

Control system for artificial LED lighting in basil germination

Sistema de Control para iluminación artificial LED en la germinación de albahaca

Víctor Arturo Maldonado Ruelas^{*1}, Daniela Paola López Betancur¹, Raúl Arturo Ortiz Medina¹, Sathish Kumar Kamaraj², and Jairo David Hernández Alcalá¹

¹Universidad Politécnica de Aguascalientes (UPA), Departamento de Posgrado e Investigación, Av. Paseo San Gerardo 207, Fracc. San Gerardo, Aguascalientes, Ags. México, 20342.

{victor.maldonado,daniela.lopez,raul.ortiz}@upa.edu.mx, up170267@alumnos.upa.edu.mx

²Instituto Tecnológico El Llano (ITEL),

Carretera Ags.-S.L.P. km 18, El Llano, Ags. México, 20330.

sathish.bot@gmail.com

Abstract

The present work has as objective, the development and construction of an artificial lighting control system by means of RGB (Red, Green and Blue) reflectors of 20 Watts of power. The application of the system will be used for the germination of basil plants under different color and light intensity scenarios. The structure of the system allows growth at 3 different levels and allows the placement of a germination tray with up to 50 cavities. Each level will have a lighting control and LED light intensity; as well as temperature control and monitoring to ensure the germination of the basil plant. The results present a control and monitoring of the system, which operates with a Digital Signal Platform (DSP), through visual and interactive interface; as well as online data acquisition to generate a database of variables of interest.

Keywords— Control System, Led lighting, DSP

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo y construcción de un sistema de control de iluminación artificial por medio de reflectores RGB (Red, Green and Blue) de 20 Watts de potencia. La aplicación del sistema se utilizará para la germinación de plantas de albahaca bajo diferentes escenarios de color e intensidad de luz. La estructura del sistema permite

el crecimiento en 3 diferentes niveles y permite colocar una charola de germinación de hasta 50 cavidades. Cada nivel tendrá un control de iluminación e intensidad de luz LED; así como un control y monitoreo de temperatura para asegurar la germinación de la planta de albahaca. Los resultados presentan un control y monitoreo del sistema, que opera con una plataforma digital de señales (DSP), a través de una interfaz visual e interactiva; así como, la adquisición de datos en línea para generar una base de datos de las variables de interés.

Palabras clave— Sistema de Control, iluminación LED, DSP

I. Introducción

Los sistemas comerciales actuales de control en iluminación artificial, para aplicaciones de germinación de plantas, se utilizan para mantener un tipo de intensidad de luz y/o modificar por medio de aplicaciones en aparatos móviles; sin llevar algún tipo de registro y/o control de alguna otra variable de interés; así mismo son dependientes de una conexión a red y de la aplicación misma.

Sin embargo, en investigaciones de este tipo de sistemas de control en intensidad de iluminación, muestran que el sistema puede mejorar la calidad del producto de la especie que se tenga [1, 2]; otro trabajo, muestra que la germinación bajo luz LED tiene mayor crecimiento con respecto a la luz natural [3]. Algunos otros trabajos presentan sistemas de control en iluminación LED

* Autor de correspondencia

adaptables al ciclo de crecimiento de las plantas y las necesidades del usuario [4, 5]; la tendencia de este tipo de sistemas es poder llegar a crear fábricas de plantas con sistemas inteligentes con luz artificial LED [6]. Algunos otros trabajos presentan el efecto de los diferentes colores en el crecimiento de cierto cultivo [7, 8]. Sin embargo, en la mayoría de los trabajos que se presenta, el caso de estudio varía las condiciones ambientales donde se desarrolla; y una variable importante a tomar en cuenta en la germinación de la planta es la temperatura ambiente y el efecto que tiene [9, 10].

Debido a lo anterior, la estructura del sistema a trabajar, debe contar con un control continuo de la intensidad de luz, así como del color que se desea. Esto último debe manejarse en lapsos de manera autónoma, además de controlar la temperatura óptima de germinación de la albahaca, que está entre los 28 y 32 grados centígrados.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección II se describe la estructura y hardware que se emplea para el sistema de control; así como la selección de los materiales, sensores y actuadores. En la Sección III se detalla la programación del DSP con la interfaz local y la integración del sistema completa. En la Sección IV se presentan los resultados obtenidos y las pruebas de operación del sistema. Finalmente, en la Sección V se presentan las conclusiones de las pruebas realizadas.

