

# **CONSTRUCCIÓN DE INCUBADORA PARA MICROBIOLOGÍA Y TEJIDOS VEGETALES**

## **CONSTRUCTION OF AN INCUBATOR FOR MICROBIOLOGY AND PLANT TISSUE**

### ***Emmanuel Vega Negrete***

Tecnológico Nacional de México / ITJMMPH, México  
*emmanuel.vega@tamazula.tecmm.edu.mx*

### ***Jorge Alberto Cárdenas Magaña***

Tecnológico Nacional de México / ITJMMPH, México  
*jorge.cardenas@tamazula.tecmm.edu.mx*

### ***Guadalupe Ruiz Ibarra***

Tecnológico Nacional de México / ITJMMPH, México  
*guadalupe.ruiz@tamazula.tecmm.edu.mx*

### ***Sergio Sandoval Pérez***

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán, México  
*ssandoval@itcg.edu.mx*

**Recepción:** 2/noviembre/2021

**Aceptación:** 21/diciembre/2021

## **Resumen**

En esta investigación se muestra la solución a una problemática de infraestructura que se padece en muchas instituciones de nivel superior que cuentan con laboratorio para la realización de prácticas e investigaciones, donde se requieren de incubadoras de mesa o piso para elaboración de cultivo en medio líquido de bacterias y hongos principalmente. En nuestra institución se cuenta con incubadoras de mesa para realizar crecimiento de microorganismos, que sólo permiten el control de temperatura, y contienen placas de agitación para procesos de homogenización de soluciones, pero no se tiene una incubadora que realice estas funciones en un solo equipo de incubación. Por lo tanto, se diseña la construcción de una incubadora donde se realiza el cultivo de microorganismos y tejidos vegetales bajo condiciones requeridas como temperatura controlada, condiciones de oscuridad (baja iluminación continua) y al mismo tiempo la agitación de las muestras al implementar un sistema de control automático.

**Palabras Clave:** Agitación, incubadora, microbiología, sistema de control, tejidos vegetales.

## **Abstract**

*In this investigation shown, comes to resolve a problematic infrastructure that suffer many superior level institutions that have a laboratory for the realization of practices and investigations, where they require floor or table incubators for the elaboration of culture in liquid media of bacteria and chiefly fungi. In our institution, we count with table incubators for the increase of microorganisms, that solely permits us to control the temperature, and stir plates for homogenization of solutions process, but it does not count with incubators that realize these functions in a single incubation equipment. Construction is done from an incubator where we could realize the culture of microorganisms and plant tissue under required conditions as controlled temperature, dark conditions (under continuous illumination) and same time the agitation of the samples implementing an automatic control system.*

**Keywords:** *Agitation, control system, incubator, microbiology, plant tissue.*

## **1. Introducción**

Los laboratorios de microbiología y biotecnología de plantas requieren tener el equipo necesario para desarrollar el crecimiento de microorganismos y de los tejidos vegetales. En la mayoría de las instituciones de educación superior éstas dos áreas de estudio vinculan sus investigaciones y en ocasiones no cuentan con el equipo para trabajar con un modelo u otro [Bernardes, 2020].

Es necesario que los laboratorios de microbiología estén equipados con una incubadora fija y otra de agitación orbital para el crecimiento de bacterias y hongos en medios sólidos o semisólidos y líquidos, respectivamente. Ambas incubadoras son indispensables para: el aislamiento de microorganismos, realizar curvas de crecimiento, estandarizar protocolos a pequeña escala para fermentación, en lo que respecta al uso de tejidos vegetales, esta incubadora particularmente en el uso de su funcionamiento como agitación, temperatura y luz permite el proceso de cultivos de explantes vegetales y de células en suspensión para la obtención de biomasa o

metabolitos secundarios respectivamente. Además de la aplicación de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) donde se indican las condiciones de crecimiento para el análisis microbiano en alimentos (NOM-210-SSA1-2014).

La mayoría de las incubadoras adquiridas en los laboratorios son de importación y ninguna de ellas tiene la capacidad para desarrollar el crecimiento tanto de microorganismos como tejidos vegetales en condiciones de ambiente de luz continua o periodos combinados de luz/oscuridad. Estas dos condiciones son importantes para laboratorios pequeños donde se trabaja tanto en microbiología como tejidos vegetales.

