

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**" DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA MEDIR
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA EN PELÍCULAS
FLEXIBLES"**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Juan Carlos Loayza Romero

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por dejarme llegar a este lugar.

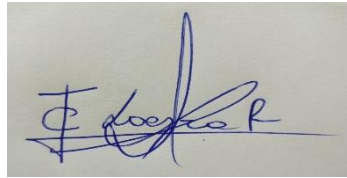
A mi padre, a mi madre que me empujo a seguir adelante en este largo camino y a mis hermanos, que siempre estuvieron pendientes de mí y me demostraron su apoyo.

A la Dra. Emérita Delgado Plaza Tutora de este proyecto, por su Invaluable aporte y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente a Juan Carlos Loayza Romero y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL".



Juan Loayza Romero.

Autor



Emérita Delgado Plaza, Ph.D.

Tutor de la Materia Integradora

RESUMEN

Debido a la huella ecológica de utilizar plástico para almacenar alimentos, existe una creciente producción en el mundo de envases biodegradables, lo que requiere numerosas pruebas de calidad para validar su uso. Uno de los parámetros a verificar es su permeabilidad al vapor de agua, por lo que se planteó el diseño y construcción de un equipo que permita realizar este tipo de pruebas hasta a tres muestras de film simultáneamente, con la particularidad de que se realice la medición del peso sin retirar las muestras del equipo.

Considerando la integridad estructural del equipo y según la norma INEN 2459, se utilizó planchas de acero inoxidable AISI 304 de 1mm, soldadas bajo el proceso TIG, para así conservar la inocuidad en su interior. Analizando la transferencia de calor en el interior de la recámara, se determinó que el espesor de espuma de poliuretano sería de 20mm. Además, se utilizaron tres desecadores proporcionados por ESPOL, en los que se colocaron las balanzas digitales para registrar el cambio del peso debido a la transferencia de masa a través de las muestras. Asimismo, se seleccionó una resistencia de calor tipo "C" de 200W para mantener la temperatura a 25°C dentro de la recámara. Por otra parte, se emplearon ventiladores de 12V para extraer la humedad dentro de las copas donde se colocarían las muestras. Cabe recalcar que todos los pasos de fabricación se realizaron considerando la facilidad requerida para la implementación del sistema de control de humedad, temperatura y peso; y su interfaz con una computadora, lo cual fue desarrollado por otro estudiante.

En los ensayos realizados, se comprobó que la temperatura y humedad dentro del equipo se mantuvieron constantes con un error máximo del 8%, lo cual es suficiente para mantener el ambiente adecuado. Además, el costo total del equipo fue de \$ 1954,40, el cual es un valor mucho menor al de equipos importados que cumplen la misma función, por lo que se comprobó que resultaría rentable la construcción de este tipo de equipos por unidad y en serie.

Palabra clave: Biodegradables, Permeabilidad al vapor de agua, Sistema de control de humedad, Interfaz con una computadora.

ABSTRACT

Due to the ecological footprint of using plastic to store food, there is an increasing production in the world of biodegradable packaging, which requires numerous quality tests to validate its use. One of the parameters to be verified is its permeability to water vapor, therefore the design and construction of equipment that allows carrying tests to three samples simultaneously without removing the sample out of it when it takes the weight's measurement.

Considering the structural integrity of the equipment and according to the INEN 2459 standard, plates of stainless steel AISI 304 of 1mm were used, welded under the TIG process, which allow to conserve the innocuousness in its interior. Analyzing the heat transfer inside the chamber, it was determined that the thickness of polyurethane foam would be 20mm. Likewise, one "C"-type heat resistor of 200W was selected to maintain the temperature at 25°C inside and outside the desiccators. On the other hand, 12V fans were used to extract the moisture inside the dishes where the samples were placed. Finally, three desiccators provided by ESPOL were used, in which the digital scales were placed to record the weight change due to mass transfer through the samples. It should be noted that all the manufacturing steps were carried out considering the facility required for the implementation of the humidity, temperature and weight control system and its interface with a computer, which was developed by another student.

In the tests ran, it was found that the temperature and humidity inside the equipment remained constant with a maximum error of 8%, which was considered enough to maintain the environment needed. In addition, the total cost of the equipment was \$1954.40, which is a much lower value than imported equipment that fulfills the same function, so it was found that it would be profitable to build this type of equipment per unit and in mass production.

Keywords: Biodegradable, permeability to water vapor, Humidity control system, interface with a computer

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGIA.....	VII
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Marco teórico	3
1.3.1 Permeabilidad al vapor de agua	3
1.3.2 Medición de permeabilidad.....	4
1.3.2.1 Balanzas	5
1.3.2.2 Fuentes de calor	5
CAPÍTULO 2	6
2. Metodología de diseño	6
2.1 Diseño conceptual.....	6
Consideraciones de diseño.....	6
2.2 Estrategia de diseño.....	6
2.3 Alternativas de solución	8
2.3.1 Fuente de calor.....	8
2.3.1.1 Focos incandescentes	8

2.3.1.2	Calentamiento mediante resistencia eléctrica	9
2.3.2	Sistema de medición de peso.....	9
2.3.3	Diseño de Forma de cada alternativa	10
2.4	Evaluación de alternativas	12
2.5	Análisis de transferencia de calor en el equipo	13
2.5.1	Pérdidas de calor en las paredes de la estructura.....	13
2.5.1.1	Coeficiente convectivo interno	14
2.5.1.2	Coeficiente convectivo externo	16
2.5.1.3	Flujo de calor y espesor de aislante.....	18
2.6	Selección de la resistencia eléctrica	19
2.6.1	Balance de energía en el interior de la recámara	22
2.7	Selección de ventiladores	23
2.7.	Análisis estructural del equipo.....	24
2.7.1.	Espesor de plancha de la recámara	24
2.7.2.	Dimensionamiento del soporte del equipo.....	25
2.8.	Construcción del equipo.....	26
CAPÍTULO 3	33
3.	RESULTADOS.....	33
3.1	Materiales y equipos empleados.....	33
3.2	Equipo para medir permeabilidad	33
3.2.1	Pruebas de Funcionamiento.....	34
3.1.	Análisis de costos.....	41
CAPÍTULO 4	44
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
4.1.	Conclusiones.....	44
4.2.	Recomendaciones.....	46

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE

PLANOS

ABREVIATURAS

AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
TIG	Tungsten Inert Gas

SIMBOLOGÍA

D	Diámetro
E	Espesor
F	Fuerza
°C	Grados Celsius
g	Gravedad
K	Kelvin
Kg	Kilogramo
L	Longitud
Lt	Litros
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
N	Newton
Nu	Nusselt
Pa	Pascal
P	Potencia
Pr	Prandal
seg	Segundo
V	Velocidad
Vol	Volumen
W	Watts
Hr	Hora

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Equipo disponible para realizar el ensayo de permeabilidad	2
Figura 1. 2: Equipo certificado para realizar el ensayo.....	4
Figura 2. 1: Secuencia del proceso de la metodología de diseño	7
Figura 2. 2: Focos Incandescentes	9
Figura 2. 3 Resistencia Eléctrica	9
Figura 2. 4 Balanza WTC 200	10
Figura 2. 5: Alternativa A.- Equipo con soporte rotatorio para muestras	10
Figura 2. 6: Alternativa B.- Equipo con galgas y focos incandescentes	11
Figura 2. 7: Alternativa C.- Equipo con resistencia eléctrica	11
Figura 2. 8: Distribución de temperaturas en las paredes del equipo.....	18
Figura 2. 9: Pérdida de calor vs espesor de aislante.....	19
Figura 2. 10: Desecadores de vacío.....	20
Figura 2. 11: Construcción de la carcasa del equipo.....	26
Figura 2. 12: Mesa y soporte del equipo	27
Figura 2. 13: Construcción de la parrilla de acero inoxidable	27
Figura 2. 14: Resistencia calentadora tipo C de 200W	28
Figura 2. 15: Soporte para el ventilador en cada desecador.....	28
Figura 2. 16: Taladrado realizado a los desecadores para conectar	29
Figura 2. 17: Instalación de cada ventilador.....	29
Figura 2. 18: Taladrado en la caja de control	30
Figura 2. 19: Perfiles de caucho.....	30
Figura 2. 20: Instalación de los perfiles de caucho y de los desecadores.....	31
Figura 2. 21: Conexión del equipo a la computadora	32
Figura 3. 1: Equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua	33
Figura 3. 2: Temperatura en el interior del equipo durante el ensayo	34
Figura 3. 3: Humedad relativa en el interior del equipo durante el ensayo.....	37
Figura 3. 4: Temperatura en los 3 desecadores en función del tiempo.....	38
Figura 3. 5: Humedad relativa dentro de cada desecador.....	40
Figura 3. 6: Peso de la muestra 1, 2 y 3 vs Tiempo	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Permeabilidad relativa de varios envases de alimentos.....	4
Tabla 2.1: Matriz de Decisión entre las 3 alternativas	12
Tabla 2.2: Propiedades térmicas de los componentes estructurales	13
Tabla 2.3: Propiedades del Aire a 24.5°C	14
Tabla 2.4: Propiedades del Aire a 21.75°C	16
Tabla 2.5: Propiedades de los componentes dentro del equipo.....	22
Tabla 3.1: Resultados del diseño del equipo.....	33
Tabla 3.2: Temperatura interior del equipo vs tiempo(horas) durante el ensayo .	34
Tabla 3.3: Humedad relativa en el interior del equipo vs tiempo(horas).....	36
Tabla 3.4: Temperatura interior de cada desecador(°C) vs tiempo(horas).....	37
Tabla 3.5: Humedad interior vs tiempo(horas)	39
Tabla 3.6: Medición del peso en cada desecador(gr) vs tiempo(horas)	40
Tabla 3.7: Lista de materiales utilizados para la construcción del equipo	42
Tabla 3.8: Detalles de los costos de mano de obra para fabricar el equipo	43

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La industria alimenticia requiere cada vez más del desarrollo de empaques que permitan mantener la calidad, inocuidad y aroma de los productos envasados. Esto significa que se deben utilizar materiales que aminoren lo más posible la transferencia de masa, validando sus propiedades en pruebas en laboratorio bajo normas internacionales, tal como la ASTM E96-95. A su vez, la tendencia actual es la implementación de envases biodegradables; para así disminuir la huella ecológica generada por los desechos de los polímeros sintéticos que provienen de fuentes no renovables como el petróleo (Devís, 2013).

Debido a que los alimentos tienden a ganar o perder humedad, la permeabilidad de vapor de agua de sus envases tiene una gran relevancia, teniendo en cuenta que los alimentos secos, tales como galletas, leche en polvo, etc. pueden perder textura y ablandarse si tienen contacto con un ambiente húmedo. Por otro lado, una liberación del vapor fuera del envase ocasionaría una desecación del producto o la oxidación de lípidos (Huanchi, 2013).

Por esta razón, se propuso que se realice la construcción de un equipo con el que se pueda realizar ensayos de permeabilidad al vapor de agua a films de plásticos biodegradables, siendo un paso importante para certificar que el producto alimenticio se conservará en condiciones óptimas hasta llegar a su consumidor final (Carballo, 2010).

1.1 Descripción del problema

Actualmente, en uno de los laboratorios de FIMCP-ESPOL, se encuentra un equipo que realiza medición de permeabilidad al vapor de agua en films, el cual requiere de un mantenimiento correctivo. Debido a ello, 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. Este equipo permite realizar la medición de permeabilidad de forma manual, lo que implica un aumento en tiempos de espera de las tomas de datos.

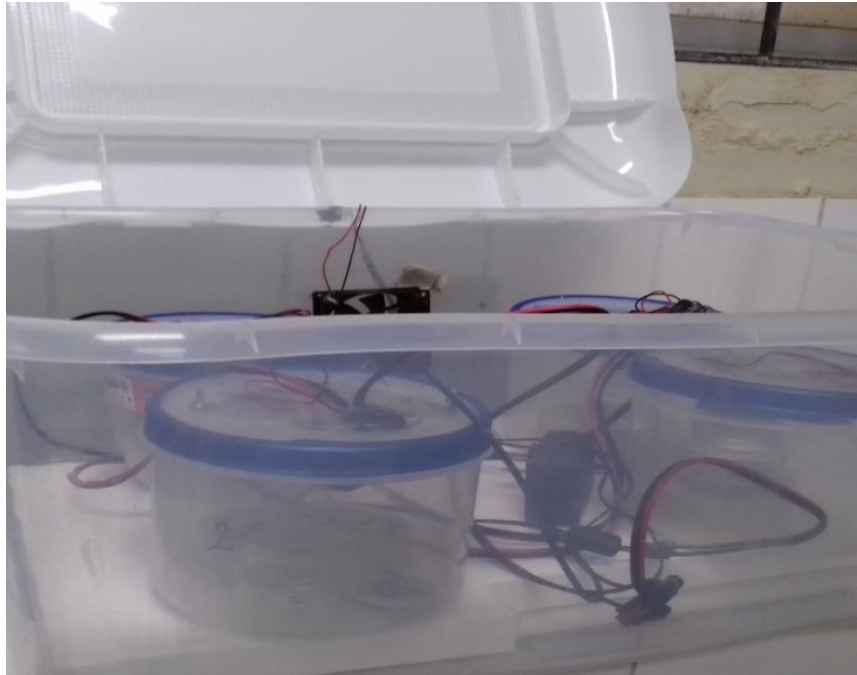


Figura 1. 1: Equipo disponible para realizar el ensayo de permeabilidad

Fuente: (Zúñiga, 2017)

El equipo fue construido con material plástico (envase plástico) donde se colocaban las muestras de film, al no disponer el prototipo de una balanza interna las muestras deben ser extraídas y llevadas a la balanza digital generando errores en los resultados del ensayo. Como solución de la problemática antes indicada, se propuso la construcción de un equipo que permita realizar la medición de permeabilidad de manera automática, sin tener que retirar la muestra del equipo. Cabe indicar que a partir del presente trabajo se solucionó una problemática de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar y construir un equipo de medición de permeabilidad al vapor de agua para films plásticos para su aplicación en pruebas de laboratorio de la carrera de Ingeniería en Alimentos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar la parte estructural del equipo, el cual permita realizar los ensayos con 3 muestras simultáneamente.
- Determinar los componentes que permitan mantener el ambiente controlado que exige la norma ASTM E96-65 en los ensayos.
- Realizar pruebas de funcionamiento y puesta en operación del equipo de permeabilidad
- Elaborar una guía de uso y mantenimiento del equipo construido

1.3 Marco teórico

1.3.1 Permeabilidad al vapor de agua

Se conoce como permeabilidad a la tasa de transferencia de masa de una sustancia a través de un material. Este fenómeno se produce debido a los espacios entre las moléculas del material y un flujo capilar producido por la existencia de poros o defectos en el material o por difusión. Este último es el proceso resultante de los mecanismos conocidos como adsorción y desorción (Muñoz, 2015)

En particular, la permeabilidad al vapor de agua está relacionada a factores como el espesor y naturaleza del material, temperatura ambiente, flujo de aire, entre otros (López, 2011). En la Tabla 1.1. Se muestra valores promedio de la permeabilidad de diferentes materiales utilizados como envases.