II. Diseño de la Estructura y el Hardware del Sistema

II.1. Estructura física del anaquel

La elaboración del anaquel es requerida para crear un ambiente controlado en cada nivel; sellados con paredes de unicel y una por medio de tela blanca (para manipular internamente la charola de crecimiento). Se utilizan ventiladores de corriente directa de 20×20 cm para generar un flujo de aire y disminuir la temperatura interna y no comprometa la germinación de la planta.

La estructura del anaquel tiene medidas de 84.5×45.5 cm y una altura de 179 cm; es armable y permite poder moverlo a diferentes espacios que mejor convengan con el clima exterior. Cada nivel del anaquel tiene 41.5 cm de altura, el cual considera la base de la charola de germinación, la charola propiamente y 4 reflectores que abarcan el espacio de la charola de crecimiento. En la Figura 1 se presenta la estructura del anaquel.

II.2. Control de Iluminación

Cada reflector se maneja de manera independiente en cada nivel, para poder hacer diferentes mezclas de colores a diferentes intensidades. Para lograr este punto fue necesario realizar para cada reflector un soporte y el diseño de una tarjeta para transmitir en infrarrojo el



Figura 1: Anaquel para la germinación de albahaca

cambio de color e intensidad del mismo. La Figura 2 presenta el diseño y construcción del mismo.

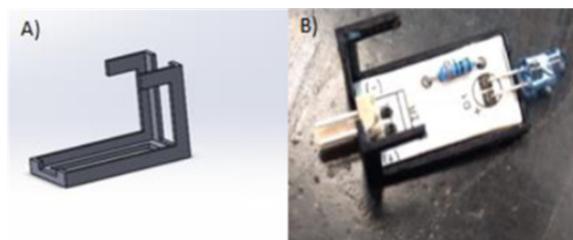


Figura 2: A) Diseño del soporte para LED IR, B) Tarjeta de Control

El protocolo de comunicación el cual se basa, del DSP a la tarjeta de control IR es el NEC; el cual tiene las siguientes características [11]:

- Longitud de dirección de 8 bits
- Longitud de comando y dirección se duplican por seguridad
- Frecuencia de portadora de 38 KHz
- Tiempo de bit de 1.125 o 2.25 ms

Con este protocolo se manda el bit menos significativo (LSB, por sus siglas en inglés) hasta el bit más significativo

(MSB, por sus siglas en inglés) de una cadena de 8 bits y se repite 4 veces para formar una cadena de 32 bits. Para iniciar una cadena es importante poner un bit de encendido con una duración de 9 ms y posteriormente un bit de apagado de 4.5 ms, seguido de la cadena de datos de 32 bits. La Tabla 1 presenta los valores decodificados en Hexadecimal de los diferentes colores a utilizar, el aumento y disminución de la intensidad y el apagado del módulo IR.

Tabla 1: Decodificación para cada reflector

Color	Código
Rojo	0x00F720DF
Verde	0x00F7A05F
Azul	0x00F7609F
Blanco	0x00F7E01F
Intensidad(++)	0x00F700FF
Intensidad(--)	0x00F7807F
Apagado	0x00F740BF

II.3. Control de Temperatura

Para la medición de temperatura se utilizó un sensor digital DHT11, el cual se comunica con el DSP por medio de un protocolo de comunicación *one wire*, que inicializa con una transición negativa (cambio de 1 a 0 lógico) y posteriormente una transición positiva (cambio de 0 a 1 lógico) para inicializar la lectura de información del sensor; una vez que concluya se revisa el bit de paridad para validar la información del sensor.

Para el accionamiento de control con los ventiladores, se hicieron pruebas de consumo de corriente por pares (un ventilador para ingresar aire, otro para sacar el aire); cada uno tiene una alimentación de 12V; por lo cual se diseñó y construyó una fuente por cada par de ventiladores o por nivel de anaquel. La Figura 3 presenta la tarjeta construida de la fuente de poder por nivel.

La activación de cada ventilador por parte del DSP será por medio de un relevador mecánico de 5V de bobina y contactos de hasta 10A.

