

DESARROLLO DE UNA CÁMARA DE CRECIMIENTO DE PLANTAS

DEVELOPMENT OF A PLANT GROWTH CHAMBER

Diego Axel López Guerrero

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México
18030946@itcelaya.edu.mx

María Isabel Gaona Cárdenas

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México
19031311@itcelaya.edu.mx

Gilberto Ruiz Mondragón

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México
gilberto.ruiz@itcelaya.edu.mx

Álvaro Sánchez Rodríguez

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México
Alvaro.sanchez@itcelaya.edu.mx

Arnoldo Maeda Sánchez

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México
arnoldo.maeda@itcelaya.edu.mx

Recepción: 30/mayo/2024

Aceptación: 2/diciembre/2024

Resumen

La diversidad de trabajos de investigación y desarrollo tecnológico que se lleva a cabo en las instituciones de educación superior plantea un reto importante en el aspecto administrativo, pues para que se lleven a cabo se requiere contar con el equipamiento apropiado, así como los insumos necesarios; lo cual, en muchas ocasiones implica realizar inversiones importantes cuya gestión implica un tiempo considerable para su consolidación. Una manera de solventar este tipo de situaciones es mediante la participación intramuros de las diferentes especialidades para el diseño de prototipos que atiendan, de forma temporal o permanente, las necesidades de los grupos de investigación. En el presente trabajo se desarrolla una cámara de crecimiento para la planta "*Arabidopsis Thaliana*", que asegure un ambiente adecuado controlando tanto la temperatura como humedad de su interior,

el cual tiene un nivel de maduración tecnológica TRL 2. Para ello, considerando su tamaño, se opta por utilizar unas celdas Peltier para el control de la temperatura, lo que facilita ajustarla mediante un sistema electrónico de control basado en la arquitectura de Arduino. Para llevar a cabo el diseño se usó un software de simulación, aplicado a la geometría de la cámara de crecimiento para determinar la ubicación y forma en que el suministro de aire, las descargas y recirculaciones, cumplan con lo requisitado. Una vez definida la geometría y ubicación de los ventiladores se define el sistema de control y se desarrolla la electrónica correspondiente. Para validar su funcionalidad, se somete a pruebas de 24 y 48 horas de uso continuo para garantizar su operación con las plantas. Los resultados obtenidos en la puesta en marcha del prototipo han sido satisfactorios, ya que se mantuvo la temperatura del interior de la cámara constante a 20 °C.

Palabras Clave: ambiente, cámara de crecimiento, climatización, control, temperatura.

Abstract

The diversity of research and technological development work carried out in higher education institutions poses a significant challenge in the administrative aspect, since in order to carry it out, it is necessary to have the appropriate equipment, as well as the necessary inputs; which, in many cases, implies making significant investments whose management requires a considerable time for its consolidation. One way to solve this type of situation is through the intramural participation of the different specialties for the design of prototypes that attend, temporarily or permanently, the needs of the research groups. In this work, is developed a prototype of a functional growth chamber for the plant "Arabidopsis Thaliana", which ensures an adequate environment by controlling both the temperature and humidity inside. To do this, considering the size of the prototype, it is decided to use Peltier cells for temperature control, which makes it easier to adjust it through an electronic control system based on the Arduino architecture. To carry out the design, simulation software was used, applied to the geometry of the growth chamber to determine the location and way in which the air supply, discharges and

recirculations comply with what is indicated. Once the geometry and location of the fans are defined, the control system was defined, and the corresponding electronics are developed. To validate its functionality, was worked to tests of 24 and 48 hours of continuous use to guarantee its operation with the plants. The results obtained in the start-up of the prototype have been satisfactory, since the temperature inside the chamber was constant at 20 °C.

Keywords: *environment, growth chamber, air conditioning, control, temperature*

1. Introducción

Las necesidades formativas de las Instituciones de Educación Superior (IES) demandan de ambientes de aprendizaje acorde a los modelos educativos implementados, lo que resulta en grandes inversiones; una alternativa que se tiene es el aprovechamiento del recurso humano e infraestructura con que se cuenta para el desarrollo de equipamiento, Tal es el caso del presente en donde se desarrolla una cámara de crecimiento para la carrera de Ingeniería Bioquímica.

