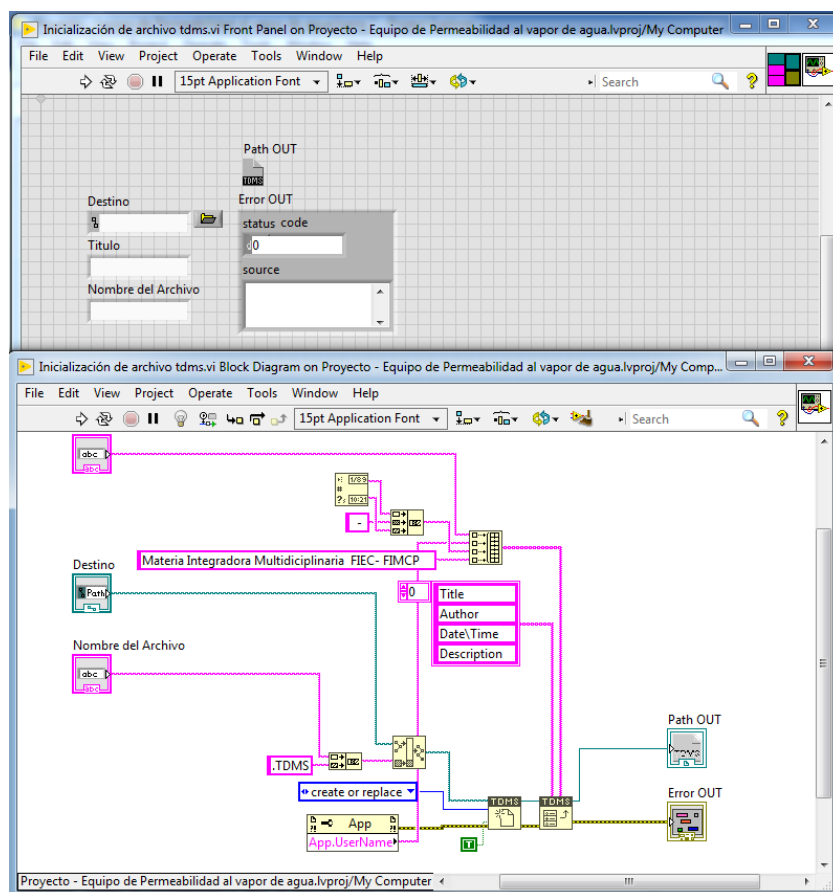
**Figura 27: Proyecto LabVIEW.**

El Sub vi inicialización de las balanzas, encendido de las balanzas, lectura de las balanzas y cierre de las balanzas, son Sub vi's que hacen uso de las librerías RADWAG para la manipulación de las balanzas en el VI denominado "Pantalla principal".

EL sub vi Inicialización del archivo .tdms y escritura del archivo .tdms, crear un archivo .tdms en el cual se almacenaran todas las variables de interés, temperaturas, humedades, pesos, y el tiempo en el cual fue

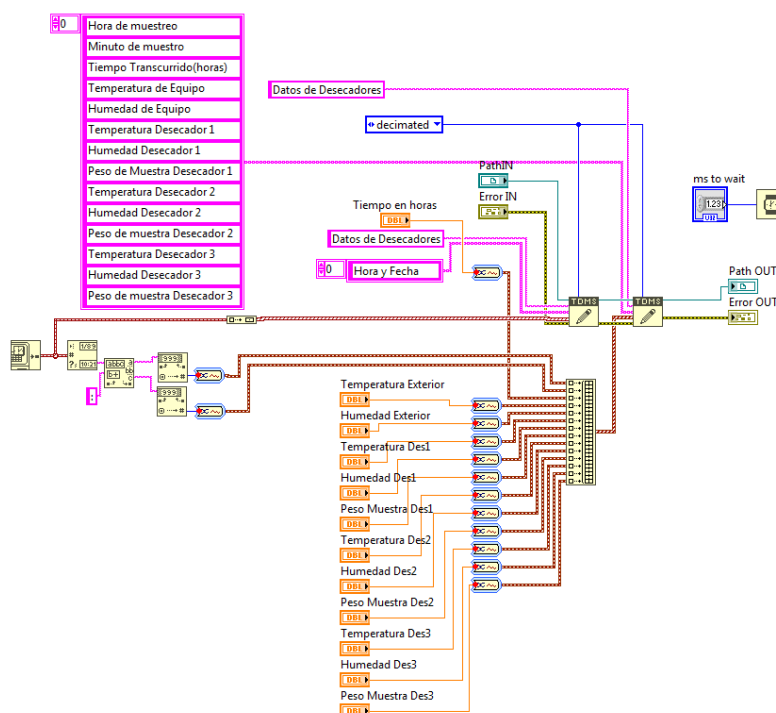
tomado el dato, cada dato es tomado cada hora, y se puede seleccionar la carpeta en donde guardar el archivo en la pestaña general, además existe la posibilidad de colocarle un nombre al archivo y un título a la base de datos a obtener.