Tabla 1. 1: Permeabilidad relativa de varios envases de alimentos

Material	Permeabilidad relativa (al nylon)
Blfster	0
Clorotrifluoroetileno	0.02
Cloruro de vinilideno (PVDC)	0.2
Polietileno de Alta Densidad (HDPE)	1.2
Polipropileno (PP)	1.6
Polietileno de baja densidad (LDPE)	4.8
Tereftalato de polietileno(PET)	5.2
Policloruro de Vinil (PVC)	16
Copolímero Acrilonitrilo (Barex)	20
Nylon)	100

Fuente: (Versaperm, 2014)

1.3.2 Medición de permeabilidad

Una de las normas empleadas para la medición de la permeabilidad es una variación del método gravimétrico ASTM E96-95, para un rango de humedad relativa entre 53 a 100%. Las muestras de los envases son colocadas sobre copas de aluminio, dentro de las cuales se agregan 5 ml de agua destilada, tal como se aprecia en la figura 1.2 (Carballo, 2010).



Figura 1. 2: Equipo certificado para realizar el ensayo

Fuente: ASTM E96-65

El funcionamiento u operación del equipo de medición de permeabilidad es el siguiente: (Testlopedia, 2017).

- ✓ Cada copa es introducida dentro de un horno con ventiladores en la parte superior, el cual sirve para homogenizar la atmósfera.
- ✓ Cada 1,5 horas se deben tomar la medida de la masa con la balanza durante 24 horas.
- ✓ Por último, mediante análisis de regresión, se obtendría la pendiente de los datos de masa frente al tiempo, dividido para el área del film.

1.3.2.1 Balanzas

Uno de los componentes más importantes que debe tener el equipo para garantizar la validez del ensayo es una balanza con la suficiente sensibilidad y precisión para realizar la medición de la copa mientras dura todo el proceso.

Para instalar y utilizar satisfactoriamente este dispositivo, se requiere lo siguiente (Molina, 2016):

1. Disponer de un ambiente que no presente corrientes de aire, cambios bruscos de temperatura y que esté libre de polvo.
2. Descansar sobre una base perfectamente nivelada.
3. Se encuentre alejada de equipos que produzcan vibraciones, tales como bombas, compresores, motores, entre otros.

1.3.2.2 Fuentes de calor

Se utilizan para alcanzar una temperatura superior a la del ambiente, utilizando los modos de transferencia de calor, que son; conducción, convección y radiación. Por otra parte, para el requerimiento de distribución de energía y cantidad de energía se pueden utilizar focos, resistencias eléctricas, calentamiento por placas (UNIOVI, 2014).

Finalmente, para garantizar el correcto funcionamiento del equipo de ensayos, se debe evaluar el tiempo de respuesta, tamaño, costo y precisión de cada opción con la finalidad de que la temperatura se mantenga en el rango requerido de la forma más homogénea posible.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

2.1 Diseño conceptual

Considerando los requerimientos planteados en este proyecto, se definió el proceso metodológico para diseñar y construir el equipo de medición, para lo cual se realizaron varios diseños de forma con la finalidad de que cumplan con las consideraciones de diseño listadas a continuación:

Consideraciones de diseño

- El equipo debe permitir realizar pruebas a 3 muestras simultáneamente.
- Sistema de medición de peso de alta sensibilidad y precisión ($\pm 0.001\text{g}$).
- Debe asegurar la integridad de las muestras, y permanecer operativo continuamente.
- Mantener la temperatura de la recámara a 25°C .

2.2 Estrategia de diseño

Se estableció un plan para diseñar el equipo de medición de permeabilidad que cumpla con los requerimientos técnicos mencionados anteriormente. Se realizó un diagrama de flujo con todas las etapas de diseño a seguir, mostrado en la figura 2.1, reconociendo la relación entre cada una y las retroalimentaciones necesarias.

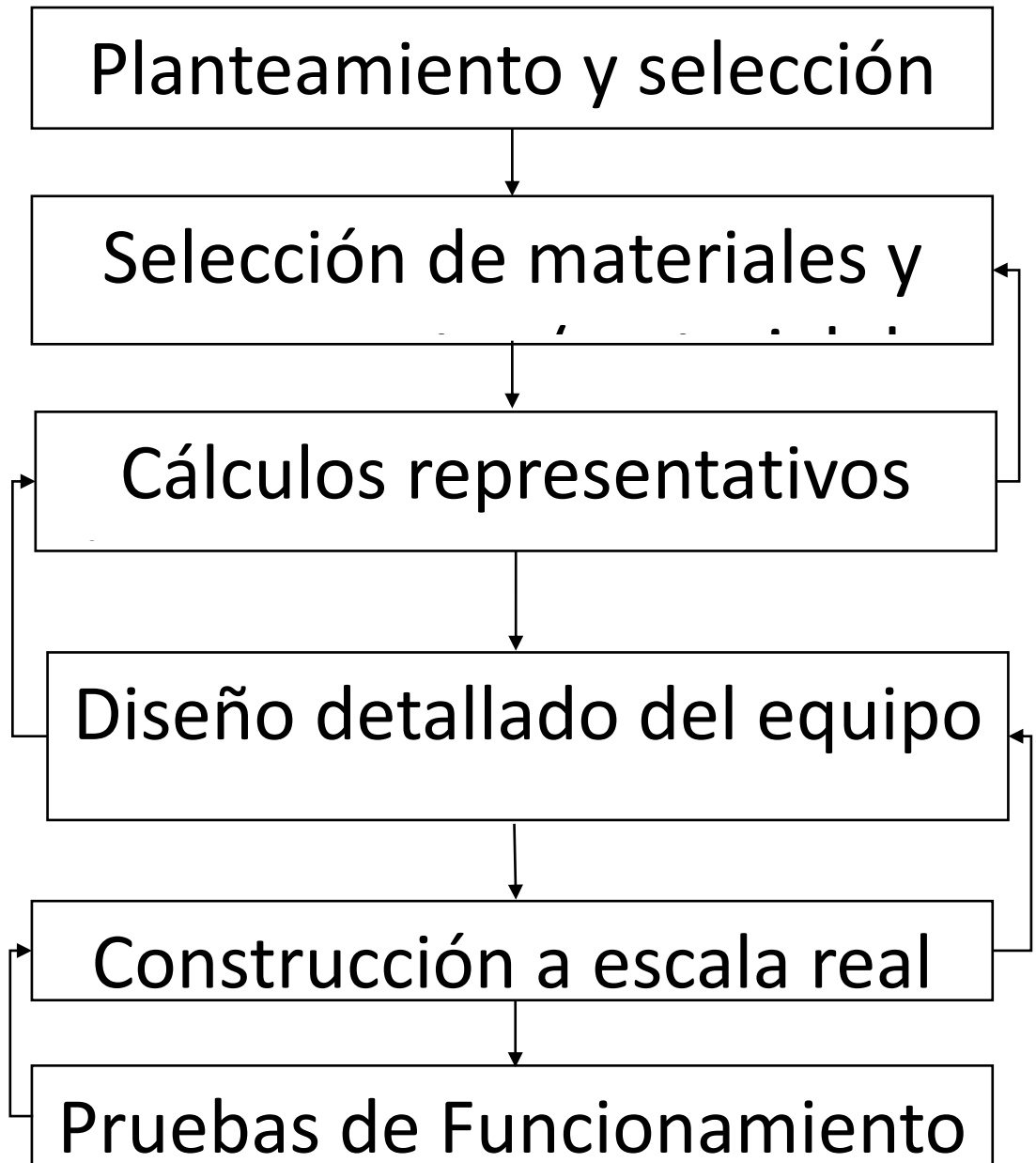


Figura 2. 1: Secuencia del proceso de la metodología de diseño

Fuente: Elaboración Propia

En el diseño del equipo, es necesario colocar una fuente de calor de todas las anteriormente mencionadas, debido a que el laboratorio está climatizado a una temperatura aproximada de 21°C, además la fuente de calor servirá para que la temperatura sea regulable y controlada dentro del equipo, por si es necesario hacer pruebas con otro tipo de materiales que necesiten más o menos temperatura.

2.3 Alternativas de solución

Para la construcción del equipo, se plantearon diferentes tipos de componentes que se pueden utilizar, los cuales serán evaluados según los siguientes criterios:

- **Costo (30%):** Se otorga el mayor puntaje a la alternativa que pueda cumplir con todos los requerimientos con la menor inversión posible.
- **Tamaño (10%):** Según la cantidad de muestras, se debe contar con un equipo en el que sus dimensiones permitan realizar el calentamiento y ventilación de manera eficiente.
- **Facilidad de mantenimiento (25%):** El equipo debe ser construido con partes fáciles de conseguir en el mercado local.
- **Consumo energético (10%):** Ya que un ensayo dura 24 horas, se debe considerar un diseño que sea muy eficiente en su uso de energía calorífica y eléctrica.
- **Tiempo de Vida (25%):** Al ser un equipo de laboratorio en el que cada ensayo dura varias horas, e incluso más de 1 día, se deben seleccionar sus componentes para que tengan la mayor duración y confiabilidad posible hasta que se requiera cambiar una de sus partes.

2.3.1 Fuente de calor

Dado que en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera Ingeniería en Alimentos donde va a operar el equipo la temperatura promedio es de 21°C, el sistema debe estar aislado del ambiente exterior, se consideró el uso de una fuente de calor instalada dentro del equipo. Se analizaron las siguientes alternativas.

2.3.1.1 Focos incandescentes

Al utilizar este tipo de fuentes como se ve en la figura 2.2, se obtiene la temperatura deseada con baja eficiencia y un consumo de energía alto hasta llegar al equilibrio térmico, además el equipo va a contar con un controlador el cual va a mantener constante la temperatura lo que va a ser que los focos se prendan y apaguen cada cierto tiempo, que reduce

la vida útil de los focos incandescentes, lo que implica que el mantenimiento del equipo sea frecuente, esto no sería muy conveniente para una máquina de laboratorio donde cada prueba dure 24 horas. (García, 2013)



Figura 2. 2: Focos Incandescentes
Fuente:(Philips, 2017)

2.3.1.2 Calentamiento mediante resistencia eléctrica

En esta alternativa mostrada en la figura2.3, se emplearía un conductor (mezcla de níquel y cromo), el cual por convección calentaría el aire dentro de la cámara. Su duración es mucho mayor, al ser un componente utilizado ampliamente en la industria, por lo que también son fáciles de encontrar en el mercado local, además un sistema de control para mantener la temperatura constante con resistencia eléctrica es muy fácil (Hern I. , 2013).



Figura 2. 3 Resistencia Eléctrica
Fuente:(El Electrico, 2015)

2.3.2 Sistema de medición de peso

Como se mencionó en la sección 1.3.2.1, las balanzas requeridas para este equipo deben ser de alta sensibilidad y precisión, ya que el método

enunciado en la norma ASTM E96-95 se basa en la diferencia de peso donde se empieza con 5 ml de agua la que se evapora a través de la muestra. Por esta razón se utilizó balanzas digitales, las cuales tienen una precisión de ± 0.001 g, con una capacidad máxima de 10kg en los modelos comerciales, como la que se muestra en la figura 2.4.