El objetivo principal de la investigación es realizar la fabricación del prototipo para pruebas de laboratorio mediante el diseño 3D, análisis térmico de las diferentes partes del prototipo implementando un circuito de control de temperatura y velocidad de agitación, además de proteger el código fuente que se desarrolle para solucionar la problemática en el registro de derechos de autor, ante la instancia de Indautor. Así como proteger el prototipo construido en el registro de propiedad intelectual, previa búsqueda pueda quedar dentro de alguno de los apartados, ya sea: patente, modelo de utilidad o diseño industrial. Para ello es necesario implementar también un sistema de control que permita manipular estas condiciones en un mismo prototipo que contenga agitación y regulación de la temperatura, y con ello se resuelva la problemática detectada [Liang, 2021].

Para la implementación del sistema de agitación orbital se optó por construir un sistema de mecanismo de retorno rápido (Excéntrico) cuya característica principal consiste en realizar repeticiones repetitivas a lo largo de una línea de montaje, por ello resulta conveniente usar un motor de velocidad constante. Esta pieza fundamental para el mecanismo consta básicamente en unas piezas de formas geométricas diversas en la que el giro del eje no coincide con su eje geométrico y que la distancia entre ambos se denomina excentricidad [Shigley, 1988].

Los sistemas ON/OFF son sistemas físicos que consideran solamente dos estados de operación. Sin necesidad de utilizar un ejemplo en ambiente industrial, consideremos un SWITCH de encendido de una habitación. Si está apagado, no hay luz en la habitación. Si está prendido, hay luz. Esta lógica corresponde más bien

a un sistema de lazo abierto, aunque, dependiendo de la lógica de control, puede ser también implementada dentro de un lazo cerrado [Morales, 2013].

Un sistema de control tiene como objetivo influir en el funcionamiento de un proceso, con la finalidad de alcanzar un comportamiento deseado del mismo. En la actualidad, los sistemas de control se encuentran presentes en nuestra vida diaria, por ejemplo, cumplir diferentes actividades siguiendo normas o reglas que están sujetas a la tarea a realizar [Mejía, 2019]. Un sistema de control se encuentra constituido por tres componentes básicos, que son: los objetivos de control u entradas, los componentes del sistema de control, y los resultados o salidas. En general, un sistema de control permite tener un dominio sobre las salidas de un proceso mediante la manipulación de las entradas a través de los elementos del sistema de control [Kuo, 1996]. En el prototipo de la incubadora se requieren tres parámetros para establecer un sistema de control que permita administrar velocidad de agitación, temperatura e iluminación en un mismo proceso, para ello se establece la selección de un control del tipo ON/OFF [Schertenleib, 2019], dentro del cual la variable de temperatura sería el parámetro por calibrar en el comportamiento, ya que la iluminación y la velocidad de agitación se pueden condicionar desde el inicio del proceso. Esta variable de temperatura oscilará con un valor cambiando continuamente entre el valor ajustado para el proceso, comenzando con un valor bajo y se irá incrementando hasta que sobrepase el valor ajustado y paulatinamente fluctúa valores arriba y abajo de la señal, hasta que se mantenga en el valor deseado. Para el caso de este prototipo propuesto se consideran las mediciones cuando la medida de temperatura se incrementa sobre el valor deseado, donde se desconecta una resistencia que emite calor y si la temperatura baja sobre el valor deseado, se energiza el circuito que alimenta a la resistencia y un ventilador se encarga de compartir el calor generado dentro del sistema.

## **Problemática**

Las incubadoras para agitación de mesa o piso son equipos indispensables en los laboratorios de microbiología para el cultivo en medio líquido de bacterias y hongos, principalmente. Este tipo de equipo tiene un costo muy elevado, la razón

de su precio se debe a que se caracterizan porque presentan algunos sistemas de control dedicados a mantener una agitación que va desde 1 hasta 300 rpm, otra de las funciones de estos sistemas se precisa en mantener un rango de temperatura interior dentro de los parámetros de 20 hasta 40 °C; y la correspondiente ventilación del sistema. Los microorganismos que se incuban dentro de ella deben hacerlo mediante condiciones de oscuridad y aunque el equipo tenga lámparas en su interior, éstas sólo se activarán cuando abra la puerta. En ocasiones se requieren procedimientos de incubado de microorganismos o de tejidos vegetales dentro de un ambiente que cumpla con baja iluminación y en el mismo proceso mantenerse en un estado de total oscuridad para la producción de algún metabolito que se bio-intetiza dentro de esas condiciones. Las incubadoras de agitación que se conocen actualmente en el mercado aplicadas para crecimiento microbiano no cuentan con esta característica. Por lo tanto, al diseñarse una incubadora que permita el cultivo de células vegetales que establezcan las condiciones mencionadas sería una ventaja para cualquier laboratorio de microbiología que realice ensayos de biotecnología vegetal. En el estado del arte se ha identificado que existen algunas incubadoras que pueden hacer los estudios requeridos para aplicarse a este tipo de circunstancias, todas provienen de importación, y esto limita mucho su adquisición y uso en el territorio nacional debido a las innumerables desventajas que pueden generarse, la primera de ellas es el alto precio, además al comprarse en el extranjero se obtienen dos problemas emergentes, el primero de ellos un equipo que no se ha conservado físicamente y el otro al llegar incompleto, además si alguna pieza o elemento no funciona, su refacción es más difícil de conseguir que el mismo equipo. Esta investigación consiste en diseñar una incubadora con tecnología mexicana, más económica y que reúna las características para el crecimiento de microorganismos o tejidos vegetales en condiciones de ambiente controlado y combinado de luz y ambiente de oscuridad.