El subvi de inicialización de .tdms es el siguiente:



**Figura 28: Inicialización de archivo .tdms.**

Y el subvi de escritura del archivo .tdms es:



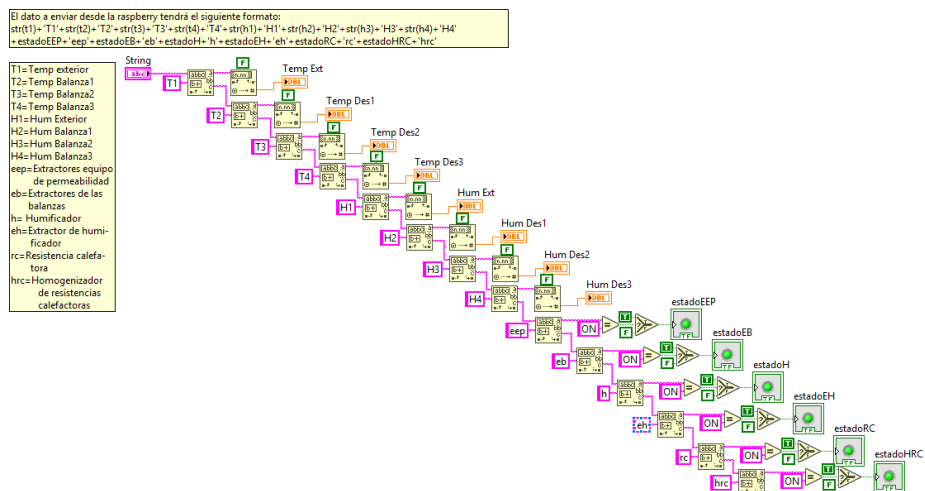
**Figura 29: Código para escritura de archivo .tdms.**

Para el envío y recepción de datos desde la Raspberry se utilizó las funciones TCP read y TCP write en el programa principal. TCP write era utilizado para detener los extractores de humedad en las balanzas de tal manera que la muestra se estabilice y no esté perturbada por el extractor de modo que luego de 30 segundos de realizada tal acción se pueda medir del peso y esta sea más exacta posible. La función TCP read, en cambio recibía la cadena de caracteres enviada por la Raspberry para procesarla mediante otro SubVi llamado Traductor\_RPiToLabview.

El sub Vi Traductor\_RPiToLabview recepta la cadena de caracteres enviada por la Raspberry y retorna los valores numéricos de todas las temperaturas y humedades existentes en el sistema, es decir internas del equipo e internas de los desecados, como también retorna los estados booleanos de los actuadores presentes en el equipo, como están estadoEEP que indica si el extractor del equipo está encendido, estado EB informa al usuario si los extractores de las balanzas están encendidos o no, en estado H y EH representan al humidificador y el ventilador



homogenizador del humificador, y finalmente RC y HRC representan a la resistencia calefactora y el ventilador homogenizador de calor.



**Figura 30: Decodificador de la cadena de caracteres.**

En la pantalla principal se encontraban todos estos SubVi de manera que den flujo a la información. Toda la programación de la pantalla principal se encontraba en un flat sequence que permitía una secuencia con cada acción realizada en la interfaz, y en caso de existir un error en la comunicación de las balanzas, la comunicación con la Raspberry o la escritura del archivo, entonces la prueba no se realizaba y se detenía en programa.