III. Interfaz interactiva y desarrollo de Software

III.1. Desarrollo del software de interacción

Para la interacción física con el usuario y visualizar la información de cada nivel, se realiza un programa que sea lo más simple de manejar con el usuario, que permita variar tiempos de encendido, color por reflector e intensidad. Así mismo, se utiliza una pantalla LCD de 16×2 para poder ver por nivel la información del sistema de control de iluminación y de temperatura. Las variables



Figura 3: Fuente de Voltaje de $2 \times 12V$

que se tendrán en la interfaz y que se programarán en el software son las siguientes:

- Canal: a partir de esta variable, se accede a la medición de: humedad, temperatura e intensidad de cada nivel; así como el reloj.
- Clock: con esta variable se puede acceder al reloj en tiempo continuo con hora y minutos.
- Color: con esta variable se puede seleccionar: color en cada reflector, hora de encendido, hora de apagado, así como el porcentaje de intensidad.
- Ok: con esta variable se confirmará la selección de cada operación en cada nivel.
- (++): esta variable permite incrementar ciertos valores como las horas y minutos en el reloj, así como el porcentaje de intensidad. Esta variable regresa a su valor inicial al pasar el límite permitido.
- Reset: este tiene la función de reiniciar cada una de las variables y poder reiniciar la selección del sistema.

La Figura 4 presenta un esquema en general del funcionamiento del software programado en el DSP.

III.2. Interfaz Interactiva

El diseño de la interfaz interactiva se realiza a manera de carátula impresa en un tipo de plástico PLA, por sus siglas en inglés, por medio de una impresora 3D; se realiza el modelo contemplando un botón digital para cada una de las variables a manipular y el espacio de la LCD para visualizar la información. La Figura 5 muestra el diseño y construcción de la carátula del sistema.

Finalmente, se integran todos los demás sistemas con la interfaz, como lo son las fuentes de poder y alimentación de cada circuito electrónico, las tarjetas de potencias para los ventiladores, las tarjetas de adquisición en la medición de temperatura, las tarjetas de comunicación IR para el encendido de los reflectores RGB, la conexión con

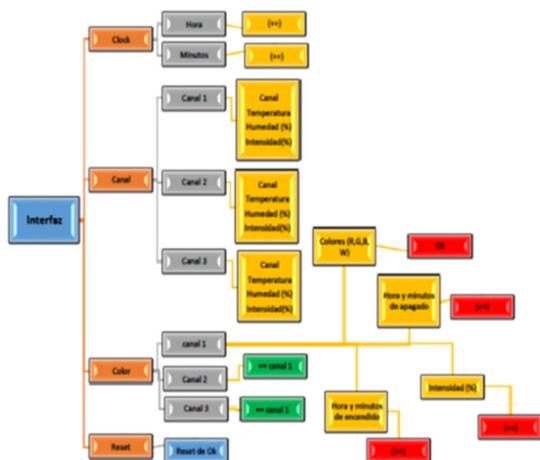


Figura 4: Diagrama del funcionamiento del Software

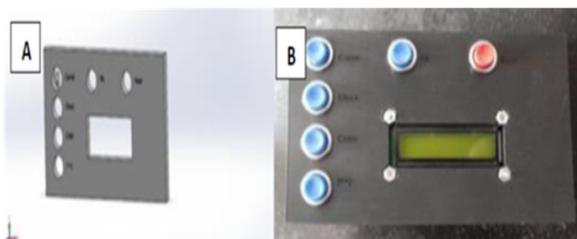


Figura 5: A) Diseño de la carátula, B) Implementación Física

la tarjeta del DSP 30F4011 de la familia de microchip. La Figura 6 presenta la conexión con la interfaz interactiva de lo anterior mencionado.

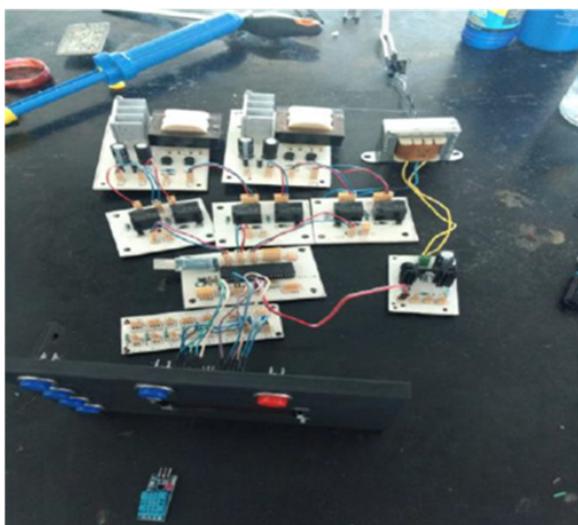


Figura 6: Sistema integrado

IV. Resultados

Una vez ensamblado el anaquel completo, se realizaron las pruebas de operación de control de iluminación de luz LED con variación de color e intensidad de la misma. La Figura 7 presenta el anaquel completo con variación de color en cada nivel.