## **2. Métodos**

Actualmente en el mercado existen una gran variedad de incubadoras aplicadas exclusivamente para microbiología, y otras para incubación de tejidos vegetales y

muy pocas para la incubación de ambos tipos de organismos. Las condiciones son similares a excepción de la aplicación de la luz en el proceso, ya que sólo la requieren algunos tipos de ensayos con hongos y los ensayos con tejidos vegetales. Las bacterias y los hongos típicamente se incuban en la oscuridad. En ocasiones es necesario incubar hongos en presencia de luz continua durante 8 horas o más y es cuando la mayoría de las incubadoras no tienen esta función adicional donde se mantiene fija la temperatura en presencia de luz, ya que esta función es una característica de las incubadoras de tejidos vegetales. Las incubadoras de tejidos vegetales pueden ser estáticas o con movimiento, en ocasiones se requiere con luz las 24 horas y en otras solo 16/24 horas, a temperaturas alrededor de 25 °C.

En nuestra institución como en muchas otras existen ingenierías o licenciaturas donde se trabajan ambos modelos, el microbiano y la biotecnología de plantas a través de tejidos vegetales, en donde las prácticas de laboratorio, tesis, investigaciones, etc., requieren de alguna incubadora de este tipo. La elaboración de un prototipo de una incubadora para crecimiento microbiano con agitación y cultivo de tejidos vegetales puede ser un equipo indispensable para los laboratorios pequeños de las instituciones foráneas del país y generado con tecnología mexicana. Otra ventaja es que ocupará poco espacio el tener incluidos dos tipos de incubadoras en uno, una incubadora con agitación para microbiología y una incubadora de cultivos vegetales [Libutti, 2018].

Para este proyecto se implementará una metodología de investigación aplicada; al basarse en dos tipos de incubadoras con funcionamiento diferente y se adaptará en una sola.

También se propone una investigación del tipo cuantitativo, basada en un proceso secuencial con un alcance de tipo exploratorio en un diseño de investigación de tipo experimental; enfocado a experimentos puros, ya que se medirán variables dependientes aplicando un control [Katsuhiko, 2010] y validando resultados mediante una manipulación intencional como se muestra en figura 1:

- Estudio del estado del arte. Investigación y análisis de los dispositivos de control, incubadoras y avances tecnológicos relacionados con nuestra propuesta (Búsqueda de información).



Figura 1 Metodología (etapas del proceso para el proyecto).

- Investigación sobre requerimientos de los parámetros de la incubadora. Investigación relacionada sobre el principio de funcionamiento de las incubadoras y shaker para tejidos vegetales y crecimiento microbiano. Obtener información sobre el funcionamiento de elementos electrónicos para construir los dispositivos de control. Obtener información sobre el tipo de material que se requiere para construir la incubadora de acuerdo a normas oficiales.
- Diseño de incubadora en software tipo CAD. Dibujo en vista 3D de la propuesta del prototipo, elaboración de despiece de cada uno de sus elementos y diseño de ensamblado y adaptación a circuitería electrónica.
- Cotización y construcción de prototipo. Elaboración de lista de materiales para construcción, compra de material, trazado y corte de material, ensamble de piezas y finalmente pruebas de aislamiento.
- Diseño de sistema control de las variables propuestas. Consiste en el análisis del comportamiento de las variables del sistema de control para determinar la técnica de control a implementar. Posteriormente el diseño y desarrollo de la circuitería electrónica, al cumplir con el sistema, diseño y desarrollo de circuitería en una tarjeta electrónica. Después se realizan pruebas de funcionamiento de los sistemas de control.