## CAPÍTULO 4

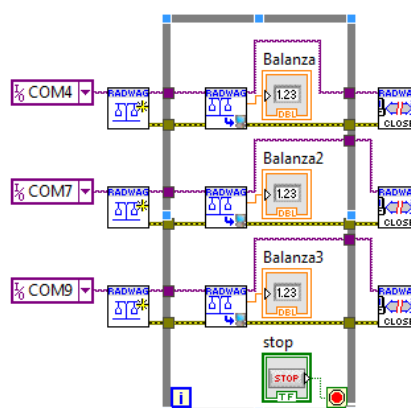
### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo expondrá los resultados que se han obtenido durante las pruebas realizadas de comunicación, almacenamiento de datos, implementación de interfaz de usuario y fabricación del equipo que permite medir la permeabilidad al vapor de agua.

#### 4.1 Resultados de comunicación con balanzas y controlador Raspberry Pi3

##### 4.1.1 Comunicación con balanzas analíticas

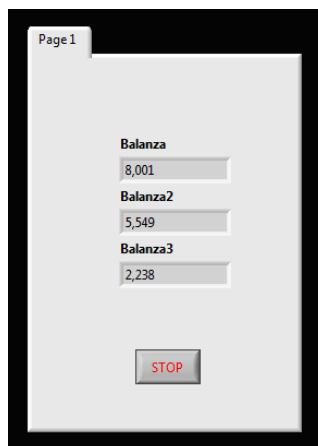
Para la comunicación de las balanzas, la programación utilizada se encuentra ilustrada en la Fig 35, ésta permitió inicializar las balanzas, leer sus datos de peso y cerrar la conexión al finalizar la prueba, como se describió su funcionamiento en el capítulo que precede.



**Figura 31: Programación para lectura de balanzas.**

Para su respectiva prueba de funcionamiento, se procedió a verificar los puertos COM correspondientes a las balanzas conectadas mediante USB tipo B a tipo A, y corroborar que los mismos puertos están configurados en LabVIEW y asimismo estén configurados los parámetros en las balanzas; se procedió a ejecutar el programa para realizar un ensayo de

comunicación, en donde la información recibida de las balanzas se expuso en el panel frontal de LabVIEW, como se ilustra en la Fig 36.



**Figura 32: Datos en panel frontal de balanzas.**

Mientras que las balanzas en sus display's ilustraban el mismo valor de peso registrado en el panel LabVIEW.



**Figura 33: Lectura de peso en balanzas**

Se realizaron varios ensayos, la programación fue orientada para una y tres balanzas. En los ensayos con una balanza, se determinó que el tiempo necesario para que el dispositivo envíe la información de peso hacia el ordenador era de aproximadamente dos segundos, sin embargo, cuando el número de balanzas se incrementó a un total de tres, el tiempo

de adquisición de los datos provenientes de las tres fue alrededor de 5 segundos. Esta información era relevante para comprender que el programa principal en la interfaz de usuario se verá afectado por los tiempos de toma de datos por parte de las balanzas.

#### 4.1.2 Comunicación con el controlador Raspberry y lectura de sensores

La comunicación entre el controlador y LabVIEW fue TCP/IP, y era de tipo servidor – cliente, siendo el controlador el servidor y LabVIEW el cliente. Para ello se hizo uso de la programación encontrada en la Fig 38., ésta definió al dispositivo como servidor al programa y estableció un puerto que debía ser común entre LabVIEW y el controlador.

```
#Creación de socket para comunicación TCP/IP
s=socket.socket()
host=' '
port = 9999 #Este puerto debe ser el mismo que en labview
s.bind((host,port))
s.listen(1)
print u"Esperando conexion"
s, addr = s.accept()
print u"conexion desde:", str(addr)
```

**Figura 34: Definición de Raspberry como servidor.**

Como resultado de la ejecución del código, éste se establece en modo de espera por un dispositivo cliente que se encuentre en la misma red y con el mismo puerto, en este caso 9999, una vez que el cliente fue encontrado como se puede observar en la Fig 39, el controlador ubica al dispositivo y puede recibir o enviar datos hacia éste.

```
pi@raspberrypi:~ $ python modificado.py
Esperando conexion
conexion desde: ('192.168.1.63', 54698)
```