Las cámaras de crecimiento es un equipo empleado para estudiar la respuesta al ambiente de plantas o semillas, entre otros; se busca simular las condiciones climáticas en un ambiente controlado, como la temperatura, humedad, iluminación, por mencionar algunas. Su empleo brinda ventajas para el estudio del desarrollo o caracterización de especies biológicas, ya sea para su contención o adaptación, permitiendo contar con condiciones ambientales más estables que las atmosféricas, asegurando que un experimento pueda ser repetido; permite además simular en el laboratorio situaciones de campo, evitando la inversión en el traslado de equipo, así como de materiales y personal; una muestra del equipo comercializado es el que ofrece la empresa Inolab Especialistas [Inolab Especialistas, s. f.-b] que en la gama de su producción, además de la temperatura, se puede controlar la humedad y la iluminación. Otra compañía es FDM Environment Makers [FDM - Environment Makers, 2020] que, de la misma forma, cuenta con modelos en los que se puede controlar temperatura, iluminación y humedad, en rangos de operación variados que se ajustan a las necesidades del proyecto. De igual forma la empresa Aralab [Aralab, s. f.] que además de ofrecer equipo del mismo tipo, se enfoca en el diseño

de ambientes controlados, como es el caso de invernaderos o cámaras de crecimiento para pruebas diversas.

Por otra parte, las hay que atienden condiciones especiales de operación como el proyecto Módulo climático para el crecimiento de plantas en condiciones controladas [Juan Manuel Repetto, s. f.-b]; desarrollado en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, con el objetivo de obtener condiciones de iluminación y temperatura específicas para un cultivo de soja, los cuales no lo podían cubrir con los equipos comerciales. La iluminación por leds les permitió alcanzar el nivel adecuado de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) requerido para sus cultivos, mejorando además la regulación de la temperatura interior. Por su parte, [Tumialán Borja et al. 2011] construyeron una cámara de crecimiento para plántulas, desarrollando diferentes sistemas, como lo es el vaporizador, el nebulizador, el control de temperatura y humedad, las pruebas muestran que se mejoró la uniformidad de las condiciones interiores, logrando un crecimiento más uniforme de las plántulas. Y en [Aguilar Ramírez et al. 2019] se desarrolla una cámara de crecimiento con un control de los tres parámetros principales: temperatura, humedad e iluminación; obteniendo resultados satisfactorios, recomendando que se implemente un sistema fotovoltaico para el suministro de energía al sistema y que tenga más autonomía y menos dependencia del suministro eléctrico nacional. Por su parte, [Ernesto, 2019] desarrolla un prototipo de cámara de crecimiento para plantas, cuyo control se basa en la programación de un plc, mediante dos termopares, dos sensores de nivel de iluminación y dos más de humedad; logrando con esto mantener la temperatura del interior, iluminación y humedad de la cámara lo más estable posible para los valores establecidos.

Otra aplicación de estas son los ambientes controlados, como el desarrollo de [Santos, 2009], que presenta un ambiente controlado con flujo laminar horizontal, y a partir de un modelo comercial generan la ingeniería para el desarrollo de uno propio, con electrónica básica para el control de flujo e iluminación. Es oportuno mencionar que la arquitectura de Arduino ofrece la posibilidad de tener un control sencillo de estructurar y operar, que atiendan las demandas del proyecto, tal es el

caso de [Kim et al. 2023] que desarrollaron un sistema de control para una cámara de ambiente controlado para el estudio fenotipos de plantas y su relación con el riego, destacando que la versatilidad y facilidad de implementación permite desarrollar proyectos con resultados satisfactorios, que no impliquen una inversión económica importante y que pueden ser adaptados con facilidad a diversas condiciones; además de incorporar tecnologías de monitoreo más útiles como lo es el acceso vía remota, evitando con esto la asistencia regular o permanente al equipo.

De lo anterior, se puede apreciar que en las cámaras de crecimiento de plantas los parámetros más significativos a controlar son la temperatura, iluminación y humedad, dependiendo de las necesidades de cada proyecto o estudio.

Un aspecto importante es el hecho de que no hay una atención en el valor de estos parámetros a lo largo del volumen de la cámara, ya que la mayoría trabaja con los valores globales. De esta forma, se desarrolla de forma conjunta el diseño y construcción de una cámara de crecimiento que brinde, a una muestra de plantas "*Arabidopsis Thaliana*", las condiciones climáticas apropiadas para su crecimiento, que para el caso se estableció un rango de temperatura entre 16 y 22 °C con un nivel de humedad relativa alrededor del 50%. Para ello se llevó a cabo una simulación para determinar, de acuerdo con las dimensiones y especificaciones recibidas, la ubicación de los flujos de aire, así como de las ventilaciones al exterior. Un aspecto importante es que se contaba con determinado material, ajustando el proyecto a este. Establecida la ubicación de los flujos de aire, se procedió al diseño del sistema de control tanto para la temperatura como la humedad, para lo cual se trabajó bajo una plataforma de Arduino.

Se presenta una propuesta que permite mantener una temperatura dentro del rango especificado con la humedad requerida, se probó en periodos de 24 y 48 horas para verificar su correcto funcionamiento, tanto con relación a los flujos de aire y su temperatura, como con relación a la electrónica implementada; al respecto se decidió utilizar una recirculación del aire para minimizar los tiempos de ajuste en la temperatura y reducir la carga de las celdas Peltier, logrando con esto un nivel de maduración tecnológica TRL 2.