- Pruebas de funcionamiento. Consiste en la aplicación de la incubadora a tejidos vegetales y analizar sus resultados, posteriormente con muestras de microorganismos. En esta etapa el orden de las pruebas puede cambiar.
- Pruebas de puesta en marcha del prototipo. En esta etapa se realizan los procedimientos de inicio, ajustes necesarios de funcionamiento y se procede a hacer un manual de usuario.

La anterior metodología también consiste en proponer un control que ilustra la figura 2, para el prototipo de incubadora que permita controlar los parámetros de temperatura, velocidad de agitación al garantizar la estabilidad de los siguientes parámetros de agitación (0 - 125 RPM) y temperatura (60 °C max) y luminosidad para asegurar el comportamiento del crecimiento microbiano y el de tejidos vegetales.

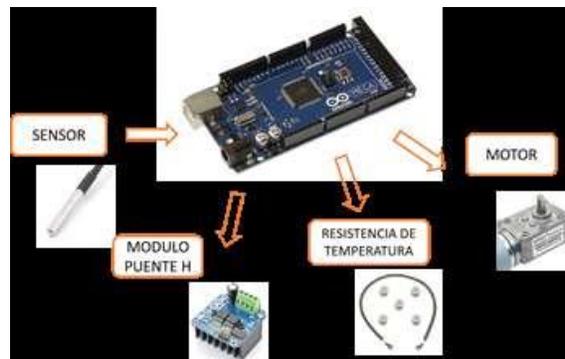


Figura 2 Esquema de elementos utilizados para el control.

Para el monitoreo de datos de las variables antes mencionadas se cuenta con una programación en software ARDUINO (IDE) [Tojeiro, 2015], que contiene placas de desarrollo de código abierto para construir dispositivos digitales que puedan detectar y controlar variables, donde esta filosofía de control se aplica al prototipo, utilizando una placa ARDUINO MEGA 2560 que cuenta con 54 pines de entradas/salidas, con la opción de utilizar 15 como salidas PWM, también cuenta con 16 entradas analógicas, un oscilador de 16 MHz y una conexión USB que facilita la comunicación y alimentación de la placa.



Figura 3 Placa ARDUINO MEGA 2560.

Parte principal del desarrollo del proyecto es la placa de programación mencionada en la figura 3, que en ella consta el desarrollo de la codificación para el control de temperatura, velocidad de agitación de forma orbital y tiempo de operación, donde el usuario por medio de un interruptor tipo ENCODER realiza el ajuste de los parámetros deseados y que los puede visualizar por medio de una pantalla LCD. El funcionamiento de lo antes mencionado comienza con un letrero con el nombre de la institución durante un tiempo de 5 segundos, posteriormente se calibran los parámetros deseados, ya que se pueden desplegar 5 menús cambiando entre cada uno de ellos por el interruptor antes mencionado:

- Menú 1: Muestra datos iniciales (TIEMP min, VEL RPM, TEMP °C).
- Menú 2: Ajuste de temperatura deseada por el usuario.
- Menú 3: Captura de velocidad deseada por el usuario.
- Menú 4: Captura de tiempo de operación de incubadora deseada por el usuario.
- Menú 5: START.

Al iniciar la operación de calentamiento el voltaje aplicado a la resistencia debe ocasionar que en la misma se logre obtener la temperatura deseada, cuyo valor se configura en el menú 2 para que al llegar a la temperatura programada se proceda a iniciar con el encendido del motor para activar el sistema de agitación y paralelamente inicia el tiempo del proceso deseado. En la figura 4 se puede observar la implementación de circuitería electrónica.

Para la fase de diseño, se comenzó con el desarrollo del espacio de trabajo del prototipo, para ello se estuvo realizando el análisis de medición de muestras en

matraces y observar el espacio disponible de trabajo, obteniendo las siguientes dimensiones en cm (ancho: 40, fondo: 34 y alto: 34) en la figura 5 se puede apreciar el diseño de esta parte.



Figura 4 Implementación de circuitería electrónica.

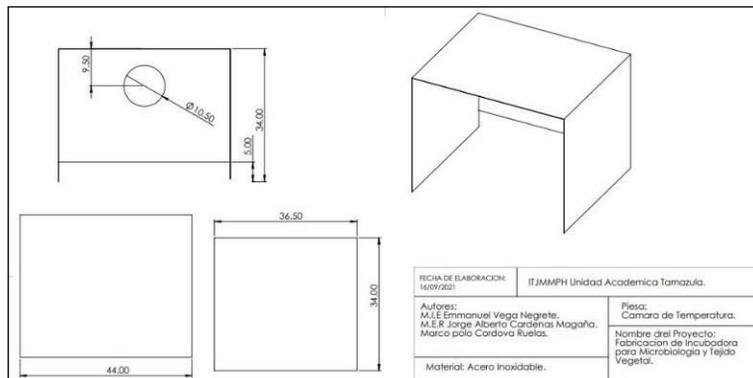


Figura 5 Cámara de temperatura del prototipo.