Figura 2. 4 Balanza WTC 200
Fuente(RADWAG, 2017)

2.3.3 Diseño de Forma de cada alternativa

Se investigo equipos que realicen estos ensayos donde se postulan a continuación las tres mejores opciones, mostradas en las figuras 2.5, 2.6 y 2.7

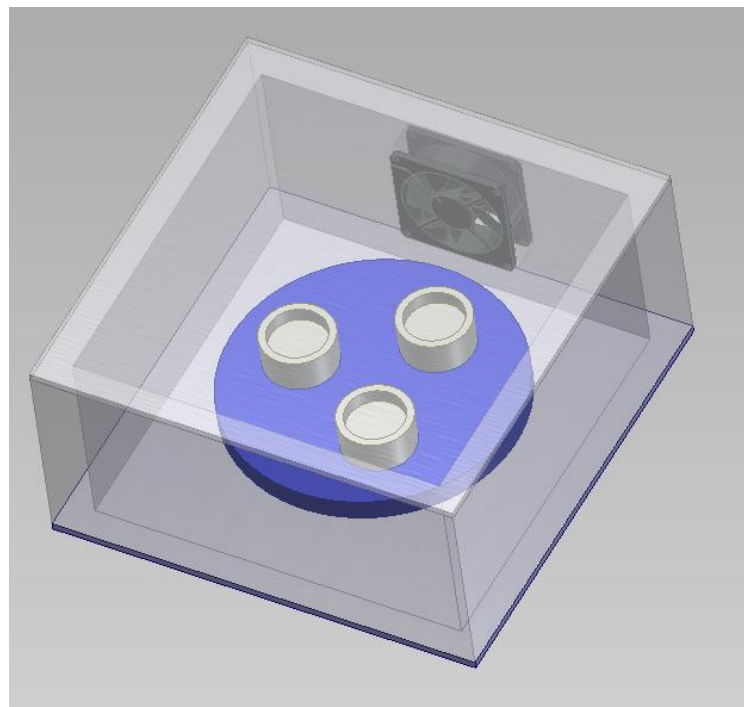


Figura 2. 5: Alternativa A.- Equipo con soporte rotatorio para muestras

Fuente: Elaboración propia

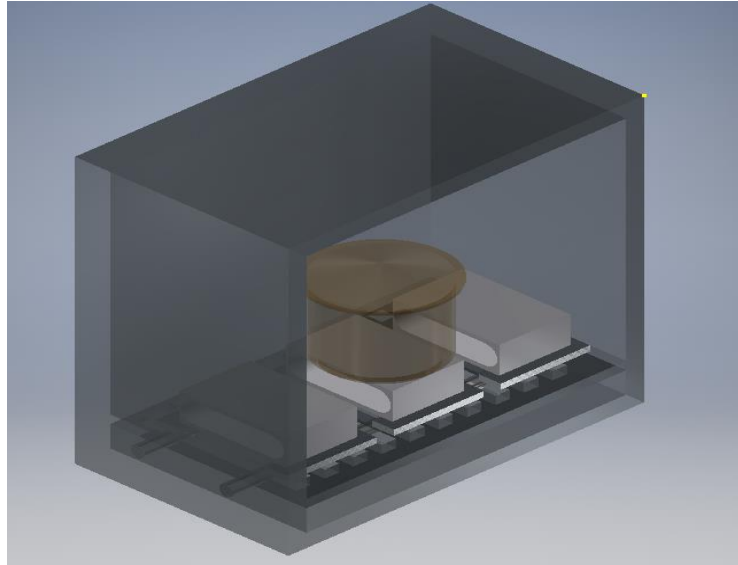


Figura 2. 6: Alternativa B.- Equipo con galgas extensiométricas y focos incandescentes

Fuente: Elaboración propia

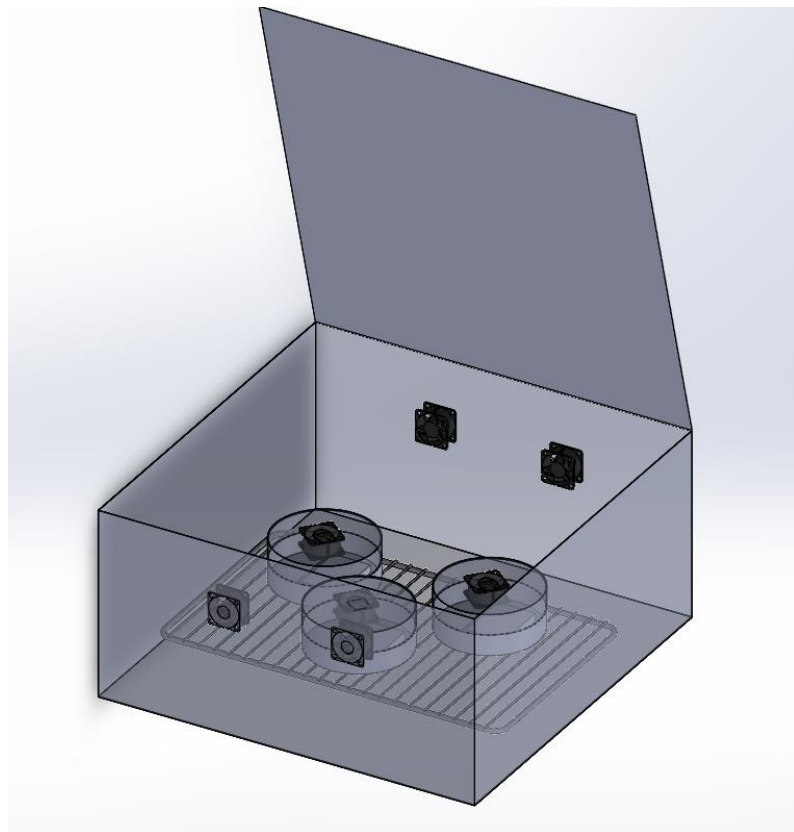


Figura 2. 7: Alternativa C.- Equipo con resistencia eléctrica

Fuente: Elaboración propia

2.4 Evaluación de alternativas

Se escogió la alternativa C, considerando parámetros relevantes en la matriz de decisión de la Tabla 2.1, tales como: costo de fabricación, facilidad de mantenimiento, tiempo de vida útil, consumo energético y tamaño. Además, se consideró una puntuación del 1 al 10, siendo 1 el puntaje menor y 10 el de más valor, denotando la conveniencia o no de dicha característica, para luego ser multiplicadas por el porcentaje respectivo de cada uno, obteniéndose un total calificado sobre 10.

Solución	A		B		C	
Parámetro	Puntaje	Resultado	Puntaje	Resultado	Puntaje	Resultado
Costo de fabricación (30%)	7	2.1	8	2.4	9	2.7
Facilidad de Mantenimiento (25%)	5	1.25	7	1.75	9	2.25
Tiempo de vida (25%)	9	2.25	7	1.75	9	2.25
Consumo Energético (10%)	8	0.8	6	0.6	9	0.9
Tamaño (10%)	8	0.8	8	0.8	8	0.8
Total		6.9		7.3		8.9

Tabla 2. 1: Matriz de Decisión entre las 3 alternativas

Fuente: Elaboración Propia

2.5 Análisis de transferencia de calor en el equipo

Para definir el punto de operación de la resistencia eléctrica que realizará el calentamiento dentro del sistema, es necesario determinar las pérdidas de calor a través de sus paredes, considerando las condiciones de temperatura y de flujo en el ambiente interior y exterior del mismo. Planteando la ecuación (2.1). de energía, tomando en cuenta a todo el equipo como volumen de control, se obtuvo:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{pérdidas} + \dot{Q}_{interior} \quad (2.1)$$

Donde:

$\dot{Q}_{pérdidas}$: Calor perdido por unidad de tiempo a través de las paredes del equipo.

\dot{Q}_{aire} : Calor necesario por unidad de tiempo para elevar la temperatura del aire dentro del ambiente hasta la temperatura necesaria ($T_i = 25^\circ C$).

2.5.1 Pérdidas de calor en las paredes de la estructura

Para estimar el flujo de calor a través de las paredes se consideró la temperatura interior en $25^\circ C$, mientras que la temperatura del ambiente exterior se midió con una termocupla, resultando en $21^\circ C$.

Para mantener la inocuidad dentro y fuera del equipo, se escogió como material estructural de las paredes al acero inoxidable AISI 304. Asimismo, debido a que la espuma de Poliuretano es fácil de encontrar en el mercado se la eligió como aislante. En la Tabla 2.2 se encuentran los valores de conductividad térmica de cada material.

Tabla 2. 2: Propiedades térmicas de los componentes estructurales

Elemento	Material	Conductividad Térmica $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$
Pared Interior	Acero inoxidable AISI 304	16,3
Aislante	Poliuretano	0,023
Pared Exterior	Acero inoxidable AISI 304	16,3

Fuente: Elaboración propia

2.5.1.1 Coeficiente convectivo interno

Tomando en cuenta que dentro del equipo se presenta convección forzada debido a los ventiladores, se estimó mediante los números de Nusselt y Prandtl su coeficiente convectivo, donde las dimensiones de la recámara son:

L=Largo (m)	1
B=Ancho (m)	1
H=Alto (m)	0,65

Siendo la temperatura interna 25°C, se asumió un descenso de 1°C al estar en contacto con la pared interna, debido a que en el exterior se encuentra a menor temperatura. Considerando la temperatura promedio o de película (T_{m1}), se evaluaron las propiedades térmicas del aire, tal como se muestra en la Tabla 2.3.

$$T_{m1} = \frac{25 + 24}{2} = 24.5^{\circ}C = 297.5^{\circ}K$$

Tabla 2. 3: Propiedades del Aire a 24.5°C

Propiedad	Valor
Conductividad Térmica $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$	$26,3 * 10^{-3}$
Viscosidad Cinemática $\left[\frac{m^2}{s}\right]$	$15,89 * 10^{-6}$
Número de Prandtl	0.7

Fuente: Elaboración propia

Considerando el interior del equipo como un ducto rectangular, se determinó el diámetro hidráulico, representado por la ecuación (2.2) (Incropera, 2009):

$$D_H = \frac{4A_c}{P} \quad (2.2)$$

Donde:

A_c : Área transversal por donde pasa el fluido [m^2]

P : Perímetro mojado por el fluido [m]

$$D_H = \frac{4(0.95 * 0.95)}{(2)(0.95 + 0.95)}$$

$$D_H = 3.8m$$

Tomando una velocidad promedio del aire V_{prom} de 2 m/s (Hugh, 1993), el número de Reynolds se calculó con la ecuación (2.3) (Incropera, 2009).

$$Re = \frac{V_{prom} D_H}{\nu}$$

(2.3)

$$Re = \frac{2 * 3.8}{15.89 * 10^{-6}}$$

$$Re = 478288$$

Por lo tanto, se considera como flujo turbulento. Utilizando la ecuación (2.4) del número de Nusselt (Incropera, 2009):

$$\overline{Nu}_D = 0,023 Re^{4/5} Pr^{0,3}$$

(2.4)

$$\overline{Nu}_D = 0,023 (478288)^{4/5} (0.7)^{0.3}$$

$$\overline{Nu}_D = 722.78$$

Con el número de Nusselt (\overline{Nu}_D), se estimó el coeficiente convectivo en el interior de la pared (\bar{h}_i), mediante la ecuación (2.5)

$$\bar{h}_i = \frac{k \cdot \overline{Nu}_D}{D_H}$$

(2.5)

$$\bar{h}_i = \frac{(26,3 * 10^{-3})(722.78)}{3.8}$$

$$\bar{h}_i = 5 \text{ W/m} * \text{K}$$

2.5.1.2 Coeficiente convectivo externo

Para el análisis del exterior de la pared, se consideró una temperatura promedio de 21°C en el laboratorio. Al estar el aire acondicionado alejado del sitio donde estaría el equipo, se asumió que se tendría convección natural, por lo que se utilizó el número de Grashof.

Evaluando la temperatura a la temperatura de película T_{m2} , se obtuvo las propiedades térmicas del aire exterior, mostradas en la Tabla 2.4.

$$T_{m2} = \frac{21 + 22.5}{2} = 21.75^\circ\text{C} = 294.75^\circ\text{K}$$

Propiedad	Valor
Conductividad Térmica $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$	0.02581
Viscosidad Cinemática $\left[\frac{m^2}{s}\right]$	$13.22 * 10^{-6}$
Número de Prandtl	0.7271

Tabla 2. 4: Propiedades del Aire a 21.75°C

Fuente: Elaboración propia

El número adimensional de Grashof se calculó con la ecuación (2.6):

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

(2.6)

Donde:

- g : aceleración gravitacional ($\frac{m}{s^2}$)
- β : coeficiente de expansión volumétrica ($\frac{1}{K}$), $\beta = \frac{1}{T}$
- T_s : Temperatura superficial o de pared ($^{\circ}C$)
- T_∞ : Temperatura ambiente ($^{\circ}C$)
- L : Longitud característica de la pared (m)
- ν : Viscosidad cinemática ($\frac{m^2}{s}$)

Reemplazando los valores en la ecuación (2.6):

$$Gr_L = \frac{9.81 * \frac{1}{294.75} (22.5 - 21)(0.95)^3}{(13.22 * 10^{-6})^2}$$

$$Gr_L = 2.4 \times 10^8$$

Debido a que resultó en un valor menor a 10^9 , se concluyó que el flujo en las paredes es laminar. Empleando las ecuaciones (2.7) y (2.8) para determinar el número de Rayleigh y de Nusselt, respectivamente (Incropera, 2009):

$$Ra_L = Gr_L * Pr$$

(2.7)

$$Ra_L = (24.5 * 10^7)(0.7271)$$

$$Ra_L = 17.81 * 10^7$$

$$\overline{Nu}_L = 0.1 Ra_L^{1/3}$$

(2.8)

$$\overline{Nu}_L = 0.1(2.55 * 10^7)^{1/3} = 56.34$$

$$\bar{h}_o = \frac{k * \overline{Nu}_L}{L}$$

$$\bar{h}_o = \frac{(25.8 * 10^{-3})(56.34)}{0.65}$$

$$\bar{h}_o = 3.23 \text{ W/m}^2 * K$$

2.5.1.3 Flujo de calor y espesor de aislante

Para determinar el espesor de la espuma de Poliuretano necesaria, se empleó el circuito térmico mostrado en la figura 2.8. El flujo de calor a través de la pared se expresó mediante la ecuación (2.9):

$$Q = \frac{T_{op} - T_{\infty}}{\frac{1}{A} \left(\frac{1}{\bar{h}_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{\bar{h}_o} \right)}$$

(2.9)

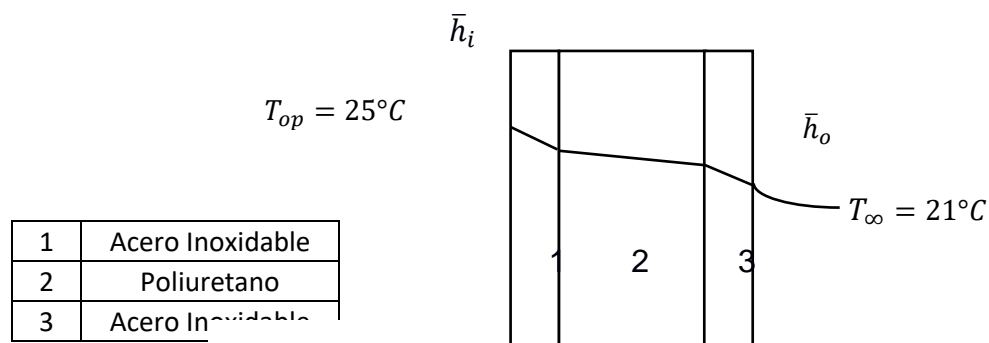


Figura 2. 8: Distribución de temperaturas en las paredes del equipo

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- T_{op} : Temperatura de operación del equipo.
- T_{∞} : Temperatura en los alrededores.
- A : Área de la pared.