2. Métodos

En la actualidad, el uso de la tecnología permite desarrollar soluciones con mayor certeza de los resultados, tal es el caso de las simulaciones de sistemas mecánicos mediante la aplicación de alguna técnica a través de un programa computacional; y adquiere mayor relevancia cuando se pueden incorporar diferentes modalidades de análisis, como por ejemplo análisis de esfuerzos con efectos térmicos, o flujo de fluidos con transferencia de calor o la interacción de un fluido y un sólido para producir trabajo mecánico, como lo es una turbina hidráulica, entre otros.

Para el caso, primeramente, se trabaja el modelo de la cámara, es decir, dada la geometría especificada, se crearon las seis caras con los huecos correspondientes, para la incorporación de los ventiladores. En esta etapa se consideraron tres posibilidades; disponer los cuatro ventiladores opuestos diagonalmente para promover un movimiento circulatorio del aire; otra fue considerando una entrada y una salida opuestos diagonalmente y alineados de forma longitudinal, y finalmente, considerar una entrada superior centrada en la tapa con un ducto de recirculación. El objetivo con las propuestas era lograr una distribución lo más uniforme posible del aire y, por ende, de la temperatura alcanzada en todo el volumen de la cámara. El software empleado cuenta con un módulo para simulación de flujo de fluidos, a partir de la geometría generada; para ello es necesario definir los espacios o regiones por donde se considera circulará el fluido, enseguida se procede a definir las propiedades de cada uno de los materiales involucrados en el análisis. Con lo anterior, se puede seleccionar el tipo de análisis que se realizará y las condiciones de frontera que gobernarán las pérdidas de calor por las fronteras. Al respecto, se analizó el material con el que se construirá la cámara y dado que es policarbonato celular, la potencial transferencia de calor con los alrededores se considera despreciable, convirtiendo el sistema a analizar en uno adiabático. Finalmente, es necesario caracterizar el aire que se va a emplear, es decir, especificar su temperatura, humedad y velocidad. De igual forma, para aproximar más el comportamiento de la cámara a la realidad, se incorporan al modelo ventiladores del tipo de los que se emplearían en el proyecto. Para ello hay que seleccionar su ubicación en el modelo, especificando la cara por donde existirá el flujo, lo que

permitirá especificar si es uno que introduce aire del exterior, uno que lo extrae o que es de recirculación.

Para simular el efecto de las placas Peltier se modelan los disipadores con los ventiladores correspondientes, dada la información obtenida de las celdas, se considerará que éstas mantienen una temperatura constante, lo que significa que en la base de los disipadores se aplicará una condición de temperatura constante.

Una vez que se tienen los modelos de todos los elementos involucrados, se procede a realizar el mallado, se especifica que el análisis se realizará sobre la distribución de temperaturas, principalmente. Esto dado que se pretende observar el efecto global de los ventiladores, propiciando que se tenga una distribución de temperatura lo más uniforme en toda la cámara.

Finalmente se realiza el análisis de los resultados, mediante la visualización de los valores arrojados por el programa. Para ello, es necesario indicar qué tipo de valores se desea observar, para el caso se trabajaron los flujos y temperaturas.

Para generar la carga térmica de enfriamiento del aire, se consideró el uso de celdas Peltier, por el tipo de aplicación que se tiene, su practicidad para implementarla y por el costo mismo del proyecto, pues como se ha mencionado, éste es de carácter interno y no recibe apoyo alguno por algún programa o dependencia. Este tipo de dispositivo permite generar una carga de refrigeración o de calefacción mediante un efecto termoeléctrico, el cual es descrito de forma general en [Belovski et al. 2017] como sigue: Los enfriadores termoeléctricos funcionan por el efecto Peltier (que también se conoce por el efecto termoeléctrico de nombre más general). El dispositivo tiene dos lados, y cuando una corriente eléctrica de corriente continua fluye a través del dispositivo, lleva calor de un lado al otro, de modo que un lado se enfría mientras que el otro se calienta. El lado «caliente» está unido a un disipador de calor para que permanezca a temperatura ambiente, mientras que el lado frío descende por debajo de la temperatura ambiente. En algunas aplicaciones, varios enfriadores se pueden conectar en cascada para reducir la temperatura.