Partiendo del desarrollo del espacio de trabajo, se procede a valorar y a desarrollar el diseño completo del prototipo mostrado en la figura 6 que nos permita la posibilidad de realizar la incubadora en lámina de acero inoxidable que cuenta con alta resistencia a la corrosión, altas temperaturas, fuerza y dureza para el funcionamiento del equipo y así poder sacar los trazos y dimensiones para su fabricación. También una vez teniendo el diseño completo de la incubadora, se realizó el análisis térmico en el software CAD que se muestra en figura 7 para verificar y ver el comportamiento de la temperatura en interior de las paredes de la cámara y validar el material con el que se fabricó la incubadora teniendo como

resultado uniformidad de color azul que nos indica la falta de energía en todas las paredes de la cámara.

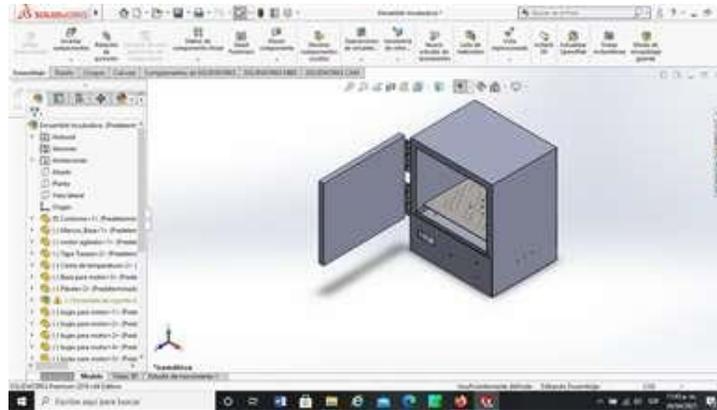


Figura 6 Diseño en software de incubadora.

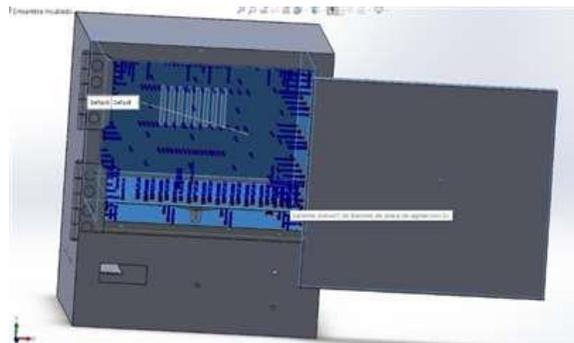


Figura 7 Análisis térmico en software CAD.

El principal objetivo de este proyecto fue adaptar en una incubadora un sistema de agitación orbital, para poder tener un equipo con estas funcionalidades y de tecnología económica en los laboratorios de nuestra institución. Es por ello que para cumplir con lo antes mencionado se implementó un mecanismo excéntrico acoplado a un servomotor montado en una base por debajo de la cámara de temperatura, con el fin regular la velocidad de agitación como se muestra en la figura 8.

Se realizó el análisis del cálculo para la potencia de la resistencia adecuada que nos permita obtener una temperatura uniforme de acuerdo con las dimensiones antes mencionadas, el proceso requirió que se fuera calibrando la temperatura con respecto a la resistencia como lo muestra la ecuación 1.

$$P = I^2 \times R \quad (1)$$

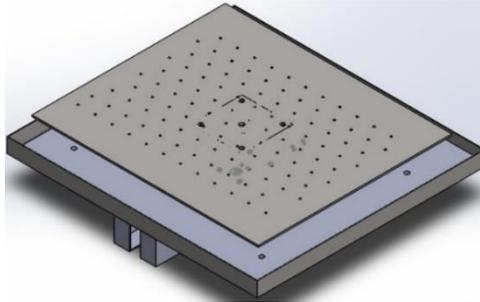


Figura 8 Ensamble de sistema de agitación orbital.

Para la ecuación anterior se desarrollaron pruebas experimentales para conocer los parámetros de la potencia y la temperatura adecuada, cuidando la vida del material de la resistencia y uniformidad en 5 puntos de muestreo dentro de la cámara de temperatura. Mediante este análisis se logró obtener el valor de la resistencia de 85  $\Omega$ , que genera una corriente de 1.5 A, por lo tanto, una potencia de 190 W. La figura 9 hace mención de los puntos de referencia en la prueba realizada.