- k_i : Conductividad térmica del Acero Inoxidable en el interior.
- \bar{h}_i : Coeficiente convectivo en el interior.
- \bar{h}_o : Coeficiente convectivo en el externo.
- e_1 : Espesor del acero inoxidable de la pared interna.
- e_2 : Espesor del poliuretano.
- e_3 : Espesor del acero inoxidable de la pared externa.

$$Q = \frac{25 - 21}{\frac{1}{(1)(0.65)} \left(\frac{1}{5} + \frac{0.001}{16.3} + \frac{e_2}{0.023} + \frac{0.001}{16.3} + \frac{1}{3.23} \right)}$$

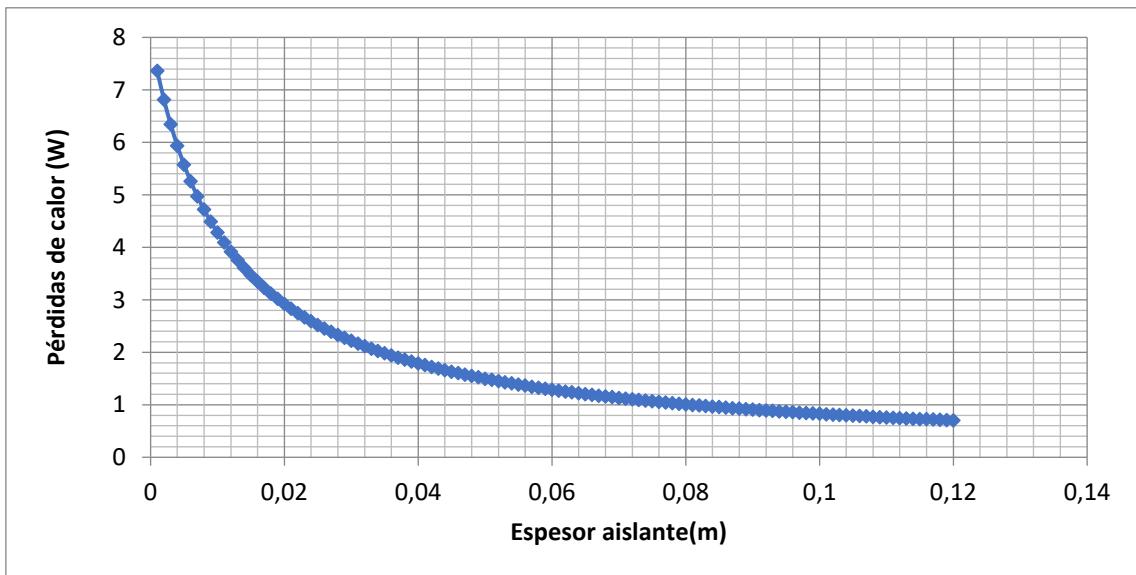


Figura 2. 9: Pérdida de calor vs espesor de aislante

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.9 se muestra que después de los 20mm de espesor, hay muy poca diferencia en lo que se puede evitar pérdida de calor, por lo que sería el espesor máximo de aislante a considerar. Al escoger ese valor, la pérdida de calor sería de 3W en cada cara, con lo que se procedió a calcular el valor de energía que debe ser suministrada por la resistencia eléctrica.

2.6 Selección de la resistencia eléctrica

Para obtener el calor que debe suministrar la resistencia dentro de la recámara, se asumió que la distribución de temperatura dentro de los desecadores sólo

dependía del tiempo. Esta hipótesis fue validada con el uso del Número de Biot, calculado con la ecuación (2.10):

$$B_i = \frac{hL}{k} \quad (2.10)$$

Donde

L: Longitud característica del cuerpo [m]

k: Conductividad térmica del material $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$

Para el caso del desecador de vacío mostrado en la figura 2.10, se obtuvo la conductividad térmica de su tapa y de su base, que son fabricados de policarbonato y polipropileno, respectivamente (Tedpella, 2016).



Figura 2. 10: Desecadores de vacío

Fuente: (Tedpella, 2016)

Para los materiales antes mencionados: (PlasticBages, 2017):

$$k_{\text{policarbonato}} = 4.22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$k_{\text{polipropileno}} = 3.20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para simplificar los cálculos, se asumió que cada componente era un cilindro abierto con radio exterior $R = 0.10m$ y radio interior $R_i = 0.098m$. La longitud característica está definida con la ecuación (2.11).

$$L = \frac{\text{Volumen del cuerpo}}{\text{Área en contacto con el fluido exterior o interior}} \quad (2.11)$$

Se asume que la tapa y la base del desecador tienen la misma forma y dimensión, por lo que se asemejan al caso de un cilindro abierto:

$$L = \frac{\pi R^2 H - \pi R_i^2 H}{2\pi R H}$$

$$L = \frac{R^2 - R_i^2}{2R}$$

Reemplazando en la ecuación (2.11), donde determinamos la longitud característica para la base y la tapa del desecador:

$$L_{\text{policarbonato}} = L_{\text{polipropileno}} = 0.0576\text{m}$$

Entonces, se procedió a calcular el número de Biot para ambos materiales con la ecuación 2.10, considerando el coeficiente convectivo en el interior de la recámara hallado en la sección 2.5.1.1.

Policarbonato:

$$Bi = \frac{5 \text{ W/m.K} * 0.0576\text{m}}{4.22 \text{ W/m}^2.\text{K}}$$

$$Bi = 0,07$$

Polipropileno :

$$Bi = \frac{5 \text{ W/m.K} * 0.0576\text{m}}{3.2 \text{ W/m}^2.\text{K}}$$

$$Bi = 0.09$$

2.6.1 Balance de energía en el interior de la recámara

Considerando las masas y calores específicos de cada componente en el interior de la recámara, se cuantificó el calor total que debe ser suministrado por la resistencia eléctrica. Estos valores se muestran en la Tabla 2.5.

Item	Masa (kg)	Calor específico (J/kg K)
Tapa desecador	0,2	1800
Base desecador	0,3	1200
Platos	0,8	502
Balanza	0,4	502

Tabla 2. 5: Propiedades de los componentes dentro del equipo

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, se consideró el aire en el interior de la recámara, cuya masa fue calculada con la ecuación (2.12):

$$m = \rho V \quad (2.12)$$

Donde

ρ : Densidad del aire evaluada en la temperatura del ambiente interior $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

V : Volumen de aire dentro de la recámara $[m^3]$

Este volumen se obtuvo considerando las dimensiones de la carcasa, por lo tanto:

$$V = (1m * 1m * 0.65m)$$

$$V = 0.65m^3$$

La densidad del aire a $T = 25^\circ C$ es de $\rho = 1.3 \frac{kg}{m^3}$ y su calor específico es de

$c_p = 1.1 \frac{J}{kg.k}$ Entonces:

$$m = 0.58 kg$$

Utilizando la ecuación (2.1):

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{pérdidas} + \sum_{i=1} m_i c_{p_i} \frac{\Delta T}{t}$$

Donde ΔT es la diferencia entre la temperatura exterior e interior del equipo ($\Delta T = 4^{\circ}C$). Cabe recalcar que se estimó un tiempo de 5 minutos para que el sistema alcance la temperatura deseada. Reemplazando todos los datos:

$$\dot{Q}_{total} = 88.2 W$$

Debido a los otros componentes no cuantificados (sensores, parrilla, componentes eléctricos), y a que se recomienda elegir una fuente de calor que no esté siempre operando a su valor máximo de potencia (Stope, 2016), se decidió escoger una resistencia tipo C de 200W.

2.7 Selección de ventiladores

Para realizar un ensayo de permeabilidad al vapor de agua, se requiere de un flujo de aire que acelere el transporte de masa a través del empaque, así como de una diferencia de presión entre la cara anterior y posterior del mismo. Considerando las dimensiones del desecador y que la velocidad del aire recomendable sea mayor a 152m/min (Hugh, 1993), se procedió a seleccionar el tipo y punto de operación de los ventiladores que se colocarían dentro de cada desecador.

Tomando como referencia a un ventilador de 12V de dimensiones: 40mm x 40mm, el cual se encuentra comúnmente en computadoras, se obtuvo el flujo volumétrico de aire que puede proveer aplicando la ecuación (2.13).

$$\dot{V} = V * A \tag{2.13}$$

Donde

V: Velocidad del aire [m/seg]

A: Área efectiva transversal del ventilador [m^2] (Ver Anexo 1)

Reemplazando:

$$\dot{V} = \left(152 \frac{m}{min} \times \frac{min}{60 seg} \right) * 0.0007m^2$$

$$\dot{V} = 0.001 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\dot{V} = 6.38 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Según el catálogo consultado (Ver Apéndice A), un ventilador de las dimensiones antes mencionadas puede otorgar un flujo de $24 \text{ m}^3/\text{hr}$, por lo que fueron seleccionados para construir el equipo.

2.7. Análisis estructural del equipo

2.7.1. Espesor de plancha de la recámara

Para asegurar la integridad estructural de la recámara, se estimó la fuerza necesaria para deformar las paredes de acero inoxidable, y así, comprobar que el espesor elegido en el análisis de transferencia de calor es aceptable.

Primero, se consideró una fuerza concentrada “F” que provoque una flexión sobre una de las caras laterales del equipo. La geometría de las paredes de la cámara son:

L=Largo (m)	1
B=Ancho (m)	1
H=Alto (m)	0,65
E=Espesor(m)	0.001

Por lo tanto, el esfuerzo de flexión resultante se calculó con la ecuación (2.14) (Norton, 2011).

$$\sigma_{flexión} = \frac{3FL}{2BE^2} \quad (2.14)$$

Considerando el esfuerzo de fluencia del acero inoxidable $\sigma_y = 200 \text{ MPa}$ y un factor de seguridad $N = 3$ se obtuvo:

$$F = \frac{2\sigma BE^2}{3NL}$$

$$F = 60N$$

Este valor de fuerza permisible se consideró lo suficientemente alto debido a que es poco probable que ocurra, por lo que se procedió a construir la carcasa con planchas de dicho espesor.

2.7.2. Dimensionamiento del soporte del equipo

Se estimó que la masa del equipo con todos sus componentes sería de 30kg, con el que se procedió a verificar si, al emplear tubos cuadrados de 1 pulgada de lado y 1.5mm de espesor, eran suficientes para soportar dicha carga. Utilizando la ecuación (2015) de esfuerzo axial (Norton, 2011):

$$\sigma_{compresión} = \frac{F}{A} \quad (2.15)$$

Siendo F la carga que soporta cada uno de los 4 tubos. Por lo tanto:

$$F = \frac{W}{4}$$

$$F = \frac{30kg * 9.8 \frac{m}{s^2}}{4}$$

$$F = 73.5 N$$

Reemplazando en la ecuación 2.14:

$$\sigma_{compresión} = \frac{73.5N}{0.00014m^2}$$

$$\sigma_{compresión} = 0.525MPa$$

Este valor de esfuerzo está muy por debajo del esfuerzo de fluencia del acero inoxidable, por lo que sí resistirá las cargas a las que sea sometido.

2.8. Construcción del equipo

Con los cálculos realizados, se procedió a analizar la forma más factible de construir el equipo, cotizando todos los componentes y siguiendo una planificación para optimizar el tiempo de fabricación.

En la figura 2.11 se muestra la carcasa del equipo, construido con planchas de acero inoxidable AISI 304 “mate” de 1mm de espesor, debido a que dentro del equipo se tendría un ambiente corrosivo por la humedad. Primero, se optó por realizar el corte de cada cara de la carcasa con una cizalladora, para luego proceder a soldar con el proceso TIG cada arista. Cabe recalcar que la cara superior, al ser colocada como tapa, se unió a la estructura mediante bisagras.



Figura 2. 11: Construcción de la carcasa del equipo

Fuente: (Elaboración propia)

Debido a que el equipo consta de una computadora y que, por ergonomía, debe estar a una altura adecuada, se construyó un soporte con tubos cuadrados de 1” y 1.5mm de espesor de acero inoxidable, al que se lo soldó a una mesa de 1m x 0.60m. Luego, se le colocaron bases de caucho antideslizante en cada tubo vertical. Esto se aprecia en la figura 2.12.



Figura 2. 12: Mesa y soporte del equipo

Fuente: (Elaboración propia)

Para ubicar a los desecadores a una distancia apropiada de la resistencia eléctrica mostrada en la figura 2.14, se construyó una parrilla mostrada en la figura 2.13, la cual también sería su soporte. Se utilizó varillas de acero AISI 304 de 6 mm de diámetro y se las soldó con el proceso TIG. Además, se colocaron las dos resistencias debajo de la parrilla, para una mejor distribución del calor.



Figura 2. 13: Construcción de la parrilla de acero inoxidable

Fuente: (Elaboración propia)



Figura 2. 14: Resistencia calentadora tipo C de 200W

Fuente: (Amazon, 2017)

Se construyó un soporte para cada ventilador que se colocaría dentro de los desecadores, con el propósito de no perforar la tapa de plástico del mismo y alterar su hermeticidad. Está conformado por varillas lisas de acero inoxidable 304 de 6 mm de diámetro y su altura permite maniobrar los platos en los que se pondrán las muestras de los empaques, tal como se muestra en la figura 2.15.