Para su fabricación se utilizan dos semiconductores únicos, uno de tipo n y uno tipo p, porque necesitan tener densidades de electrones diferentes. Los

semiconductores se colocan térmicamente en paralelo entre sí y eléctricamente en serie, y luego se unen con una placa conductora térmica en cada lado. Cuando se aplica un voltaje a los extremos libres de los dos semiconductores, hay un flujo de corriente continua a través de la unión de los semiconductores que causa una diferencia de temperatura. El lado con la placa de refrigeración absorbe el calor que luego se mueve al otro lado del dispositivo donde se encuentra el dissipador de calor. Los enfriadores termoeléctricos, suelen estar conectados uno al lado del otro entre dos placas de cerámica. La capacidad de enfriamiento de la unidad total es proporcional al número de celdas termoeléctricas (TEC) empleadas. Una celda termoeléctrica (TEC) de una sola etapa producirá típicamente una diferencia de temperatura máxima de 70 °C entre sus lados caliente y frío. Cuanto más calor se mueve con una TEC, menos eficiente se vuelve, ya que necesita disipar tanto el calor que se mueve como el calor que genera a partir de su propio consumo de energía. La cantidad de calor que se puede absorber es proporcional a la corriente y al tiempo. Algunos beneficios de usar una TEC son:

- Sin partes móviles, por lo que se requiere un mantenimiento menos frecuente.
- Sin clorofluorocarbonos (CFC).
- Se puede mantener el control de temperatura en decimales de un grado.
- Forma flexible (factor de forma); en particular, pueden tener un tamaño muy pequeño.
- Se puede utilizar en entornos, ya sean más pequeños o severos, que la refrigeración convencional
- Larga vida, con tiempo medio entre fallas (MTBF) que excede las 100,000 horas.
- Controlable mediante el cambio de la tensión de entrada / corriente.

Algunas desventajas de usar una TEC son:

- Sólo se puede disipar una cantidad limitada de flujo de calor.
- Relegado a aplicaciones con bajo flujo de calor.
- No es tan eficiente, en términos de coeficiente de rendimiento, como los sistemas de compresión de vapor.

El sistema de control se hizo bajo un enfoque de lazo abierto, empleándose una placa de Arduino Mega, la cual se basa en hardware y software libre, lo que quiere decir que tanto diagramas, especificaciones y códigos son accesibles para el público, siendo libres de cualquier modificación. Además de contar con un número adecuado de salidas/entradas digitales y analógicas, mayor memoria, bajo costo y tiempo de respuesta corto para la cantidad de señales que se van a manejar.

Las variables por controlar en la cámara de crecimiento son la temperatura y humedad relativa, para lo cual se seleccionó el sensor DHT11, el cual sirve para medir las variables indicadas. Este sensor es de tipo capacitivo para realizar la lectura de la humedad relativa a partir del 15 a 90%, así como también cuenta con un termistor que permite hacer la medición de temperatura en el aire circundante, en el rango de 0 a 70 °C, ambos sensores están calibrados, por lo que no es necesario añadir algún circuito de tratamiento de señal. A diferencia de otros sensores, este se conectó a pines digitales, ya que la señal de salida es digital. Cuentan con un pequeño microcontrolador de 8 bits interno para hacer el tratamiento de la señal. Cada sensor está estrictamente calibrado en laboratorio, presentando una extrema precisión en la calibración, lo que brinda una gran fiabilidad. Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria One-Time-Programmable (OTP), que son empleados por el proceso de detección de señal interna del sensor.

En la Tabla 1 se muestran los parámetros utilizados para los componentes; mientras que en la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo el cual inicia por realizar una lectura de temperatura, la cual se puede visualizar gracias a la pantalla de cristal líquido (LCD, por sus siglas en inglés) colocado en el exterior de la cámara de crecimiento; si esta lectura se encuentra por encima de los 22 °C se activan las celdas Peltier y los ventiladores, para que de la parte fría de las celdas se envíe aire al interior para bajar la temperatura, los ventiladores tienen como función principal promover la circulación de aire dentro de la misma y ayuden a reducir el tiempo en el que llega a una temperatura dentro de los parámetros indicados.