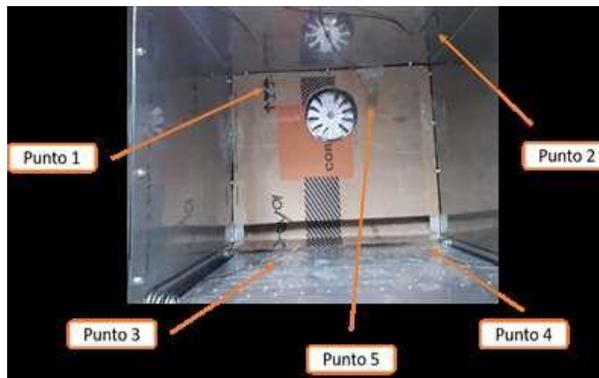


Figura 9 Análisis de homogenización de temperatura.

Para poder conservar la temperatura en el interior de la cámara y evitar que la misma salga por la lámina de acero inoxidable se realizó el llenado de un aislante térmico de fibra mineral con malla hexagonal en ambas paredes que aseguran una perfecta estabilidad hasta 650  $^{\circ}\text{C}$  de temperatura con las características mostradas en la tabla 1 [RATSA, 2021].

Tabla 1 Características de aislante térmico de cámara de temperatura.

Densidad nominal	4 Lbs/pie3
Límite de temperatura	1,200 °F (650 °C) Temp. de operación recomendada de 200 °C a 300 °C
Dimensiones por placa	Colchas de 24" x 48". De espesores de 1", 2", 3" y 4"
Recubrimiento	Malla de gallinero (Tela Hexagonal) en ambas caras.
Características	ASTM C 612-00, Tipo IV A.
Mínimo de resistencia a la compresión	ASTM C-165 psf al 10%: 50
Propagación de flama	25
Desarrollo de humo	0
Porcentaje de perdigón (shot) máximo	20%

El estado actual de prototipo se encuentra terminado y funcional donde el sistema de control es estable para regular la temperatura y controla la velocidad para la base de agitación como se muestra en la figura 10.



Figura 10 Construcción de prototipo con control.

### 3. Resultados

En este proyecto se logró realizar la fabricación de una incubadora de acero inoxidable con un aislante térmico de colcha de fibra mineral con malla hexagonal en ambas caras, implementando un control de temperatura, velocidad de agitación y tiempo de operación como se muestra en la figura 10.

Con el prototipo se obtuvo el sistema de calentamiento en la cámara de temperatura observando las diferentes direcciones del aire por medio de una hélice con aspas acoplada a un motor, con el fin de que por medio de un sistema de convección forzada se logra hacer circular el aire y direccionarlo a la resistencia de temperatura como se muestra en la figura 11.



Figura 11 Estrategia para sistema de forzado de temperatura.

Con este análisis de dirección de flujo de aire y la respectiva comprobación de la conexión forzada se logró hacer que el aire pasara de un punto a otro, logrando direccionar el aire caliente por la parte superior de la placa de agitación, tal como se puede ver en la figura 12, donde se muestra la placa en la cual se colocarán las muestras para los análisis de laboratorio, así como la distribución óptima de la temperatura en el interior de la cámara.



Figura 12 Sistema de forzado de la temperatura.

Para realizar el análisis de estabilidad de la temperatura en diferentes puntos de la cámara, se realizó el desarrollo del estudio mediante la colocación de sensores en 5 puntos estratégicos para comprobar el funcionamiento del sistema de temperatura forzada, donde observamos en la figura 13, el comportamiento de la temperatura, además se muestra el sistema de agitación, que es la parte de innovación principal del proyecto, este sistema consta de una placa metálica compuesta con orificios para colocar las muestras y por el costado se presenta un sistema de amortiguación, dicha placa de agitación está separada por una placa de bases, permitiendo con ello evitar fugas de temperatura.



Figura 13 Análisis de homogenización de la cámara de temperatura.

Para la visualización de las variables que se muestran en la figura 14, se presentan los menús antes mencionados en la metodología donde por medio de un interruptor tipo ENCODER se puede introducir los datos por el usuario para temperatura, velocidad de agitación, tiempo de proceso e inicio de operación de la incubadora.



a) Menú inicial de las diferentes variables.



b) Menú para ajuste de temperatura.



c) Menú para ajuste de velocidad de agitación.



d) Menú para ajuste de tiempo de proceso.



e) Menú para inicio de proceso

Figura 14 Menús de pantallas para calibración, (continuación).