**Figura 35: Conexión exitosa con dispositivo cliente – LabVIEW.**

La lectura de los sensores fue permisible debido a las funciones creadas en las líneas iniciales del código en el controlador, y descritas en el capítulo previo. En total fueron ocho sensores utilizados de los cuales se obtuvo la información, de estos, cuatro fueron DHT22 para adquirir la variable de humedad y cuatro Ds18b20 para la temperatura, sus lecturas fueron llevadas a cabo mediante la codificación de la Fig 40.

```

#Se lee todas las temperaturas y humedades, se las
#Lectura de temperatura en grados celcius y farenhe
t1, tf1= read_temp(device_folder)
t2, tf2= read_temp(device_folder1)
t3, tf3= read_temp(device_folder2)
t4, tf4= read_temp(device_folder3)
#Lectura de temperatura y humedad desde sensores DH
h1, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 17)
h2, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 27)
h3, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 22)
h4, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(22, 10)

```

**Figura 36: Llamado a funciones para lectura de sensores.**

El DHT22 es un sensor que registra humedad y temperatura, pero se usó solo la información de humedad recibida de éste. Para la temperatura se utilizó el Ds18b20 siendo más confiable, y aportando a la exactitud de los datos. Una vez ejecutado el programa se confirmó que la información se recibía correctamente; los cuatro primeros datos corresponden a la temperatura (Fig. 41) y los valores de humedad los cuatro restantes, todos correspondientemente al equipo y los tres desecadores.

```

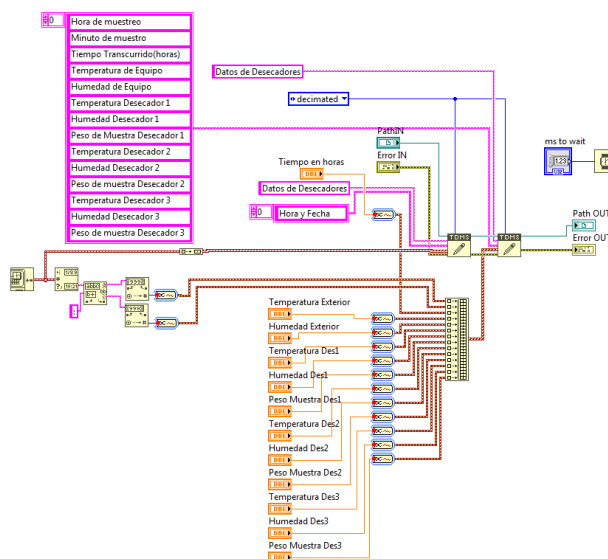
23.937
24.875
25.25
25.437
59.5
66.4000015259
65.5
60.5999984741

```

**Figura 37: Datos de humedad y temperatura sensados.**

## 4.2 Resultados del almacenamiento de datos

Para el almacenamiento de datos adquiridos cada hora durante la prueba, en LabVIEW el programa principal mandaba a ejecutar cada hora un Sub Vi concretamente para escribir datos sobre un archivo .tdms, éste, al finalizar la prueba se guardaba y podía ser abierto utilizando Excel. Éste documento almacenaba todas las variables de interés tanto interiores en el equipo como interiores en los desecadores, así como también la hora y fecha en la que fue tomado el dato. El Sub Vi que realizó tal función es el de la ilustración 42.



**Figura 38: Código para almacenamiento de datos de interés.**

Transcurrida la prueba que determina la permeabilidad al vapor de agua del plástico con una duración de 24 horas, se obtuvo como resultado una base de datos referente a las variaciones a las que se han visto expuesto las tres muestras colocadas en los desecadores dentro del equipo. Estos datos serían analizados mediante el método gravimétrico para establecer el grado de permeabilidad al vapor de agua del plástico biodegradable, todos los datos adquiridos se ilustran en la Fig 43 y Fig 44.