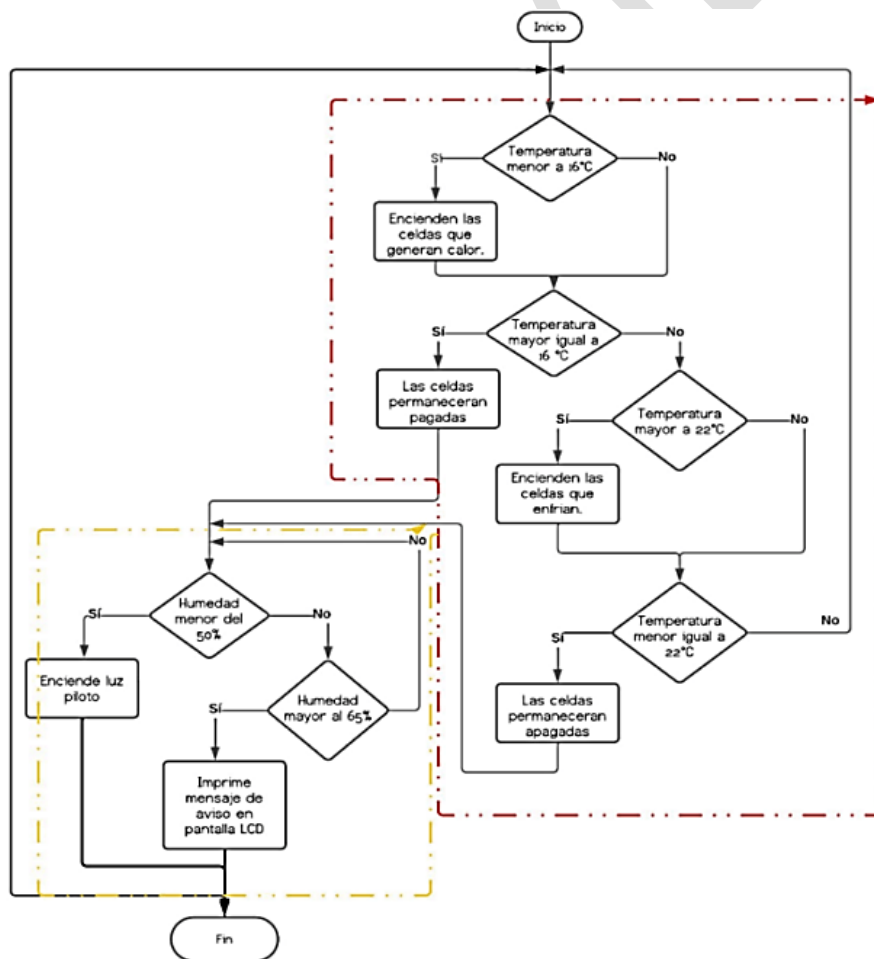
Por otro lado, si la temperatura se registra por debajo de los 16 °C, de igual forma se encienden sólo las celdas que están colocadas con la parte que genera calor

dentro de la cámara y comienzan a aumentar su temperatura de forma gradual, tardando alrededor de cinco a diez minutos en alcanzar la temperatura adecuada. Cuando esta llega al rango asignado, las celdas y los ventiladores se apagan y vuelve a tomar mediciones cada cinco minutos para evitar cambios bruscos de temperatura para la planta.

Tabla 1 Parámetros usados en los componentes del sistema de control.

Componente	Parámetros utilizados
Arduino Mega	Voltaje de operación: 5V
Sensor DHT11	$T_{m\acute{a}x}$: 22 °C, $T_{m\acute{i}n}$: 16 °C, $H_{m\acute{i}n}$: 50%, y $H_{m\acute{a}x}$: 65%
Celdas Peltier	Temperatura de trabajo: 0 – 50 °C, Voltaje de operación: 12 V y Corriente de operación: 6A
Módulo de relevadores	Voltaje de operación: 5V
Ventiladores	Voltaje de operación: 12V

Fuente: elaboración propia

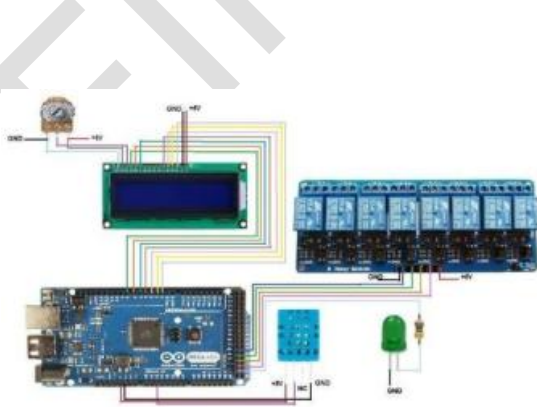


Fuente: elaboración propia

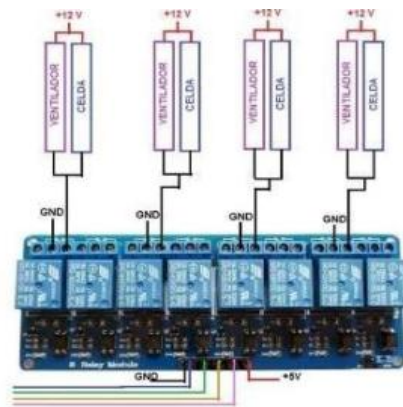
Figura 1 Diagrama de flujo.

Por otra parte, cuando el sensor detecta que la temperatura está dentro de los parámetros indicados procede a realizar la medición de la humedad relativa, la cual, de la misma manera se registra en el LCD y si esta está por debajo del 50% se enciende una luz piloto que sirve como indicador visual de la falta de humedad dentro de la cámara, de lo contrario si la humedad es mayor a 65% se muestra un mensaje de advertencia. Para su construcción, el circuito se dividió en dos partes, la de control y la de potencia. La Figura 2 representa el diagrama de control, el cual se encarga de mandar señales de encendido o apagado a los dispositivos según lo que el usuario desee. En este caso, gracias a la señal enviada por el sensor hacia el módulo de relevadores, se encienden o apagan las celdas y los ventiladores cuando el sensor arroja lecturas dentro o fuera de los parámetros asignados en la programación realizada en el software libre de Arduino IDE.