Para el análisis del control ON-OFF se realizaron pruebas de monitoreo para encontrar en forma gráfica la activación y desactivación del control, el

comportamiento está en a  $\pm 1$  °C con una temperatura de referencia, como se muestra en la figura 15. En las pruebas de calibración, ajustes del control y uniformidad de temperatura en interior de la cámara se realizó la estrategia.



Figura 15 Comportamiento de control ON-OFF.

Por medio de muestras de agua en vaso de precipitado y matraz Erlenmeyer distribuidas en la mesa de agitación con el fin de monitorear la temperatura en cada una de ellas con un termómetro de mercurio, conforme a la temperatura de referencia (40 °C) por el usuario, como se muestra en la figura 16.

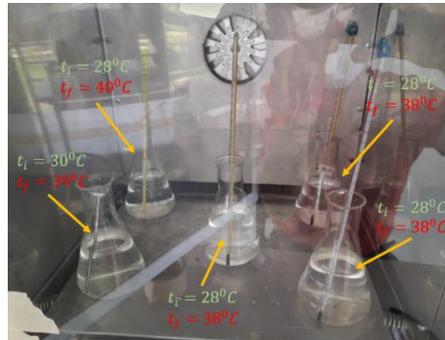


Figura 16 Comportamiento en cámara de temperatura.

Este análisis nos permitió validar el comportamiento uniforme de temperatura, el aislante térmico utilizado y control ON-OFF del equipo, donde nos muestra una activación y desactivación aproximado medido con un cronómetro y que con esto deducimos un funcionamiento óptimo y estable en tiempo activado y desactivado como se muestra la evidencia del tiempo cronometrados en la figura 17.



Figura 17 Tiempo de control ON-OFF.

En la tabla 2, se muestran los periodos de tiempos en la activación y desactivación de control ON-OFF durante una muestra de 16 minutos.

El proceso de análisis de calidad de energía consiste en el uso de un dispositivo denominado analizador de calidad de energía eléctrica (KILL A WATT EZ), donde se realizó la medición de potencia real (W), potencia aparente (VA), factor de potencia, Consumo energético (kWh), corriente y voltaje, tabla 3.

Tabla 2 Comportamiento uniforme de temperatura.

	Tiempo parcial	Activación de control	Tiempo total
1	00:36:99	ON	00:36:99
2	01:53:57	OFF	02:30:56
3	00:36:73	ON	03:07:29
4	02:00:30	OFF	05:07:59
5	00:35:19	ON	05:42:78
6	02:04:36	OFF	07:47:14
7	00:34:27	ON	08:21:41
8	02:07:77	OFF	10:29:18
9	00:35:06	ON	11:04:24
10	02:11:36	OFF	13:15:60
11	00:33:35	ON	13:48:95
12	02:11:80	OFF	16:00:75

Tabla 3 Medición de energía con Kill a Whatt para temperatura/agitación.

Prototipo con control de temperatura/agitación activado	
Potencia real (P)	243 W
Voltaje	128.8 V
Corriente	1.92 A
Factor de potencia	0.98
Potencia aparente (S)	246 VA

En dicho análisis anterior el consumo energético del equipo fue de 0.14 kWh o 140 watts por hora en condiciones de funcionamiento de la resistencia de control de temperatura y control de motor para agitación.

#### **4. Discusión**

Con esta investigación se proporciona un prototipo funcional que se puede implementar en las instituciones de educación para el área de microbiología ya que es suficientemente confiable respecto a que la muestra de laboratorio tendrá la temperatura de referencia asignada por el usuario y practico en lo que respecta a su funcionamiento como agitación, temperatura y luz que permitirá el establecimiento de explantes vegetales y de células en suspensión para la obtención de biomasa o metabolitos secundarios respectivamente, para crecimiento de bacterias y hongos en medios solidos o semisólidos y líquidos.

El sistema de agitación por medio de excentricidad acoplado al motor permite tener el control del movimiento orbital de forma eficaz y se logra reducir de manera significativa un mantenimiento correctivo, ya que en otros sistemas de agitación que son por medio de bandas y poleas o martillos de peso; ya que estos con el tiempo presentan problemas de mantenimiento con frecuencia.