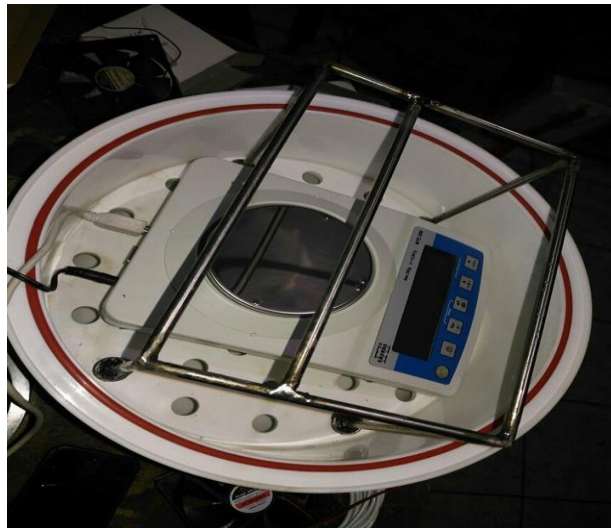


Figura 2. 15: Soporte para el ventilador en cada desecador

Fuente: (Elaboración propia)

Luego, con un taladrado y broca de $\frac{1}{4}$ " se realizó un agujero en cada desecador para hacer pasar los cables conectados a la balanza digital y al ventilador, en la figura 2.16.



Figura 2. 16: Taladrado realizado a los desecadores para conectar los sensores

Fuente: (Elaboración propia)

Para simplificar la tarea de sujetar los ventiladores extractores, se utilizaron amarras de cable para ubicarlos en su respectivo soporte, ya que su vibración es mínima. Esto se puede apreciar en la figura 2.17.

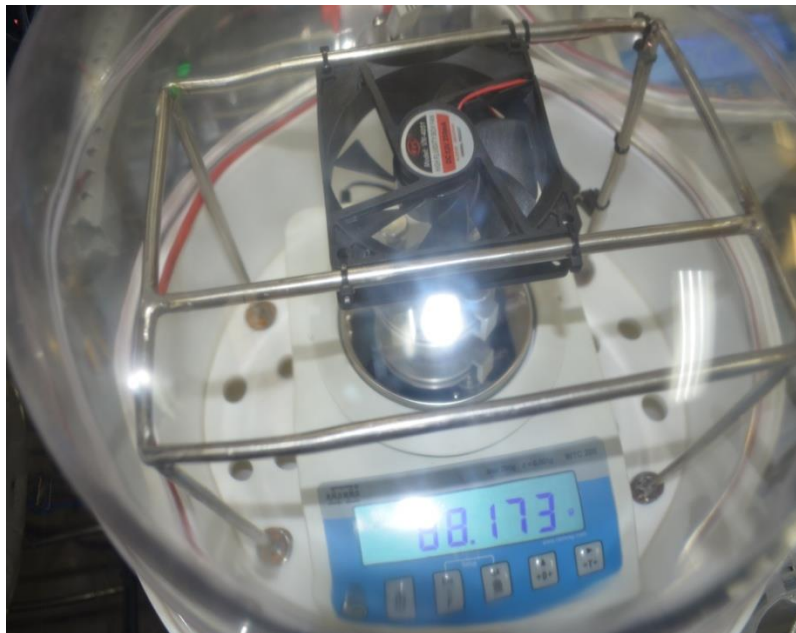


Figura 2. 17: Instalación de cada ventilador

Fuente: (Elaboración propia)

Respecto a la caja de control, se procedió a perforar la cara frontal con un taladro a la medida de los pulsadores, switch y leds, tal como se muestra en la figura 2.18.



Figura 2. 18: Taladrado en la caja de control

Fuente: (Elaboración propia)

Para mantener el ambiente interior del equipo aislado del exterior, se colocó un perfil de caucho en el borde superior de la cámara, tal como se muestra en la figura 2.19 y 2.20. Asimismo, para lograr la humedad relativa de 60% en el interior del equipo, se colocó un humidificador, el cual consta de un recipiente de plástico en el que se vertería 505 ml de agua, colocándose sobre dicho recipiente un ventilador.

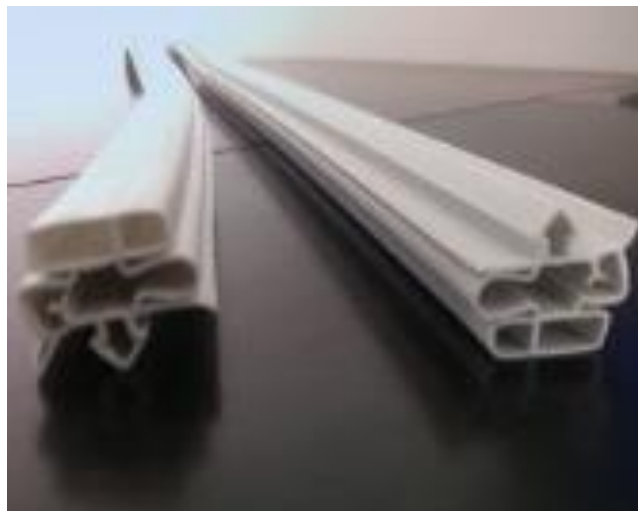


Figura 2. 19: Perfiles de caucho

Fuente: (Elaboración propia)

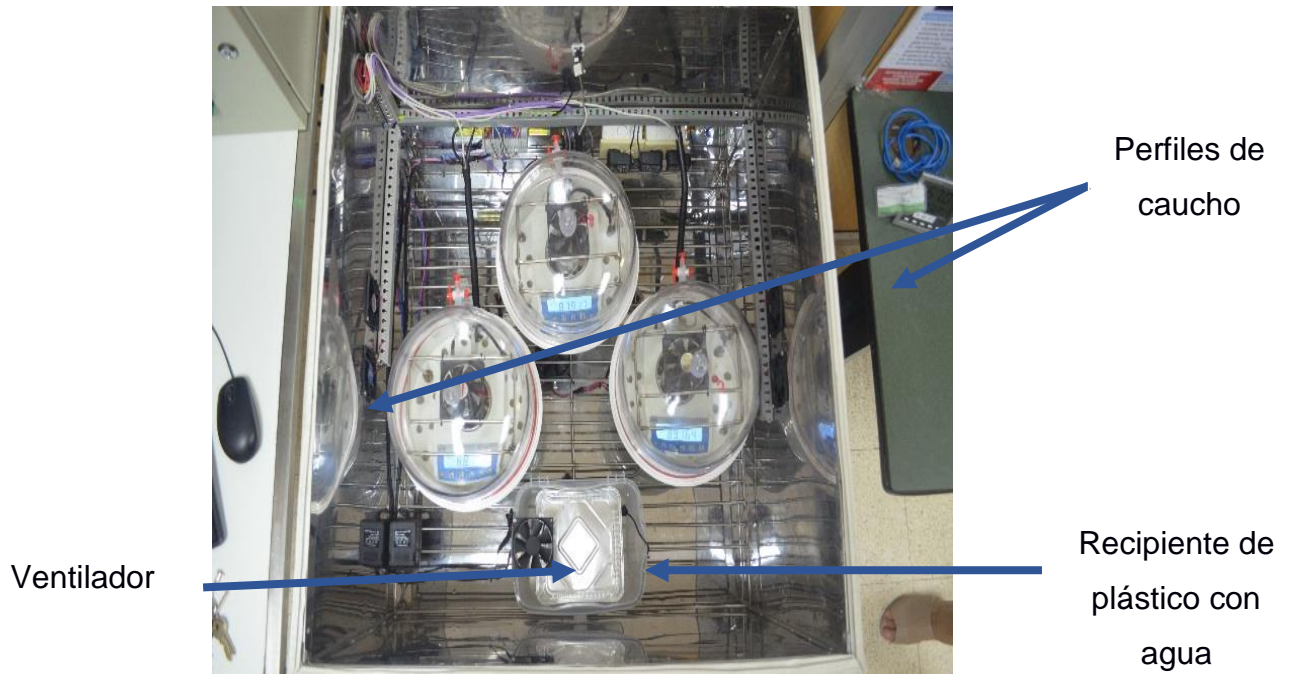


Figura 2. 20: Instalación de los perfiles de caucho y de los desecadores

Fuente: (Elaboración propia)

En la figura 2.21 se muestra el equipo ya instalado, en el que se realizó el cableado de todos los sensores y controles a la computadora para proceder a realizar pruebas de funcionamiento, donde se realizara 1 prueba de 24 horas. Los datos serán tomados cada hora como dice la Norma ASTM E96-65.



Figura 2. 21: Conexión del equipo a la computadora
Fuente: (Elaboración propia)

CAPITULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Materiales y equipos empleados

Se logró determinar las características de los materiales utilizados para construir el equipo de medición de permeabilidad al vapor del agua, los cuales se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Resultados del diseño del equipo

Componente	Descripción
Carcasa	Acero Inoxidable AISI 304 de 1mm de espesor
Espuma de poliuretano	15 mm de espesor
Resistencia de calor	Tipo C de 200W
Ventiladores	40mmx40mm. Flujo de aire: 20 m3/hora

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Equipo para medir permeabilidad

En la figura 3.1 se muestra el equipo construido, en el que se procedió a realizar ensayos de permeabilidad al vapor de agua.



Figura 3. 1: Equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua de empaques

3.2.1 Pruebas de Funcionamiento

Se realizó un ensayo por 24 horas en el equipo construido para verificar que los componentes utilizados permiten controlar los parámetros más relevantes de este proceso, tales como la temperatura y humedad en el ambiente interior y dentro de cada uno de los desecadores, así como el peso de cada muestra medido por sus respectivas balanzas a través del tiempo. Con ayuda del software instalado en la computadora del equipo, se realizó la toma de datos de temperatura cada hora, a partir de que inició la prueba, se muestran dichos datos en las Tablas 3.2 al 3.6.

Tabla 3. 2: Temperatura interior del equipo vs Tiempo (horas) durante el ensayo

Tiempo Transcurrido (Hr)	Temperatura de Equipo (°C)
0	22,06
1	23
2	23,06
3	23,18
4	23,25
5	23,25
6	23,37
7	23,37
8	23,37
9	23,68
10	23,93
11	24,06
12	24,12
13	24,25
14	24,25
15	24,18
16	24,25
17	24,25
18	24,25
19	24,31
20	24,25
21	24,25
22	24,25
23	24,18
24	24,25

Fuente: (Elaboración propia)

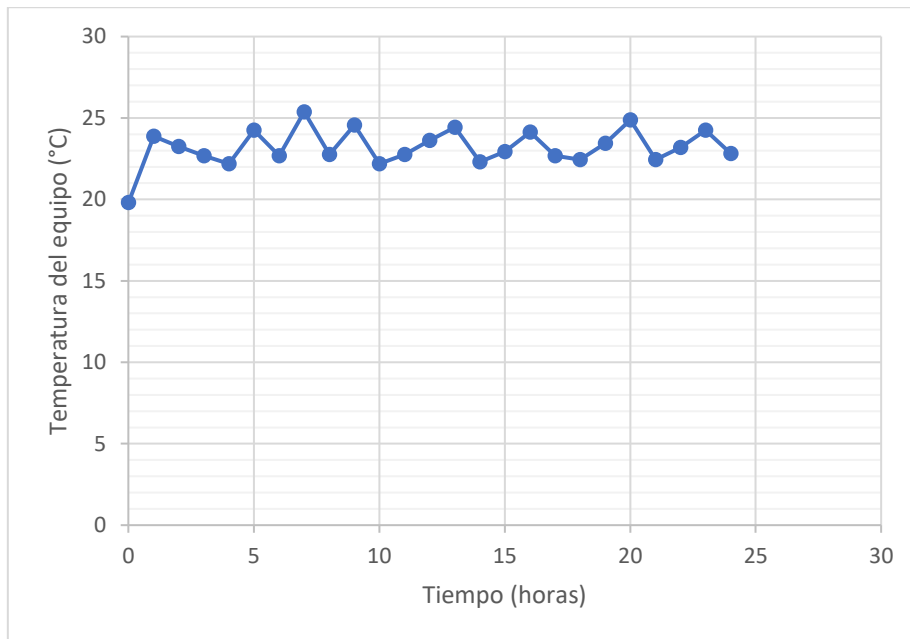


Figura 3. 2: Temperatura en el interior del equipo.

Fuente: (Elaboración Propia)

Se puede apreciar en la figura 3.2 que el controlador de temperatura implementado mantiene una temperatura estable en un rango de +/- 2°C en todo el transcurso del ensayo, lo que significa que se produce una distribución de temperatura en el interior sin cambios bruscos. Asimismo, en la figura 3.3 se observa que la humedad relativa se mantuvo dentro del rango deseado, ya que varía solo un 2% de su punto de operación ($\phi = 0.60$).