La sección de potencia, como se muestra en la Figura 3, se enfoca en que una vez que se recibe la señal, esta se transforma en otra señal eléctrica mayor, usando otros dispositivos semiconductores como lo son los interruptores para controlar o modificar un voltaje o una corriente. En este caso se usó el módulo de relevadores que actúan como un switch abriendo o cerrando cuando se detecta la señal eléctrica enviada por la parte de control, permitiendo aumentar la señal recibida de 5 V a 12 V para el encendido de las celdas y los ventiladores; en cambio, si no hay una señal de entrada el switch permanecerá encendido evitando el flujo de corriente en el circuito.



Fuente: elaboración propia.



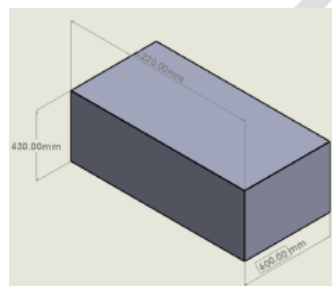
Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Diagrama de la parte de control. Figura 3 Diagrama de la parte de potencia.

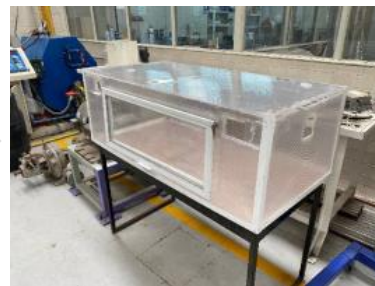
Finalmente, dada las condiciones meteorológicas que se viven en la ciudad de Celaya, Gto. a lo largo del año, los niveles de humedad no varían como en otras zonas del país, como por ejemplo la parte norte. De igual forma, considerado el equipo que se puede usar, se optó por contar con un medio húmedo sencillo para su control, es decir, se implementa una cortina de agua por gravedad, lo cual permite mantener una humedad relativa en el valor deseado.

3. Resultados

El modelado de la cámara de crecimiento se realiza con las siguientes dimensiones (Figura 4), 600 mm de ancho, 430 mm de alto y 1220 mm de largo. Una actividad inicial es determinar la ubicación de los ventiladores, para ello se llevó a cabo una valoración de las posibilidades más significativas que pudieran ofrecer una solución, trabajando de manera práctica varias ubicaciones de los cuatro ventiladores disponibles observando la distribución que se logra de la nube de polvo.



a) Modelo de la cámara.



b) Cámara de crecimiento.

Fuente: elaboración propia

Figura 4 Aspectos de la cámara de crecimiento.

A partir de lo observado se definieron los arreglos que se mencionan a continuación. En la propuesta uno se ubicaron las celdas y ventiladores es la que se muestra en la Figura 5a, utilizando cuatro celdas, con sus respectivos ventiladores, dos en la parte frontal, uno centrado en la tapa superior y otro centrado en la parte superior de la parte trasera. En la propuesta dos, se ubicaron las cuatro celdas en la parte superior, alineado con el borde derecho de la superficie lateral trasera (Figura 5b) y mientras que en la propuesta tres, se montaron las cuatro celdas en la parte exterior de la superficie superior de la cámara, con descarga al centro de esta (Figura 5c).