#### **5. Conclusiones**

Con la evolución de este proyecto logramos realizar un aporte significativo en el área de desarrollo tecnológico sobre equipos de incubación que se utilizan en laboratorios de microbiología, ya que detectamos un área de oportunidad en la forma de aplicación de estos equipos, la cual consiste en adaptar un sistema de agitación en conjunto con la elaboración de un sistema de control que sea de fácil acceso al usuario; todo esto con la premisa de que la tecnología aplicada a la máquina esté al alcance económico de las instituciones educativas que requieren trabajar con este tipo de equipos especializados para su utilización en investigaciones y prácticas aplicadas en el área de microbiología y tejidos vegetales bajo diferentes condiciones. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios ya que el control de temperatura muestras una estabilidad de activación, tiempo de

encendido de 35 segundos y un tiempo de apagado OFF de 2 minutos como se muestra en la tabla 2, esto nos permite tener un consumo bajo de energía, además el aislante térmico utilizado nos permitió concentrar la energía y tener pérdidas insignificantes de temperatura para ayudar a lo antes mencionado. Parte importante del prototipo fue lograr mediante el sistema tiro forzado de aire por medio del ventilador y el sistema de direccionamiento para la recirculación de la temperatura con el experimento de muestras de agua en vaso de precipitado y matraz Erlenmeyer distribuidas en la mesa de agitación donde se obtuvo una diferencia no significativa con respecto a la de referencia de 40 °C como se ilustra en la figura 16. El código fuente elaborado para la funcionalidad de esta máquina se desarrolló con el software IDE de ARDUINO, y actualmente se encuentra protegido por el registro de derechos de autor ante la instancia de INDAUTOR, este logro fue uno de los objetivos del proyecto. La misma programación permitió la implementación de circuitería y componentes electrónicos que constituyen una opción económica y de fácil desarrollo en la implementación de equipos que se puedan construir posteriormente a partir del prototipo en futuras investigaciones.

También una parte importante del proyecto fue la utilización del software de diseño CAD que permitió el desarrollo y fabricación de todas las partes del equipo para facilitar la implementación de materiales. Además, debido a las características operativas del equipo, se logró realizar un registro de propiedad intelectual ante la instancia del IMPI, que se clasificó dentro del apartado de modelos de utilidad, que también es uno de los objetivos del proyecto.

El prototipo permitirá generar trabajos a futuro como implementación de otras técnicas de control, así como llegar a obtener un monitoreo e historial de datos mediante un sitio WEB.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Katsuhiko, Ogata. (2010). Ingeniería de Control Moderna. PEARSON EDUCACION, S.A. Madrid (España). Quinta Edición.
- [2] Kuo B. C., Sistemas de control automático, 7ma ed. México: Pearson Educación, 1996.

- [3] Bernardes C., Bernardes R., Zimmer Camille., Dorea Caetano, (2020). A Simple Off-Grid Incubator for Microbiological Water Quality Analysis. *Water Review* 2020, 12, 240: doi:10.3390/w12010240.
- [4] Liang, G.; Niu, D.; Liang, Y (2021). Evaluation of Renewable Energy Incubators Using Interval Type-II Fuzzy AHP-TOPSIS with MEA-MLSSVM. *Sustainability Review* 2021, 13, 1796. <https://doi.org/10.3390/su13041796>.
- [5] Libutti A., Gatta G., Gagliardi A., Vergine P., Pollice A., Beneduce L, Disciglio G., Tarantino E., (2018). Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions, *Agricultural Water Management*, Volume 196, pp. 1-14, ISSN 0378-3774: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015>.
- [6] Mejía Aguirre Carlos Julio, Diseño e implementación de cuatro esquemas de control modificados basados en el predictor Smith en una tarjeta embebida, aplicados a dos modelos simulados que presentan retardo: un tanque mezclado y un reactor de agitación continua (CSTR), *e pn.edu.ec*, 2019.
- [7] Morales Meléndez, R., Ramírez Mendoza, R. (2013). *Sistemas de control moderno. Volumen I: Sistemas de tiempo continuo*. México: Editorial Digital Tecnológico de Monterrey.
- [8] RATSA, (2021). Aislantes termoacústicos industriales, <https://www.ratsa.mx/>.
- [9] Schertenleib, A., Sigrist, J., Friedrich, M. N., Ebi, C., Hammes, F., Marks, S. J., (2019). Construction of a Low-cost Mobile Incubator for Field and Laboratory Use. *J. Vis. Exp.* (145), e58443: doi:10.3791/58443.
- [10] Shigley J. E. & Uicker J. J., *Teoría de máquinas y mecanismos*. Mc. Graw Hill. ISBN 968-451-297-X. 1988.
- [11] Tojeiro Calaza German, ARDUINO es una plataforma de electrónica abierta (open hardware) para la creación de prototipos basada en software y hardware, *Taller de ARDUINO un enfoque práctico para principiantes*, Vol. 1, No. 03, 2015.