Figura 7: Anaquel ensamblado

También se caracterizó cada reflector RGB, midiendo su flujo fotónico en cada uno de los niveles de tal manera que cada uno de los espacios de las charolas se distribuyera $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ con luz blanca al 100 % aproximadamente. La Tabla 2 presenta el estudio fotónico en uno de los niveles para diferentes colores de luz LED e intensidad de los mismos.

Tabla 2: Flujo fotónico por intensidad de nivel

Porcentaje Intensidad	Flujo Fotónico $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$			
	Blanco	Rojo	Verde	Azul
100 %	159	153	86	165
87 %	152	141	73	145
74 %	149	137	70	140
61 %	142	126	65	131
48 %	130	100	52	102
35 %	90	69	34	66
22 %	44	33	15	29
9 %	20	14	5	9

El sistema también se probó con tiempos de encendido y apagado de las diferentes variables en cada nivel. También se comprobó que el sistema fuera autónomo y

continuo en el tiempo. Debido a que el medio donde se desarrolló es un laboratorio con ambiente externo de clima ambiental, sin variaciones extremas de temperatura; el sistema operó bien para el control de temperatura.

El registro de la temperatura por nivel se realiza por medio del DSP con la conexión a un ordenador fijo (Computadora personal), y se puede obtener de manera continua y medir en rangos de tiempos deseables. La Figura 8 presenta los registros de temperatura de los tres niveles en un día de medición.

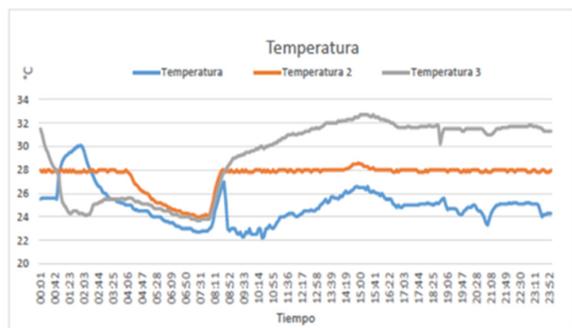


Figura 8: Registro continuo de la temperatura en los 3 niveles del anaquel

En la gráfica se aprecia que los rangos de cada nivel están entre los 22 y 32 grados centígrados, lo que cumple para el desarrollo de la germinación de la albahaca. La variación que existe entre los niveles se debe a que el nivel 1 y 2 están a la altura de la ventana exterior y el nivel 3 está por debajo de la ventana al exterior. Sin embargo, con el control de temperatura se logra mantener el rango deseado de germinación.

También se probó la interfaz interactiva de manera local con la información mencionada en la sección anterior. La Figura 9 muestra el funcionamiento de la interfaz, las conexiones y la información que se muestra en la LCD.

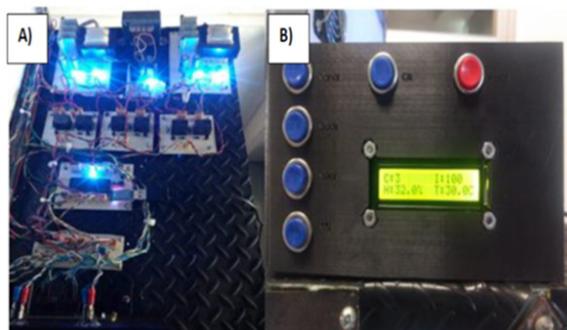


Figura 9: A) Circuito integrado del sistema en operación, B) Tarjeta de la interfaz en operación

Por último, para validar que el sistema podría cumplir con la germinación de la albahaca con iluminación

LED artificial bajo diferentes condiciones, se realizaron pruebas de funcionamiento con un mes de operación, bajo condiciones de luz continua a un solo color por nivel y apagado en cada nivel pero en diferentes tiempos de configuración. La Figura 10 presenta los resultados obtenidos de las charolas de crecimiento en dos diferentes etapas de crecimiento.