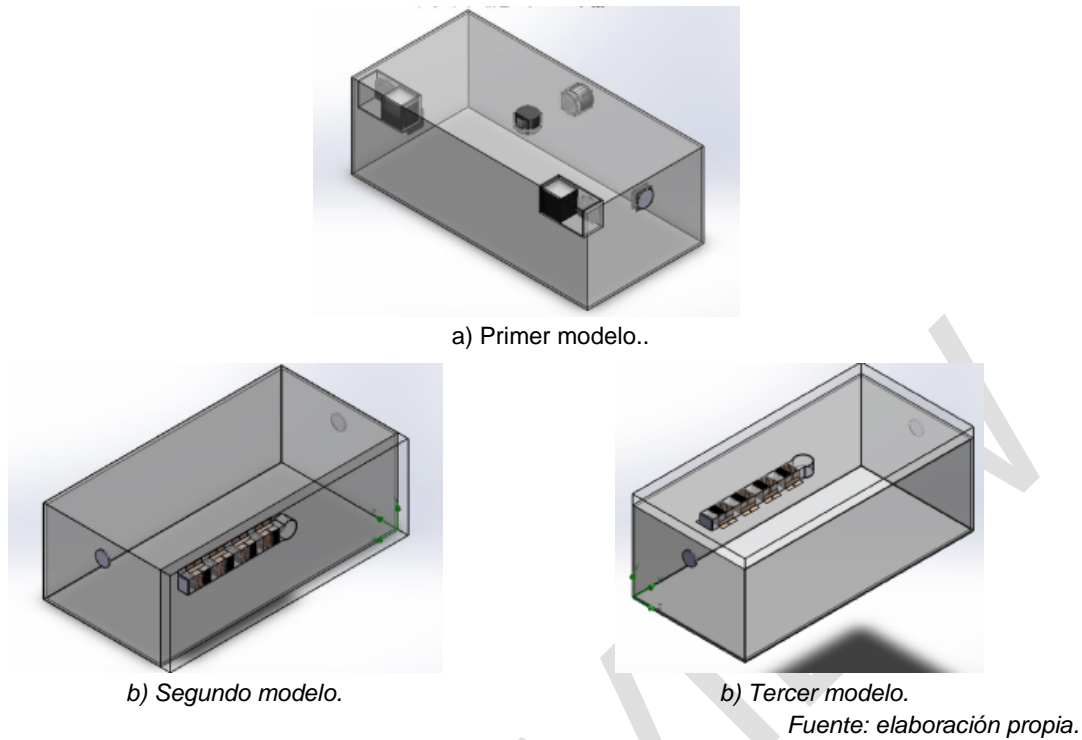


Figura 5 Modelos para analizar.

Para la instalación de las celdas fue necesario diseñar un soporte que las fijara y permitiera la instalación de los ventiladores correspondientes. Así mismo, dada la capacidad de las celdas y de los ventiladores, se decidió implementar un ducto de recirculación de aire, a fin de reducir el tiempo de ajuste de la temperatura, el cual fue instalado en la cara lateral con la toma centrada.

Otro aspecto importante que considerar fue el mecanismo de humidificación del aire, el cual fue ubicado en el ducto de alimentación, antes de ingresar el aire a la cámara. El circuito de control fue montado en un panel de control, para mayor protección de la electrónica; de igual forma, se le practicaron orificios para evitar un sobrecalentamiento interno por los componentes mismos. La Figura 6 muestra cómo quedó la instalación del sistema de alimentación y control.

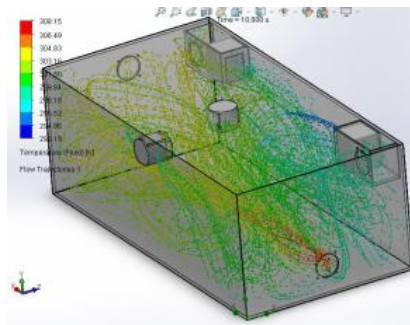
4. Discusión

Como resultado de la simulación, para el caso de la propuesta uno, se observa que la distribución de la temperatura no es muy uniforme, teniendo una influencia del aire que es introducido del exterior, Figura 7a.

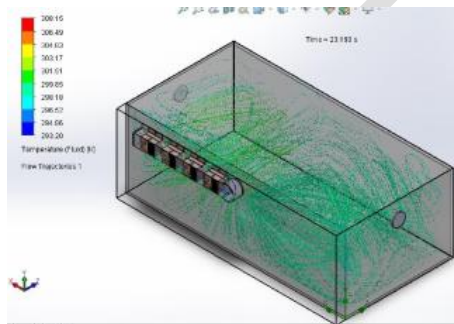


Fuente: elaboración propia

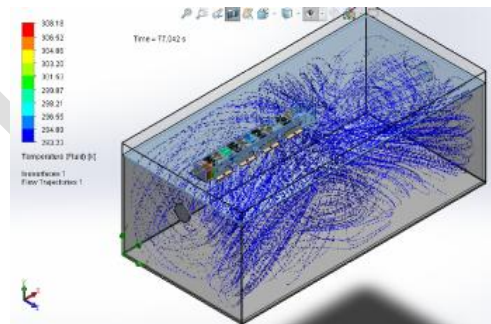
Figura 6 Panel de control empleado para la instalación de la electrónica.



a) Propuesta uno.



b) propuesta dos.



c) propuesta tres.

Fuente: elaboración propia

Figura 9 Distribución de temperatura.

Por su parte, en la propuesta dos, se puede observar una mejor distribución, sin embargo, por la configuración, se generan dos regiones de temperatura, por lo que no se consideró como una opción para su implementación, al margen de que no es muy grande el diferencial, Figura 7b. Finalmente, en la Figura 7c se aprecia el resultado de la simulación para la propuesta tres, mientras que las Figuras 8, 9 y 10 muestran que se logra una mayor uniformidad en la distribución de la temperatura interior de 25 °C. En resumen, en la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos.



Fuente: elaboración propia

Figura 8 Temperatura en el interior de la cámara de crecimiento.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9 Instalación de los ventiladores.



Fuente: elaboración propia

Figura 10 Cámara de crecimiento en operación.