Tabla 3. 3: Humedad relativa en el interior del equipo vs Tiempo (horas)

Tiempo Transcurrido (Hr)	Humedad relativa en el interior
0	69,5
1	58,0
2	58,0
3	57,7
4	58,4
5	58,2
6	58,7
7	58,3
8	57,8
9	58,2
10	59,5
11	58,4
12	58,6
13	58,9
14	59,0
15	59,1
16	58,9
17	58,7
18	59,0
19	58,5
20	58,3
21	58,9
22	58,8
23	59,0
24	58,5

Fuente: (Elaboración propia)

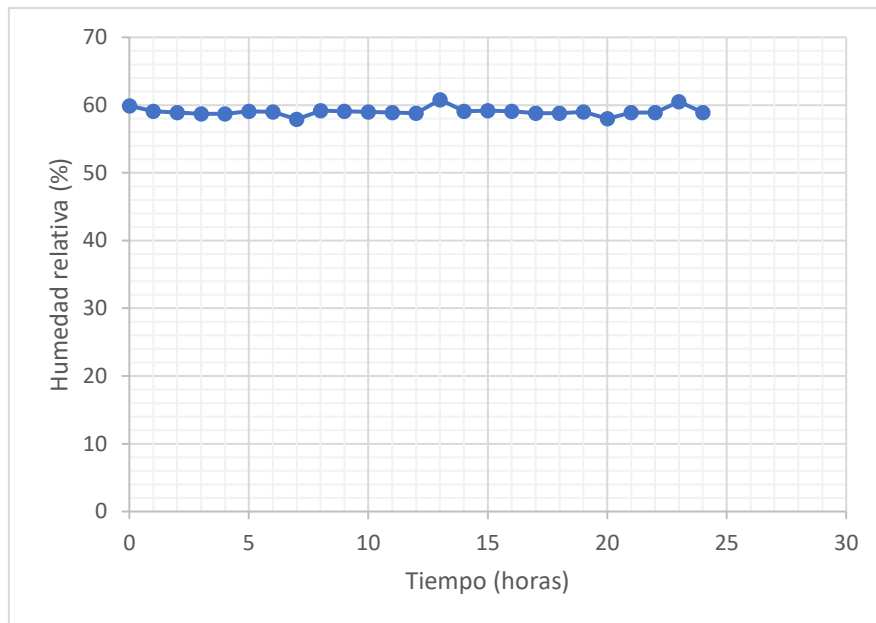


Figura 3. 3: Humedad relativa en el interior del equipo durante el ensayo

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestran los resultados de temperatura, humedad relativa y peso de la muestra en función del tiempo para cada desecador. En la figura 3.4 se puede observar que la temperatura dentro de cada desecador estuvo dentro de un rango de 24.5°C a 26.5°C a partir de la primera hora del ensayo, lo que está dentro de los límites aceptables para que las mediciones de permeabilidad sean válidas (Hugh, 1993).

Tabla 3. 4: Temperatura interior de cada desecador (°C) vs Tiempo (horas)

Tiempo Transcurrido (Hr)	Temperatura Desecador 1	Temperatura Desecador 2	Temperatura Desecador 3
0	21,56	21,68	21,81
1	23,75	24,43	24,06
2	24,18	24,93	24,37
3	24,37	25,12	24,56
4	24,43	25,18	24,62
5	24,43	25,25	24,62
6	24,62	25,37	24,75
7	24,62	25,37	24,75
8	24,56	25,37	24,75
9	24,75	25,56	24,93
10	25	25,81	25,18
11	25,06	25,87	25,25

12	25,12	25,93	25,31
13	25,18	26	25,37
14	25,25	26,06	25,43
15	25,25	26,06	25,43
16	25,18	26	25,37
17	25,31	26,12	25,56
18	25,31	26,12	25,5
19	25,31	26,12	25,5
20	25,37	26,18	25,56
21	25,37	26,12	25,5
22	25,25	26,06	25,37
23	25,37	26,12	25,5
24	25,31	26,12	25,5

Fuente: Elaboración Propia

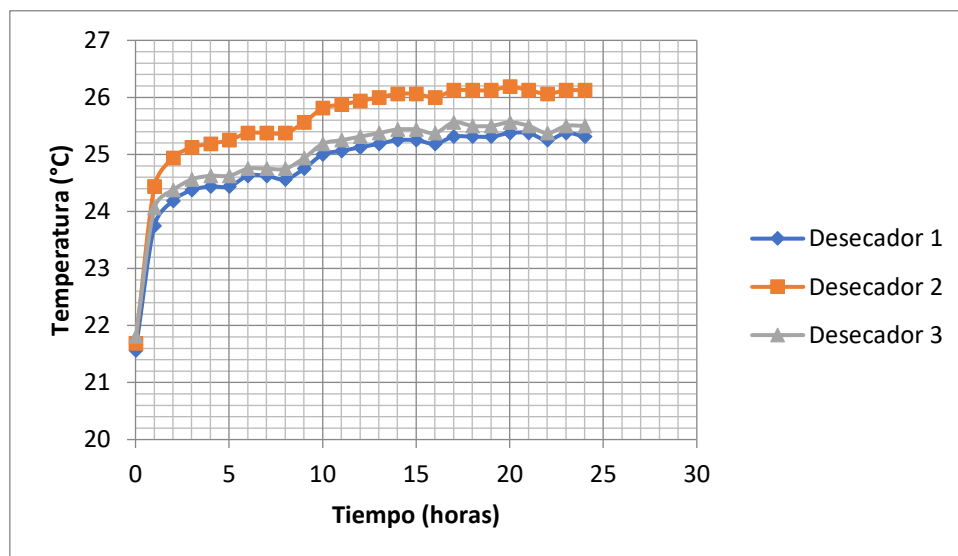


Figura 3. 4: Temperatura en los 3 desecadores en función del tiempo

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la humedad relativa dentro de cada desecador, en la figura 3.5 se observa que las humedades al inicio del ensayo son $\phi_1 = 72\%$, $\phi_2 = 68\%$ y $\phi_3 = 63\%$, las cuales se mantienen estables a partir de la primera hora y están dentro del rango permisible para que se realice el ensayo bajo la norma ASTM E96-65 y ASTM E96-65 modificada (Hugh, 1993). Si esto se cumple, significa que la gráfica de Peso vs Tiempo se comporta de manera lineal.

Tabla 3. 5: Humedad interior vs Tiempo (horas)

Tiempo Transcurrido (Hr)	Humedad Desecador 1	Humedad Desecador 2	Humedad Desecador 3
0	71,6	68,5	63,0
1	65,0	63,4	58,7
2	64,8	63,3	58,4
3	64,9	63,3	58,4
4	64,8	63,4	58,5
5	64,9	63,5	58,6
6	64,8	63,3	58,4
7	64,9	63,4	58,6
8	65,0	63,5	58,6
9	64,8	63,3	58,5
10	64,8	63,3	58,4
11	65,0	63,4	58,5
12	65,0	63,5	58,6
13	65,0	63,5	58,5
14	65,0	63,6	58,6
15	65,1	63,5	58,7
16	65,2	63,7	58,7
17	65,0	63,4	58,4
18	65,0	63,5	58,5
19	65,1	63,5	58,5
20	65,0	63,4	58,4
21	65,1	63,5	58,4
22	65,3	63,8	58,7
23	65,0	63,4	58,3
24	65,1	63,5	58,5

Fuente: Elaboración Propia

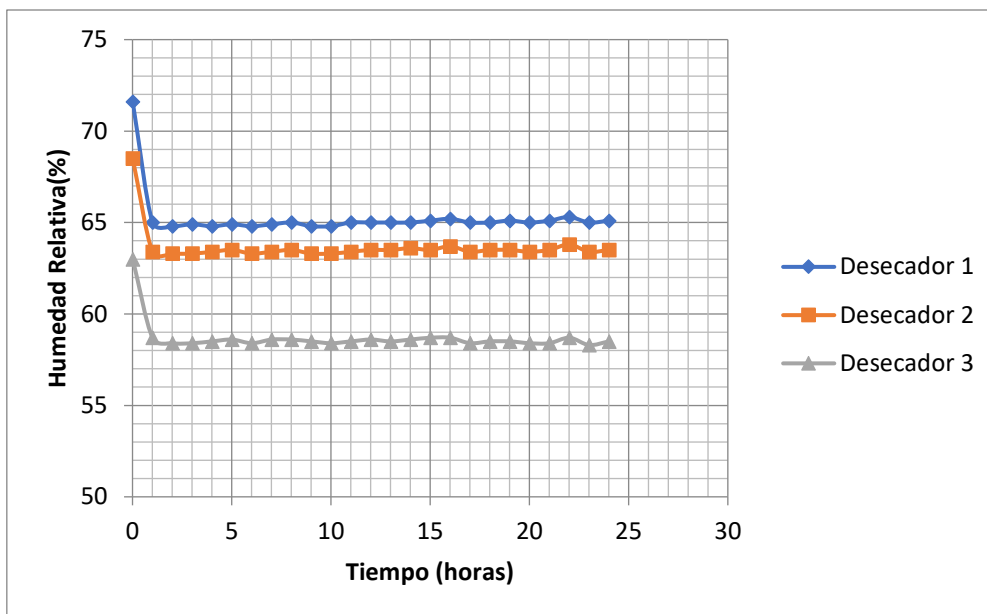


Figura 3. 5: Humedad relativa dentro de cada desecador

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3.6 se presentan las mediciones del peso de cada muestra en función del tiempo, lo que representa la transferencia de masa de vapor de agua que existe a través del film. Al obtenerse un comportamiento lineal en las 3 gráficas de Peso vs tiempo, significa que se realizó una correcta selección de las balanzas, y de los elementos que mantienen el ambiente controlado.

Tabla 3. 6: Medición del peso en cada desecador (gr) vs Tiempo (horas)

Tiempo Transcurrido(horas)	Peso de Muestra Desecador 1	Peso de muestra Desecador 2	Peso de muestra Desecador 3
0	88,245	87,8	89,023
1	88,276	87,807	88,863
2	88,239	87,706	88,849
3	88,193	87,634	88,81
4	88,147	87,565	88,755
5	88,091	87,498	88,708
6	88,04	87,434	88,65
7	87,979	87,37	88,596
8	87,927	87,307	88,539
9	87,883	87,238	88,481
10	87,837	87,166	88,451
11	87,771	87,096	88,404
12	87,726	87,026	88,349
13	87,674	86,957	88,297

14	87,614	86,886	88,242
15	87,562	86,818	88,182
16	87,502	86,757	88,121
17	87,429	86,688	88,071
18	87,382	86,62	88,015
19	87,322	86,556	87,947
20	87,254	86,488	87,886
21	87,192	86,422	87,836
22	87,141	86,357	87,779
23	87,076	86,292	87,72
24	87,014	86,224	87,658

Fuente: Elaboración Propia

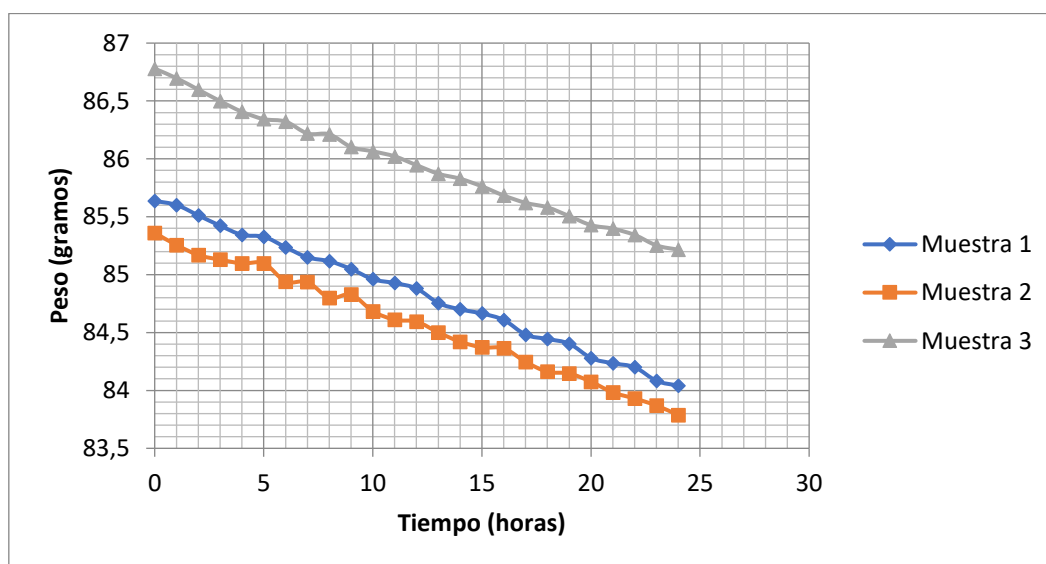


Figura 3. 6: Peso de la muestra 1, 2 y 3 vs Tiempo

Fuente: Elaboración Propia

3.1. Análisis de costos

Para construir este equipo, se cotizaron todos los componentes en el mercado local, considerando el uso de materiales nacionales de buena calidad y personal técnico capacitado para su construcción y supervisión.

Tabla 3. 7: Lista de Materiales utilizados para la construcción del equipo

Materiales	Cantidad	UM	Precio Unitario	Precio total
switch on/ off	1	piezas	\$ 1,10	\$ 1,10
Cable UTP (cantidad en metros)	5	M	\$ 0,50	\$ 2,50
Cable flexible (calibre 12, cantidad en metros)	4	M	\$ 0,50	\$ 2,00
Amarras de cable	1	Paquete	\$ 2,80	\$ 2,80
Cable concéntrico 3x12 THHN (calibre 12, cantidad en metros)	4	M	\$ 1,50	\$ 6,00
Enchufe (Cantidad por piezas)	1	pieza	\$ 2,50	\$ 2,50
Union (Cantidad por piezas)	6	piezas	\$ 1,25	\$ 7,50
Libreta de marcadores del 1 al 9	1	UN	\$ 5,00	\$ 5,00
Espiral para cable (rollo de 10 metros)	1	UN	\$ 8,50	\$ 8,50
borneras H15A 12mm (cantidad por piezas)	3	piezas	\$ 1,50	\$ 4,50
Cable USB tipo A a B (Cable de 3 metros de extensión)	3	piezas	\$ 7,00	\$ 21,00
Espuma de Poluretano Aerosol	3	Piezas	\$ 12,00	\$ 36,00
Acero inoxidable espesor de 2400x1200x0,7 mm	4	Plancha	\$ 75,00	\$ 300,00
Bisagras	2	piezas	\$ 1,00	\$ 2,00
Caja de Control	1	pieza	\$ 40,00	\$ 40,00
Perfil de Caucho (refrigeradora) 2 m	4	UN	\$ 5,00	\$ 20,00
Manija	2	pieza	\$ 6,00	\$ 12,00
Toma Corriente	2	pieza	\$ 3,50	\$ 7,00
Resistencia Calefactora de 200 W	2	pieza	\$ 40,00	\$ 80,00
Varilla de acero inoxidable 6metros por 1/4 (para hacer parrilla)	4	pieza	\$ 30,00	\$ 120,00
switch on/ off	1	piezas	\$ 1,10	\$ 1,10
Cable UTP (cantidad en metros)	5	M	\$ 0,50	\$ 2,50
Cable flexible (calibre 12, cantidad en metros)	4	M	\$ 0,50	\$ 2,00
Amarras de cable	1	Paquete	\$ 2,80	\$ 2,80

Cable concéntrico 3x12 THHN (calibre 12, cantidad en metros)	4	M	\$ 1,50	\$ 6,00
Enchufe (Cantidad por piezas)	1	pieza	\$ 2,50	\$ 2,50
Union (Cantidad por piezas)	6	piezas	\$ 1,25	\$ 7,50
Desecadores	3	UN	\$ 150,00	\$ 450,00
TOTAL				\$ 854,80

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 3.8 se muestran los costos por mano de obra necesarios para realizar este proyecto, considerando que se tiene una planificación correcta de los tiempos de trabajo para optimizar su fabricación.