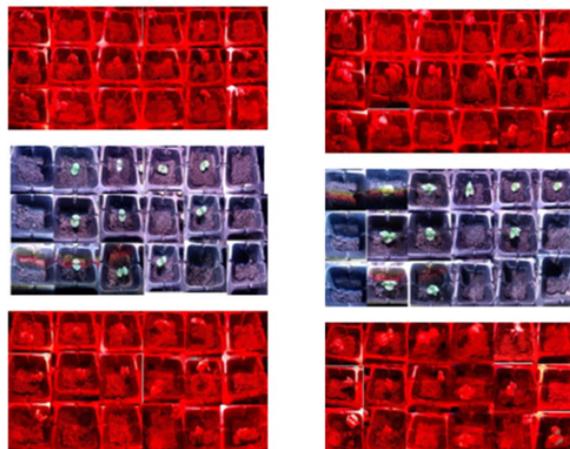


Figura 10: Crecimiento de la albahaca con el sistema de control del anaquel

La fila de la izquierda representa las 3 charolas de crecimiento en los diferentes niveles a 15 días de crecimiento; la fila de la derecha muestra las charolas que tienen un crecimiento de 30 días. El primer nivel tiene una mezcla de luz con rojo al 80 % y blanco al 20 % de sus intensidades; el segundo nivel tiene blanco al 100 % y el último nivel está rojo al 100 %. La diferencia de crecimiento y características en la germinación de albahaca en cada nivel, se presentarán en otro trabajo.

V. Conclusiones

El contar con un sistema de control de iluminación LED de intensidad y color completamente autónomo y de regulación y monitoreo de temperatura, permite que las pruebas de crecimiento artificial de plantas, en este caso de albahaca, sean más confiables y que se puedan programar diferentes recetas de iluminación para medir el crecimiento de germinación y las diferencias que existen con respecto a otras estructuras de iluminación y color.

La interfaz diseñada permite que el control sea amigable con el usuario y se adapte a las necesidades de este o a las necesidades de la planta. El contar con el historial que guarda el sistema permite caracterizar el crecimiento de germinación bajo ciertas condiciones y encontrar cual es la opción más óptima del sistema.

Referencias

- [1] Lijun Liang, Huijuan Tian y Pingfan Ning. «Artificial light LED planting system design». En: *2017 14th China International Forum on Solid State Lighting: International Forum on Wide Bandgap Semiconductors China (SSLChina: IFWS)*. IEEE. 2017, págs. 88-90.
- [2] Ellen De Keyser et al. «LED light quality intensifies leaf pigmentation in ornamental pot plants». En: *Scientia horticulturae* 253 (2019), págs. 270-275.
- [3] Pirapong Limprasitwong y Chaiyapon Thongchaisuratkrul. «Plant growth using automatic control system under LED, grow, and natural light». En: *2018 5th International Conference on Advanced Informatics: Concept Theory and Applications (ICAICTA)*. IEEE. 2018, págs. 192-195.
- [4] Amber Marie V Pagarigan y Meo Vincent Caya. «Development of LED light compensation system for agricultural application». En: *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*. IEEE. 2018, págs. 1-6.
- [5] Wei-Chieh Tai et al. «Development of a multi-parameter plant growth monitoring and control system for quality agriculture application». En: *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*. IEEE. 2017, págs. 1130-1133.
- [6] Kuo-Fu Liao y Weng Ro-Min. «Implementation of the LED Light Source System as a Smart Plant Factory». En: *2021 IEEE International Future Energy Electronics Conference (IFEEEC)*. IEEE. 2021, págs. 1-6.
- [7] Md Abdur Razzak et al. «Effects of supplementing green light to red and blue light on the growth and yield of lettuce in plant factories». En: *Scientia Horticulturae* 305 (2022), pág. 111429.
- [8] Xiaojiao Kang et al. «A novel blue-light excitable Pr³⁺ doped (Sr, Ba) LaMgTaO₆ phosphor for plant growth lighting». En: *Journal of Rare Earths* (2022).
- [9] Mirai Endo Naoya Fukuda, Hideo Yoshida y Miyako Kusano. «Effects of light quality, photoperiod, CO₂ concentration, and air temperature on chlorogenic acid and rutin accumulation in young lettuce plants». En: *Plant Physiology and Biochemistry* 186 (2022), págs. 290-298.
- [10] Hsin-Hung Lin et al. «Comparisons between yellow and green leaves of sweet potato cultivars in chlorophyll fluorescence during various temperature regimes under high light intensities». En: *Scientia Horticulturae* 288 (2021), pág. 110335.
- [11] Hernández López Billy. «Comunicación Infrarroja Control Remoto». Tesis de mtría. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, 2010.