Tabla 2 Resultados obtenidos de las simulaciones

Propuesta	Resultados
Propuesta uno	Diferencial de temperatura de 20°C Distribución de flujo concentrado hacia el centro Distribución de temperatura no uniforme
Propuesta dos	Diferencial de temperatura de 15°C Distribución de flujo aceptable Distribución de temperatura en dos regiones
Propuesta tres	Diferencial de temperatura de 10°C Distribución de flujo aceptable Distribución de temperatura uniforme

Fuente: elaboración propia

De los resultados mostrados en la Tabla 2, se puede apreciar que la influencia de la toma exterior tiene una influencia significativa en el diferencial de temperatura, mientras que la toma de recirculación ayuda significativamente a disminuirlo, así como la forma en que las corrientes se dispersan en la cámara, favoreciendo a lograr una condición más uniforme.

5. Conclusiones

Las necesidades de equipamiento en las Instituciones de Educación Superior son muy variadas y demandadas por la diversidad de las actividades que se llevan a

cabo, tanto en los cursos de las materias de los planes de estudio, así como de las investigaciones que se realizan por los profesores investigadores, o en los posgrados, si así fuera el caso. Por lo anterior, se desarrolla una cámara de crecimiento para el Laboratorio de Ingeniería Molecular de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, para hacer experimentaciones a nivel prototipo, en donde no se justifica de forma plena la adquisición de nuevos equipos.

De igual forma, cabe mencionar que propiciar el trabajo multidisciplinar, en el desarrollo de proyectos, fortalece las competencias profesionales de los participantes, así como favorece la cultura de trabajo en equipo.

Con relación al desarrollo del proyecto, se alcanza el objetivo de este, generando una cámara de crecimiento con las especificaciones solicitadas.

Se simularon las diferentes alternativas propuestas para seleccionar la mejor opción, considerando los patrones de flujo y la distribución de temperatura en el interior. A partir de estas, se seleccionó la opción constituida por los ventiladores en la parte superior, puesto que mostró generar una mejor distribución de temperatura y flujo del aire; además de que se instalaron las celdas en un ducto para un enfriamiento del aire más efectivo, teniendo la oportunidad de variar el estado de encendido de estas según las condiciones medioambientales. Se logró mantener la temperatura en un valor de 20 °C, con un tiempo inicial de enfriamiento de treinta minutos aproximadamente, desde una condición exterior de 27°C.

Con relación al sistema de control se pudo apreciar su correcto funcionamiento, al simular las diferentes condiciones de operación que se pudieran presentar.

Para tener una validación de resultados completa sería necesario contar con la medición de los parámetros controlados en la práctica, para lo cual, en la actualidad se está llevando a cabo el monitoreo de estos, a cargo del departamento de Ingeniería Bioquímica del TecNM en Celaya.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Aguilar Ramírez, H., Mayanga Contreras, J., & Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. (2019). Diseño e implementación de cámara de crecimiento para plantas con control de temperatura e iluminación para el programa de Biología

- [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/45272>
- [2] Aralab. (s. f.). Aralab, Environmental Chambers And Controlled Environments.
<https://aralab.pt/projetos/?e-filter-bb4edc7-category=estabilidade>
- [3] Belovski, I., Staneva, L., Aleksandrov, A., & Rahnev, P. (2017). Mathematical model of Thermoelectric Peltier module. *Journal of Communication and Computer*. <https://doi.org/10.17265/1548-7709/2017.02.002>
- [4] Ernesto, Q. R. J. (2019). Diseño e implementación de cámara de crecimiento para plantas con control de temperatura e iluminación para el programa de Biología. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/45272>
- [5] FDM - Environment Makers. (2020). Cámaras climáticas FDM - FDM - Environment Makers. www.dellamarca.it/es/tipologia-camaras-climaticas/2.
- [6] Inolab especialistas. (s.f.). https://inolab.com/camaras-crecimiento/index.php?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw9vqyBhCKARIsAllcLMHFhslgia52Y24UZ1i_EqZoT8awrdltbfdyh0xsD2hAntHM4FB5_ylaAoBVEALw_wcB2.
- [7] Kim, J. Y., Abdel-Haleem, H., Luo, Z., & Szczepanek, A. (2023). Open-source electronics for plant phenotyping and irrigation in controlled environment. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100093. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100093>
- [8] Por: Juan Manuel Repetto. (s. f.). Diseñan un módulo climático para el crecimiento de plantas en condiciones controladas. *Sobre La Tierra*. <http://sobrelatierra.agro.uba.ar/disenan-un-modulo-climatico-para-el-crecimiento-de-plantas-en-condiciones-controladas/>
- [9] Tumialán Borja, J., Rodríguez Garavito, C., Rojas, M., Villamil, A., & Universidad de la Salle. (2011). Construcción de una cámara de germinación para plántulas solanáceas. *Revista Épsilon*, 17, 121-138. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1141&context=ep2>
- [10] Santos Gavidia, A. (2009). Diseño de una Cámara de Flujo Laminar Horizontal para la Producción de Planta In Vitro [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/250>.