Tabla 3. 8: Detalle de los costos de mano para fabricar el equipo

Costos de Mano de Obra				
Descripción	Cantidad	Costo/día	Días	Costo Total
Técnico Soldador (en TIG)	1	\$ 80	1	\$ 80
Mecánico Industrial	1	\$ 50	2	\$ 100
Supervisión	1	\$ 60	2	\$ 120
Diseño del equipo	1	-	-	\$ 800
			Total	\$ 1.100

Fuente: Elaboración Propia

La suma los costos obtenidos en las Tablas 3.7 y 3.8, se obtuvo como resultado un costo total de \$1954.40. Este es un valor mucho menor al que se encuentran los equipos importados (mayor a \$3000), lo que significa que resultó una buena inversión el fabricar el equipo.

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones

El equipo de medición de permeabilidad al vapor de agua es de gran ayuda en la investigación científica y didáctica para los estudiantes de Ingeniería en Alimentos, ya que se pueden realizar pruebas en envases de materiales biodegradables que sean fabricados por estudiantes de la Facultad, dando pie al desarrollo de nuevos envases para alimentos, lanzando a ESPOL a competir e invertir en nuevas áreas.

Las ventajas que tiene el diseño sobre otros equipos en los que se realizan ensayos de permeabilidad, es permitir el registro del peso de la muestra sin retirarla del equipo, por lo que los resultados no serían alterados por un cambio de temperatura y/o humedad.

Al no requerir altas temperaturas dentro de la recámara, la fuente de calor seleccionada cumple con el propósito de lograr que los 3 desecadores estén a la misma temperatura, gracias al efecto de los ventiladores que están en las caras laterales del equipo y a que la resistencia fue colocada a una distancia adecuada entre ellos.

Diseño y construcción

- Se ha diseñado y construido un equipo para medir la permeabilidad de películas flexibles al vapor de agua que permite realizar ensayos con 3 muestras simultáneamente, donde se emplearon normas nacionales e internacionales tales como la INEN y la norma ASTM E96-65.
- Los aspectos importantes para la construcción del equipo fueron los cálculos del espesor de la pared de la recámara. En la figura 2.2 se muestra que después de los 20mm de espesor, la pérdida de calor no varía considerablemente, por lo que sería el espesor máximo de aislante a considerar. Por otro lado, en la selección de los ventiladores se

consideró las dimensiones del desecador y que la velocidad del aire sea mayor a 152m/min (Hugh, 1993). Por lo que se escogió un ventilador de 12V de dimensiones: 40mm x 40mm, el cual se encuentra comúnmente en computadoras. Por último, se obtuvo que el flujo volumétrico de aire que puede manejar es de $24 \text{ m}^3/\text{hr}$, por lo que fueron seleccionados para construir el equipo.

- Con la fabricación de los soportes para los ventiladores ubicados en cada desecador, permitió mantener la atmosfera interna necesaria para el desempeño adecuado del equipo.
- Se sobredimensionó la potencia de la resistencia eléctrica en base a la asunción de que la temperatura de cada componente (desecadores, platos, muestra) sólo depende del tiempo, además de que se podría perder más calor de lo estimado a través de las paredes.
- El costo total del proyecto fue de \$1954.40, lo que significa que es un valor mucho menor que se los equipos importados (mayor a \$3000). Por lo tanto, se concluye que resultó una buena inversión la fabricación del equipo, promoviendo con ello el trabajo en grupos multidisciplinarios para desarrollar nuevas tecnologías.

Pruebas de funcionamiento del equipo

- A partir de las pruebas de validación del equipo se determinó que la temperatura y humedad dentro de la recamara se mantuvieron estables con un error del 8%. Lo cual es valor aceptable según la norma ASTM E 96-65
- La temperatura de cada desecador estuvo en un rango de 24.5°C a 26.5°C, encontrándose dentro de los límites aceptables para que las mediciones de permeabilidad no sean afectadas.
- En relación a la humedad relativa dentro de cada desecador, estuvo aproximadamente en un rango 72%, al 63%, que están dentro de los límites permitidos para el ensayo bajo la norma ASTM E96-65 y ASTM E96-65 modificada.

4.2. Recomendaciones

- Para calibrar el equipo y comprobar su funcionamiento, se debe realizar en un área plana como menciona en el Apéndice B.
- Dejar espacio suficiente entre cada componente eléctrico y electrónico, para realizar su conexión de manera cómoda y que puedan ser instalados sin que interfieran entre sí.
- Retirar toda el agua de las copas cada vez que se realice un ensayo, para evitar cualquier derrame sobre los componentes electrónicos, tal como menciona el Apéndice B.
- Operar esta máquina solo si se ha recibido una inducción para el uso del software y una correcta manipulación de los componentes dentro de la recámara. Respetando las normas de seguridad del laboratorio.
- No colocar el equipo cerca de emisores de vibraciones o lugares con temperaturas menores a (18°C).
- Siempre es importante pensar en un futuro, por esta razón se dejó espacio para colocar un desecador extra el cual no afectara a la validación de futuros ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

- 3M. (2017). *3M*. Obtenido de <https://multimedia.3m.com/mws/media/1227527O/espuma-depoliuretano.pdf>
- Amazon. (2017). *Amazon*. Obtenido de <https://www.amazon.co.uk/Thread-Shaped-Electric-HeatingElement/dp/B00DC873W0>
- Carballo, E. (2010). *Eprints*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/2497/>
- Devís, A. (22 de Mayo de 2013). *Packaging*. Obtenido de <http://www.packaging.enfasis.com/articulos/66904-bioplasticosultimas-tendencias-el-envase-alimentario>
- Dipac. (2017). *Dipac Manta*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/planchas-de-acero/planchas-inoxidables>
- Ebmpapst. (2017). *Ebmpapst*. Obtenido de <http://docseurope.electrocomponents.com/webdocs/10b3/0900766b810b3eb9.pdf>
- Fric, R. (8 de Diciembre de 2010). Light source thermal analysis II – Incandescent Lamp. Obtenido de <http://www.posterus.sk/?p=9400>
- García, J. (2013). *UPC*. Obtenido de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/lincan.html>
- Hern, I. (13 de Enero de 2013). *ISSUU*. Obtenido de https://issuu.com/itzamarah/docs/trabajo_final__equipo_de_laboratorio_/18
- Hern, I. (s.f.). *ISSUU*. Obtenido de https://issuu.com/itzamarah/docs/trabajo_final__equipo_de_laboratorio_/18
- Huanchi, R. (2013). *UNAP*. Obtenido de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2449/Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20permeabilidad%20en%20empaques%20pl%C3%A1sticos.pdf?sequence=1>
- Hugh, T. H. (1993). Hydrophilic Edible Films: Modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *Journal of Food Science*, 899-903.
- IECA. (2017). *¿Qué es la inercia térmica?* Obtenido de IECA: https://www.ieca.es/reportaje.asp?id_rep=692
- Incropera, F. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Cuarta ed.). México: Prentice Hall.

- INDURA. (12 de 02 de 2015). *INDURA*. Obtenido de <http://www.indura.com.ec/Web/EC/Biblioteca/Catalogos>
- López, O. (2011). *UNLP*. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento_completo.pdf?sequence=3
- 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.
- Molina, G. (2016). *Instrumentos Técnicos*. Obtenido de http://www.myminstrumentostecnicos.com/sitio/contenidos_mo.php?it =1876
- Muñoz, A. (2015). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/vegabner/determinacion-de-lapermeabilidad-de-los-empaques>
- Nise, N. S. (2004). *Sistemas de Control para Ingeniería*. México.
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas. Un enfoque integrado*. México: Pearson.
- Plaza, P. (Noviembre de 2015). *UPV*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/61475/Plaza%20-%20Control%20de%20la%20temperatura%20en%20sistemas%20de%20calentamiento%20por%20microondas.pdf?sequence=1>
- *Probacssa*. (2015). Obtenido de <http://probacssa.com/59-analiticas>
- *Testlopedia*. (2017). Obtenido de http://www.ptli.com/testlopedia/subs/Water_vapor_graph.asp
- *UNIOVI*. (2014). Obtenido de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2 006.pdf>
- Universidad Politécnica de Cataluña. (s.f.). *Sistemas de Control*. Cataluña, España. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu>
- *Versaperm*. (2014). Obtenido de http://www.versaperm.com/applications/Permability_measurements_I ab.php
- White, F. M. (2008). *Fluids Mechanics*. Fernandez: INTERAMERICANA DE ESPAÑA. S. A. U.

APÉNDICE

A

Part Number	Airflow m ³ /h	Airflow CFM	Voltage VDC	Voltage Range VDC	Noise dB(A)	Sound Power Bel	Bearings	Power W	Speed RPM	Temp range °C	Length mm	Width mm	Depth mm	Connector
412J/2HH-RS0	24	14.1	12	8...13.5	46	6.1	Ball	3.30	13000	-20...+60	40	40	25	Molex 22-01-2035
622/2N-RS0	40	23.5	12	8...15	35	4.7	Ball	1.90	6100	-20...+70	60	60	25	Molex 22-01-2035
612J/2H-RS0	70	41.1	12	7...13.6	53	6.4	Ball	7.70	11700	-20...+70	60	60	32	Molex 22-01-2035
8212J/2N-RS0	132	77.7	12	7...13.6	55	6.6	Ball	10.00	8400	-20...+70	80	80	38	Molex 22-01-2035
8212J/2H3-RS0	190	111.8	12	6...13.8	66	7.3	Ball	25.00	12000	-20...+70	80	80	38	Molex 22-01-2035
3412N/2-RS0	84	49.4	12	8...15	32	4.7	Ball	2.20	2700	-20...+70	92	92	25	Molex 22-01-2035
3412N/2HH-RS0	102	60	12	8...13.2	39	5.1	Ball	2.90	3250	-20...+60	92	92	25	Molex 22-01-2035
3212J/2H-RS0	146	86	12	7...15	55	6.4	Ball	9.00	6800	-20...+70	92	92	38	Molex 22-01-2035
4412F/2-RS0	170	100.1	12	8...12.6	43	5.3	Ball	5.30	2900	-20...+60	119	119	25	Molex 22-01-2035
4412FN/2H-RS0	225	132.4	12	7...13.2	55	6.7	Ball	12.00	5400	-20...+70	119	119	25	Molex 22-01-2035
4112N/2H4-RS0*	355	208.9	12	9...14	67	7.4	Ball	32.00	6800	-20...+65	119	119	38	Molex 22-01-2035

Características de ventiladores

Fuente: (Ebmpapst, 2017)

ACERO INOXIDABLE

PLANCHAS ACERO INOXIDABLE

Norma: AISI 304

Especificaciones Generales

DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301

ESPEORES desde 0.40-15mm

DIMENSIONES 1220 x 2440mm (estándar)
1220 x otros largos (especial)



Descripción: Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar con acabado ASTM 2B y 1.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg/mm ²	Psi	Kg/mm ²	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160

Dimensiones y propiedades de la plancha de acero inoxidable 304

Fuente: (Dipac, 2017)

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm2	I cm4	W cm3	i cm3
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

Anexo 1: Dimensiones de tubos cuadrados de Acero Galvanizado

Fuente: (Dipac, 2017)

Datos técnicos

Rendimiento / Volumen:		40 - 45 litros de espuma (750 ml) 25 - 30 litros de espuma (500 ml) 13 - 15 litros de espuma (250 ml)
Gravedad específica (prod expandido):		20 - 25 kg/m ³
Tiempo secado al tacto:	18°C/60% RH	15 - 20 min
Tiempo endurecimiento:		1,5 - 5 hrs, dependiendo de la T°C y humedad
Temperatura de uso:		-40°C to +90°C
Absorción de agua:	DIN 53428	max. 1 vol. %
Resistencia a compresión:	DIN 53421	0,04 - 0,06 MPa
Resistencia a tensión:	DIN 53455	0,06 - 0,08 MPa
Elongación:	DIN 53455	25%
Conductividad térmica:	DIN 52612	0,039 W/(m K) at 20°C
Clase inflamabilidad:	DIN 4102 part 1	B3

Anexo 2: Ficha técnica de la espuma de poliuretano

Fuente: (3M, 2017)

APÉNDICE

B

GUIA DE USO Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Generalidades

Todo equipo de laboratorio debe permitir realizar pruebas con la precisión y exactitud requeridas, variables que dependen del tiempo de vida útil de sus componentes, el entorno, la rigurosidad del trabajo que se realiza en él, etc.

El equipo construido sirve para realizar mediciones de la permeabilidad al vapor de agua de empaques para uso alimenticio. Este tipo de ensayos requiere un

ambiente húmedo, y agua en estado líquida por lo que se debe tener precaución de no causar ningún derrame sobre los componentes internos.