1	Hora y Fecha	Hora de muestreo	Minuto de muestreo	Tiempo Transcurrido(horas)	Temperatura de Equipo	Humedad de Equipo	Temperatura Desecador 1	Humedad Desecador 1	Peso de Muestra Desecador 1
2	24/01/2018 01:06:27,989 PM	13	6	0,009	23,5	58,70000076	24,312	69	87,253
3	24/01/2018 02:06:32,223 PM	14	6	1,01	23,937	59	25,25	66,19999695	87,172
4	24/01/2018 03:06:33,946 PM	15	6	2,008	23,5	59	25	66,5	87,122
5	24/01/2018 04:06:30,374 PM	16	6	3,01	23,75	59,20000076	24,937	66,40000153	87,037
6	24/01/2018 05:06:31,401 PM	17	6	4,01	23,75	59,09999847	24,937	66,30000305	86,965
7	24/01/2018 06:06:31,715 PM	18	6	5,01	23,562	58,5	24,75	66,40000153	86,887
8	24/01/2018 07:06:37,526 PM	19	6	6,011	23,5	58,79999924	24,687	66,40000153	86,805
9	24/01/2018 08:06:35,046 PM	20	6	7,011	23,5	59,09999847	24,625	66,40000153	86,738
10	24/01/2018 09:06:30,254 PM	21	6	8,01	23,437	58,5	24,562	66,40000153	86,669
11	24/01/2018 10:06:31,528 PM	22	6	9,01	23,375	59,09999847	24,437	66,5	86,593
12	24/01/2018 11:06:44,346 PM	23	6	10,012	23,062	59	24,312	66,5	86,498
13	25/01/2018 12:06:30,632 AM	0	6	11,01	22,562	60,70000076	23,562	67,69999695	86,443
14	25/01/2018 01:06:31,904 AM	1	6	12,01	22,062	58,79999924	23,125	67,19999695	86,351
15	25/01/2018 02:06:35,666 AM	2	6	13,01	23,562	60,70000076	24,375	67,5	86,322
16	25/01/2018 03:06:30,049 AM	3	6	14,01	23	64,40000153	23,812	68,59999847	86,27
17	25/01/2018 04:06:26,346 AM	4	6	15,008	22,937	77,5	23,562	69,5	86,192
18	25/01/2018 05:06:28,837 AM	5	6	16,009	22,875	76,5	23,5	69,30000305	86,121
19	25/01/2018 06:06:33,646 AM	6	6	17,009	22,812	72,19999695	23,5	69,09999847	86,061
20	25/01/2018 07:06:29,863 AM	7	6	18,01	22,812	67,40000153	23,437	69,19999695	85,985
21	25/01/2018 08:06:26,179 AM	8	6	19,009	23,375	59	24	67	85,909
22	25/01/2018 09:06:29,054 AM	9	6	20,009	23,812	58,79999924	24,5	66,59999847	85,874
23	25/01/2018 10:06:34,170 AM	10	6	21,011	24	59,20000076	24,875	66,40000153	85,839

**Figura 39: Datos almacenados de la prueba.**

Temperatura Desecador 2	Humedad Desecador 2	Peso de muestra Desecador 2	Temperatura Desecador 3	Humedad Desecador 3	Peso de muestra Desecador 3
24,687	68,09999847	86,757	24,5	65,5	88,198
25,75	65,5	86,658	25,875	60,79999924	88,166
25,5	65,80000305	86,583	25,75	61,20000076	88,109
25,375	65,90000153	86,569	25,625	61,29999924	87,997
25,375	65,80000305	86,514	25,625	61,20000076	87,912
25,125	65,90000153	86,456	25,375	61,5	87,835
25,062	65,90000153	86,407	25,25	61,40000153	87,766
25	65,80000305	86,349	25,25	61,29999924	87,703
24,937	65,80000305	86,286	25,125	61,29999924	87,642
24,812	65,90000153	86,229	24,937	61,5	87,578
24,687	65,80000305	86,168	24,875	61,40000153	87,509
24,062	66,40000153	86,129	24,062	62,70000076	87,43
23,625	66,30000305	86,095	23,687	62,40000153	87,332
25,187	69,19999695	86,016	24,812	61,70000076	87,323
24,375	67,40000153	85,944	24,25	62,79999924	87,253
24,062	66,69999695	85,898	24	62,90000153	87,177
23,937	66,5	85,842	23,937	62,70000076	87,114
23,937	66,40000153	85,795	23,937	62,59999847	87,056
23,875	66,30000305	85,74	23,875	62,59999847	86,998
24,312	65,69999695	85,669	24,5	61,40000153	86,953
24,875	65,5	85,585	25	60,90000153	86,934
25,25	65,5	85,5	25,437	60,70000076	86,901

Figura 40: Datos almacenados de la prueba.

#### 4.3 Resultados de realizar la interfaz de usuario

La implementación de la interfaz de usuario al contar con una serie de pestañas permitía realizar una serie de operaciones, entre ellas, monitorear las condiciones internas del equipo y verificar que la prueba se esté realizando correctamente. Específicamente se lo podía realizar en la pestaña general, en esta era observable el comportamiento de la temperatura, humedad y peso, información que era accesible sin la necesidad de abrir el equipo durante la prueba, a diferencia del prototipo previo de la máquina, en donde para obtener los pesos era necesario sacar la muestra del equipo para pesarla, provocando error en las mediciones.



Figura 41: Pestaña General de interfaz de usuario.

Así mismo contaba con otras pestañas, de entre ellas las dos más relevantes eran la de instrucciones y de errores, la primera permitió encerrar las balanzas remotamente y el reconocimiento de los puertos en los cuales se encontraban conectadas las balanzas. En cuanto a la pestaña de errores, ésta dio paso a la identificación del tipo de error que pudo haber ocurrido durante la prueba en caso de existir, y que podrían ser error de comunicación con las balanzas debido a selección incorrecta del puerto, error de comunicación con el controlador o error de escritura de la base de datos.

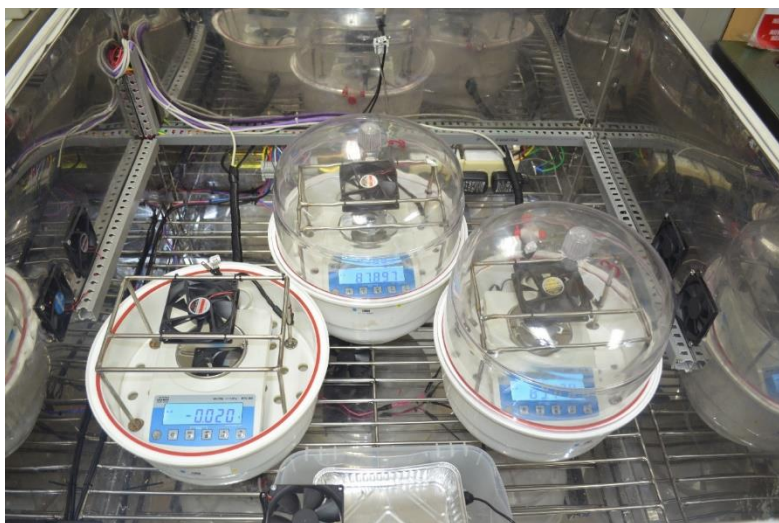
#### 4.4 Resultados de la fabricación del equipo

La implementación del equipo tuvo como resultado una estructura de donde se pueden distinguir tres partes principales: el ordenador, utilizado para poner ejecutar la interfaz de usuario desarrollada con LabVIEW; un tablero de control sobre el descansaban los diferentes elementos de protección y accionamiento de la máquina, así como el controlador Raspberry Pi3; y una incubadora de dimensiones 1mx1mx0.6m en la cual se alojaban los desecadores en conjunto con los diferentes sensores y actuadores.



**Figura 42: Vista total del equipo.**





**Figura 43: Vista superior del equipo.**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los datos de peso fueron almacenados en el ordenador junto con las variables de temperatura, humedad, y adicional la hora y fecha de toma de datos. Se lo realizó continuamente cada hora durante 24 horas, siendo este el tiempo de duración de la prueba de permeabilidad. La información recolectada de las condiciones en el equipo se recopiló en archivos con extensión .tdms debido a que este tipo de archivos era accesible para el tratamiento de los datos, como escritura, lectura, creación, entre otras funciones sobre la base de datos. Y además esta extensión pudiese abrirse como un complemento de Excel sin necesidad de pasos complejos. Es decir, el almacenamiento de datos se lo realizó en este tipo de extensión porque presentaba mayores prestaciones respecto a generar directamente un Excel desde la interfaz gráfica en LabVIEW. Al final de la prueba, al abrir el archivo generado se observaba como la muestra sufrió variaciones en el tiempo, datos que eran de gran relevancia para determinar el grado de permeabilidad al vapor de agua de la muestra haciendo uso del método modificado gravimétrico.