Modo de Uso Procedimiento

1. Encender el Equipo (ventiladores, sensores y resistencias).
2. Realizar una toma de datos de temperatura para asegurar su funcionamiento máximo 5 minutos.
3. Colocar las copas en la balanza de cada desecador asegurándose de que cada copa contenga 5ml de agua.
4. Iniciar el software para la toma de datos.
5. Cerrar la tapa de la recámara.

Precaución

- La estructura debe estar nivelada perfectamente ya que las balanzas son de alta sensibilidad.
- El equipo no debe ubicarse cerca de fuentes emisoras de vibraciones, ya que éste es sensible a ellas.
- El equipo no debe ubicarse en un ambiente con temperaturas menores a 21°C ni superiores a 25°C.
- Ningún estudiante puede operar el equipo sin la guía de un operador certificado por el Profesor guía del Laboratorio.
- No colocar objetos pesados sobre la tapa de la recámara.

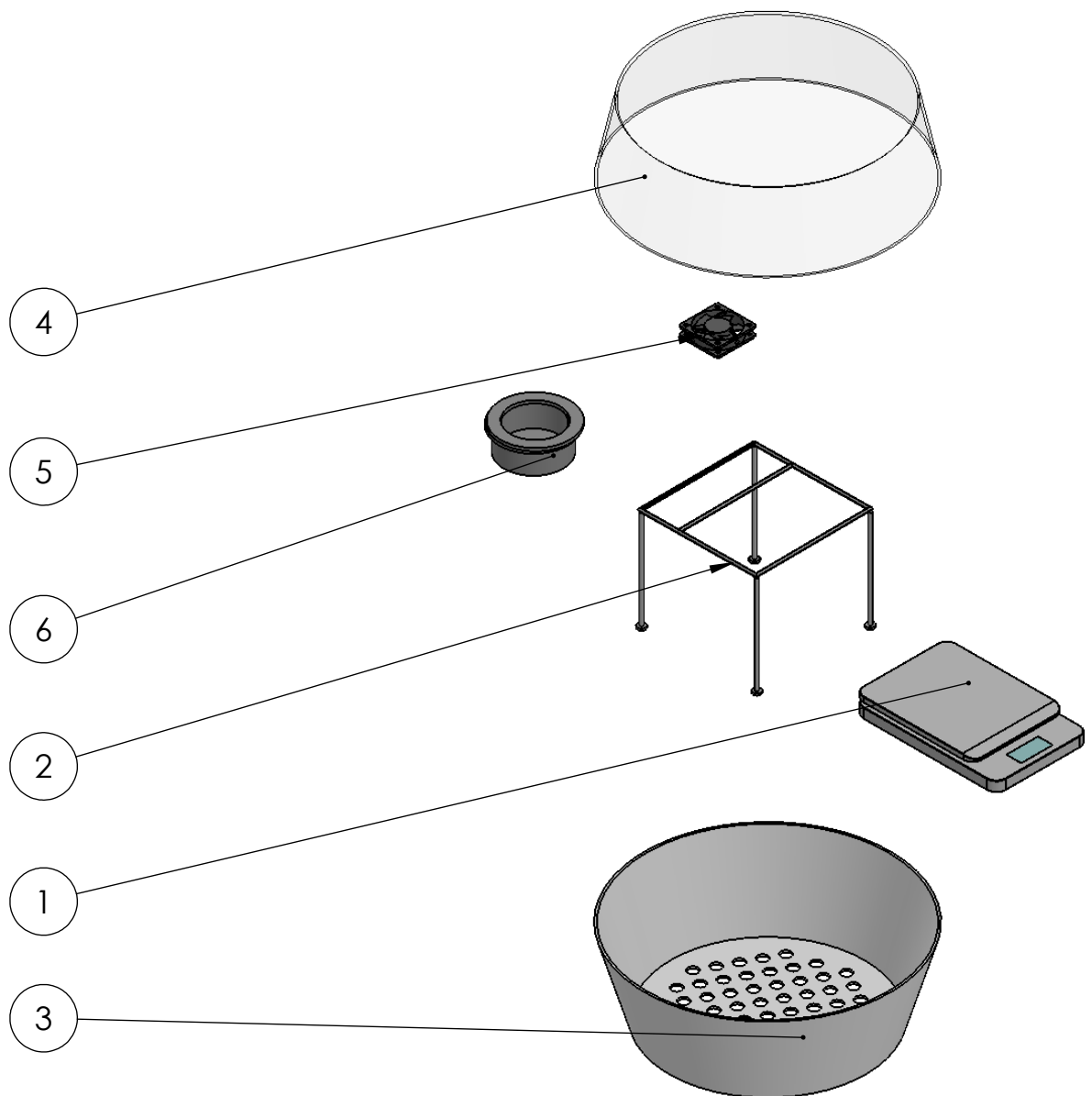
Mantenimiento

- Cambiar los perfiles de caucho cada 2 años, ya que puede deformarse y permitir el ingreso de aire exterior, alterando la humedad y temperatura dentro de la recámara.
- Realizar una limpieza una vez al mes de los ventiladores con una brocha ya que la acumulación de polvo podría afectar su funcionamiento.
- Retirar toda el agua dentro del humidificador cada vez que se hace un ensayo, para evitar cualquier derrame sobre los componentes electrónicos.
- La base de agua de las copas que van dentro de los desecadores también debe ser retirada en cada ensayo.

APÉNDICE

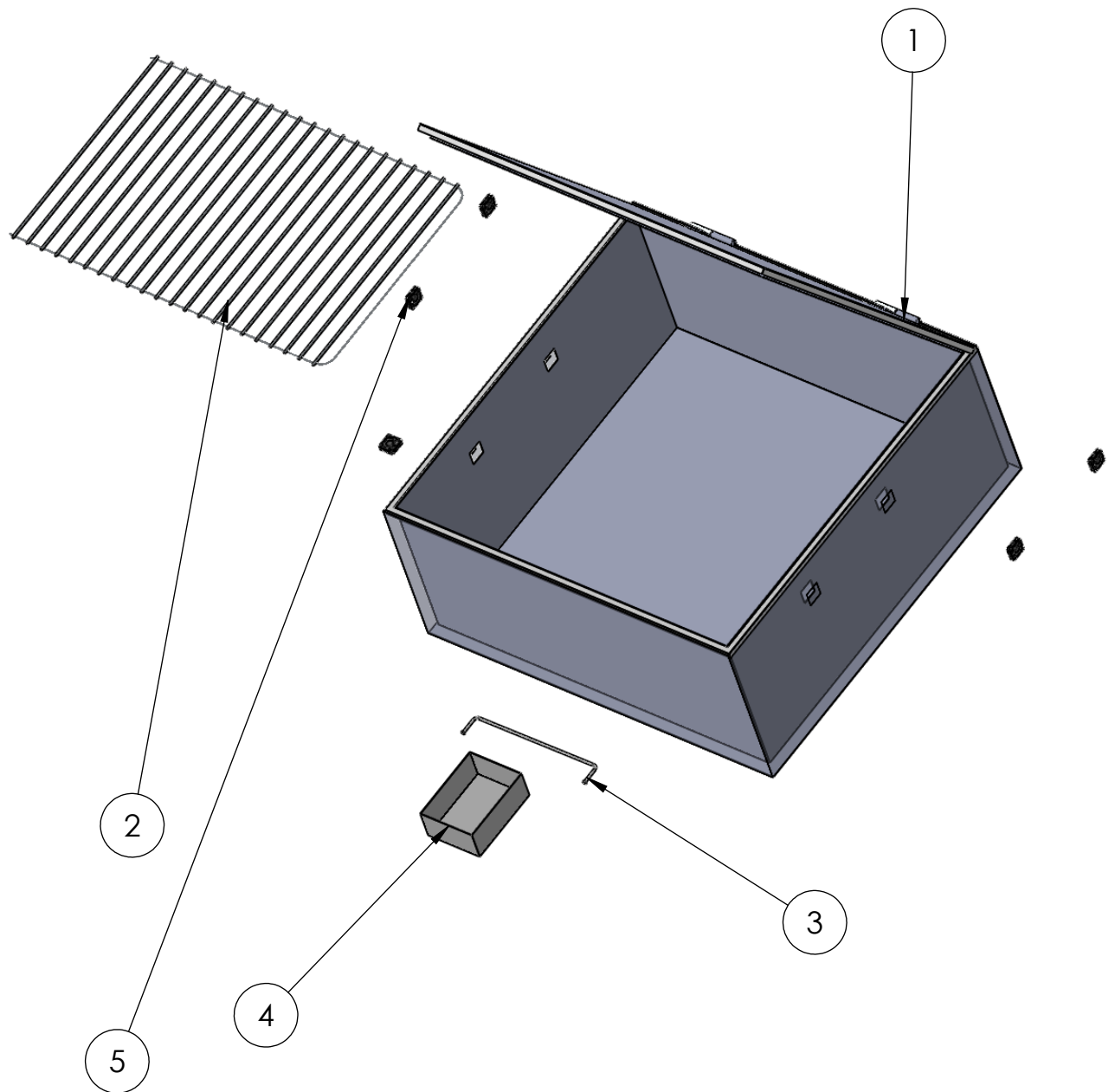
C

PLANOS



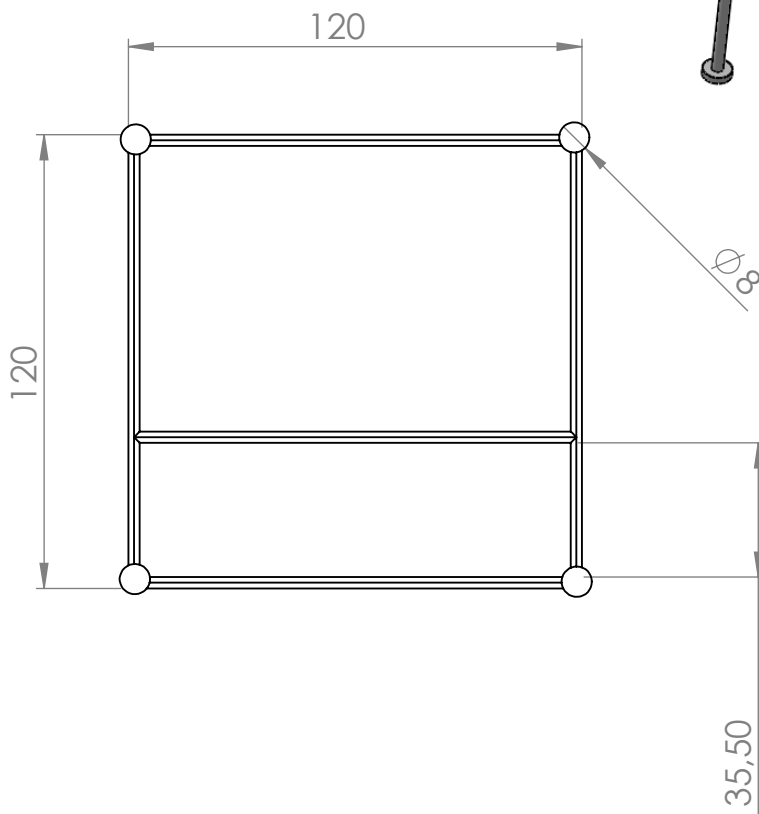
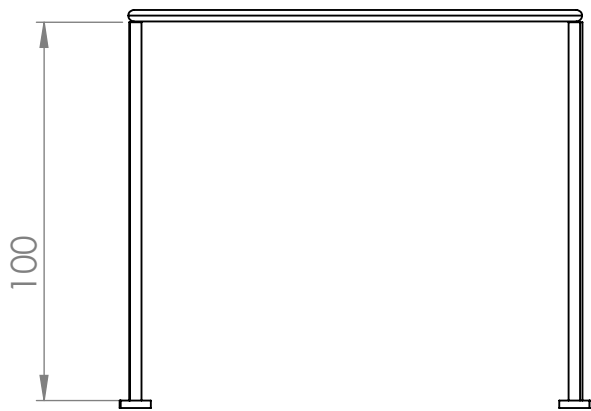
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Balanza	Balanza digital +/-0.001g	1
2	Soporte para ventilador	Acero Inoxidable AISI 304 de 6mm	1
3	Base desecador		1
4	Tapa desecador		1
5	Ventilador de PC	12V Dimensiones:40mm x 40mm	1
6	Plato	ASTM E95-96	1
7	Tapa plato	ASTM E95-96	1

	NOMBRE		TÍTULO:	
DIBUJ.	Juan Carlos Loayza		Desecador	
VERIF.	Dra. Emérita Delgado			
APROB.	Dra. Emérita Delgado			
MAT:	Materia Integradora	MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
		PESO:	3	
			ESCALA:1:5	HOJA 3 de 6



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Carcasa equipo de permeabilidad	Acero Inoxidable 304 de 1mm	1
2	Parrilla	Acero Inoxidable 304 de 6mm	1
3	Resistencia	Tipo "C" de 200W	1
4	Recipiente para agua	Dimensiones 120mmx120mmx40mm	1
5	Ventilador de PC	12 V-Dimensiones: 40mm x 40mm	5

	NOMBRE		TÍTULO:		
DIBUJ.	Juan Carlos Loayza		Ensamble recámara		
VERIF.	Dra. Emérita Delgado				
APROB.	Dra. Emérita Delgado				
MAT:	Materia Integradora	MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	4	A4
		PESO:	ESCALA: 1:15		HOJA 4 de 6



Nota: Soldar cada varilla lisa de 6mm por el proceso TIG

	NOMBRE		TÍTULO:		
DIBUJ.			Soporte para ventiladores		
VERIF.	Dra. Emérita Delgado				
APROB.	Dra. Emérita Delgado				
MAT:	Materia Integradora	MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	6	A4
		PESO:	ESCALA: 1:15		HOJA 5 de 6