La transferencia de los sensores, actuadores y el control a la nueva estructura garantizó mayor confiabilidad sobre los resultados de las mediciones acerca de las condiciones internas del equipo. Los sensores de humedad fueron cambiados, de tal manera que no genere datos basura como solía ocurrir en el prototipo, provocando datos erróneos en la base de datos. Así mismo todos los sensores tanto en el equipo como dentro de los desecadores fueron analizados y distribuidos de tal manera que todos los datos de las condiciones bajo las cuales estaba el equipo se vean reflejadas lo más precisas posibles mejorando el resultado de la prueba. También las ubicaciones de los diferentes actuadores mejoraron permitiendo que el calor y la humedad se mantengan constantes sobre la estructura, así como también se añadió extractores para la humedad en caso de excederse del valor deseado, y la instalación de los ventiladores sobre las balanzas encargados de extraer la humedad de las muestras. En cuanto al controlador, éste se alojaba en un tablero de control, mejorando la distribución de los elementos principales y la estética del equipo.

La implementación de la interfaz de usuario, permitió visualizar en tiempo real la información relevante en el equipo, es decir, observar el estado de la humedad, temperatura y peso. El usuario sobre tiene la capacidad de definir el nombre con el cual su base de datos se creará en un archivo con extensión .tdms, y establecer el número de horas de duración de la prueba, siendo lo recomendable 24 horas, aun así puede establecerse un número mayor o menor de duración. Adicional la interfaz contaba con una serie de pestañas que permiten visualizar el estado de los extractores de las balanzas, como también la identificación de las balanzas que se encuentran conectadas en el ordenador y, en caso de existir un fallo durante la prueba puede observarse en donde ocurrió el error y cuál fue su causa.

Siendo la Raspberry PI 3 una tarjeta con gran capacidad computacional, puede utilizarse para realizar un control de temperatura mucho más eficiente como un control PID, de tal manera que se minimice las variaciones de temperatura, y el comportamiento de ésta variable sea más preciso que el control actual del equipo que es de tipo ON OFF.

El equipo cuenta solo con un solo ducto por donde el cableado de control y fuerza se distribuye desde la cámara de pruebas hacia el tablero de control, se recomienda añadir otro ducto a la estructura evitando que tanto fuerza como control recorran un mismo camino en el equipo y de esta manera se reduzca errores de medición tanto de las variables de temperatura, humedad y peso.

Se recomienda buscar un medio más confiable de comunicación para las balanzas, debido a que ciertos ordenadores provocan parpadeo de los puertos COM en los que se encuentran conectados estos dispositivos de medición, ocasionando que la lectura de peso de las muestras en el transcurso de la prueba sea erróneo, de tal modo que la prueba que se está ejecutando quede inválida.

La programación que se encuentra detrás de la interfaz de usuario es de tipo secuencial, en caso de requerir mayor velocidad de ejecución en ésta, se recomienda reemplazarla por una programación con mayores prestaciones como por ejemplo mediante "máquina de estados", de tal manera que el programa presente mejor rendimiento en LabVIEW.

## Bibliografía

- [1] R. N. y. G. E. Daniel Segura, Contaminación ambiental, México : ResearchGate, 2007.
- [2] E. R.-N. y. T. Montoto, Basuras marinas, plásticos y microplásticos, España: Ecologistas en Acción, 2017.
- [3] Greenpeace, «Plásticos en los Océanos. Datos, comparativas e impactos,» Oceanic Imagery Publications, España, 2016.
- [4] R. Shogren, «Water vapor permeability of biodegradable polymers,» Springer, U.S, 1995.
- [5] P. G. R. y. C. B. Lucía Famá, «Nanocompuestos biodegradables basados en almidón con baja permeabilidad al vapor de agua y alto módulo de almacenamiento,» Elsevier, N/A, 2011.
- [6] G. A. M. Toasa, «“UTILIZACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO EN PELÍCULAS BIODEGRADABLES ACTIVAS”,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, ECUADOR, 2015.
- [7] G. A. M. Toasa, «FABRICACIÓN DE POLIMEROS BIODEGRADABLES PARA PRODUCTOS CÁRNICOS, A PARTIR DE BIOPOLIMEROS DE MEZCLAS CON ACEITES ESENCIALES ANTIMICROBIANOS,» UNIVERSIDAD DEL AZUAY, ECUADOR , 2013.
- [8] P. H. A. K. -. N. I. o. C. Maša Šprajcar, Biopolymers and bioplastics, Ljubljana, Eslovenia: Central Europe Programme, 2012.
- [9] C. A. V. ,. R. W. ,. E. I. P. P. John N. Hahladakis, «An overview of chemical additives present in plastics: Migration,release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling,» Elsevier , Schwäbisch Gmünd, Germany, 2017.

- [10] K. K. a. K. P. A. Ashwin Kumar, «Biodegradable Polymers and Its Applications,» International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Chennai, India, 2011.
- [11] S. Yuki, «Life Cycle Assessment of Biodegradable Plastics,» Shanghai Jiaotong University Press, Nara, Japón, 2012.
- [12] E. F. B. D. L. F. J. Y. A. K. M. K. Ilaria Armentano, «Bio-based PLA\_PHB plasticized blend films: Processing and structural characterization,» Elsevier, Terni, Italia, 2015.
- [13] J. L. P. M. A. C. A. C. F. V. J. Gironès, «Natural fiber-reinforced thermoplastic starch composites obtained by melt processing,» Elsevier, Girona, Spain, 2011.
- [14] A. J. a. L. Jarnstrom, «Barrier and mechanical properties of modified starches,» Kluwer Academic Publishers, Karlstad, Suecia, 2005.
- [15] S. A. M. E. N. P. R. R. K. B. R. A. T. Siti Hajar OTHMAN, «Water sorption and water permeability properties of edible film made from potato peel waste,» Food Science and Technology, Selangor, Malasia, 2016.
- [16] T. SYSTEMS, «Permeabilímetro al vapor de agua, Modelo W3-030,» 30 Diciembre 2013. [En línea]. Available: [http://www.metrotec.es/wp-content/uploads/sites/30/2013/12/W3-030\\_Permeabilimetro\\_al\\_Vapor\\_de\\_Agua.pdf](http://www.metrotec.es/wp-content/uploads/sites/30/2013/12/W3-030_Permeabilimetro_al_Vapor_de_Agua.pdf). [Último acceso: 10 Noviembre 2017].
- [17] C. A. Romero, «Editorial Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca,» Abril 2009. [En línea]. Available: <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/cesar%20Romero/MATERIAL%20DE%20%20LABORATORIO%20II%202009-04.pdf>. [Último acceso: 11 Noviembre 2017].
- [18] Zelian, «Zelian, Equipamiento de laboratorio,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.zelian.com.ar/desecadores-venta-de-material-de-laboratorio-para-analisis-industriales--prod--4255>. [Último acceso: 12 Noviembre 2017].

- [19] M. C. José Bosch, Instrumentación electrónica avanzada, Barcelona, España: Departamento de Electrónica de la Universidad de Barcelona, 2012.
- [20] J. P. H. L. R. I. B. Juan Guarella, Sensores y Actuadores en motores, La Plata, Argentina: Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata, 2011.
- [21] A. a. S. Solutions, «sensa.id,» 2014. [En línea]. Available: <http://sensaid.com/sensaid-ahora-es-datalogic/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2017].
- [22] S. T. S.A, «Sinerges,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.sinerges.com/actuadores-electricos>. [Último acceso: 12 Noviembre 2017].
- [23] R. H. B. Richard C. Dorf, Modern Control Systems, Singapore: Pearson Education, Inc, 2008.
- [24] A. B. C. CARL& A. SMITH, Principles and practice of automatic process control, Toronto, Canadá: John Wiley & Sons, Inc., 1997.