



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



SECon LAI

MEMORIA DE PROYECTO PRESENTADA A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA POR

Bruno Inuggi, Álvaro Martínez, Rodrigo Pérez

EN CUMPLIMIENTO PARCIAL DE LOS REQUERIMIENTOS
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA.

TUTORES

Sebastián Fernández..... Universidad de la República
Mauricio González..... Universidad de la República

TRIBUNAL

Juan Pablo Oliver..... Universidad de la República
Federico Lecumberry..... Universidad de la República
Sebastián Fernández Universidad de la República

Montevideo
viernes 7 Octubre, 2016

SECon LAI, Bruno Inuggi, Álvaro Martínez, Rodrigo Pérez

Esta tesis contiene un total de 89 páginas.

Compilada el viernes 7 octubre, 2016.

<http://iie.fing.edu.uy/>

AGRADECIMIENTOS

A nuestros tutores Ing. Mag. Sebastián Fernández e Ing. Mauricio González por el apoyo recibido.

Al docente e investigador Gastón Quero de Facultad de Agronomía por los conocimientos aportados.

A Emmanuel Dall'Oglio, Gonzalo Zarazola y al Ing. Alejandro Romio por su ayuda en la búsqueda de soluciones y en el ensamblado de las placas.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

ORGANIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

La presente memoria de SECon LAI busca poner en conocimiento del lector una completa introducción a lo desarrollado durante el transcurso del proyecto.

Con la finalidad de ubicarlo en el contexto, se inicia la documentación con una introducción y posterior análisis del problema, para luego pasar a los objetivos buscados en el desarrollo realizado.

Se hará una exposición general del proyecto, adentrándose en las decisiones y desarrollos tanto a nivel de hardware como de software, comenzando desde los conocimientos iniciales hasta la fabricación del controlador y sus posteriores pruebas de funcionamiento.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

RESUMEN

La radiación comprendida entre los 400nm y 700nm es denominada PAR (Photosynthetically active radiation) y es la que interviene directamente en los procesos fotosintéticos y por tanto en el crecimiento de las plantas.

Para estudiar el efecto en las mismas, la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Agronomía, con el apoyo del INIA, construyeron luminarias LED que tienen la capacidad de emitir, utilizando leds de diferentes colores, radiación en ese rango del espectro controlando la intensidad en las diferentes bandas.

SECon LAI (Sistema Embebido de CONtrol de Luminarias Artificiales para Invernaderos) aparece con la necesidad de controlar las luminarias mediante un sistema dedicado que permite a los investigadores comandar de forma sencilla estas luminarias LED.

El sistema desarrollado tiene la capacidad de controlar luces LED que utilizan tanto el protocolo DALI (Digital Addressable Lighting Interface) como una entrada 0-10V para manejar su intensidad. En el caso de luminarias DALI, SECon LAI implementa el protocolo de descubrimiento de nuevas luminarias, por lo que agregarlas o quitarlas se realiza en forma sencilla.

SECon LAI permite ajustar los niveles de emisión de las luminarias dejándolos en un valor determinado, o permitiendo que estos varíen a lo largo de un intervalo de tiempo para simular, por ejemplo, los niveles a lo largo de un día tipo.

El establecimiento de la radiancia de las luminarias puede realizarse de dos maneras. La primera es manual, donde el usuario fija el porcentaje de la potencia máxima que la luminaria debe emitir y la segunda es indicando los niveles de radiación que se desea. Para este último caso el equipo se comunica con un espectralradiómetro, el cual permite medir la radiación incidente en el plano de trabajo y mediante esta realimentación realiza el ajuste en forma automática. Es este segundo modo de funcionamiento el que le confiere su originalidad con respecto a controladores DALI comerciales.

Se diseñaron y fabricaron exitosamente 2 unidades SECon LAI las cuales permitirán al grupo de investigadores de la Facultad de Ingeniería y Facultad de Agronomía trabajar de forma más ágil, independizándose del uso de PCs para el control.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	I
Organización de la documentación	III
Resumen	V
1 Introducción	3
2 Análisis del problema	7
3 Objetivos	9
3.1 Objetivo general.....	9
3.2 Objetivos particulares.....	9
4 Descripción general	11
5 Hardware	15
5.1 Diseño y selección de componentes	16
5.1.1 Microcontrolador.....	16
5.1.2 Pantalla.....	17
5.1.3 Botonera	18
5.1.4 Real Time Clock.....	18
5.1.5 Capa física DALI	18
5.1.6 Capa física 0-10V.....	20
5.1.7 Capa física RS232	24
5.1.8 Alimentación.....	25
5.1.9 PCB	26
5.2 Conexionado.....	32
5.3 Costo.....	34
6 Firmware	35
6.1 Módulos.....	36
6.1.1 Módulo LCD - <i>lcd.c</i>	36
6.1.2 Módulo RTC - <i>rtc.c</i>	36
6.1.3 Módulo Botones - <i>botones.c</i>	36
6.1.4 Módulo Luminarias - <i>luminarias.c</i>	36
6.1.5 Módulo Timers - <i>timers.c</i>	37
6.1.6 Módulo UART - <i>uart.c</i>	37
6.1.7 Módulo Display - <i>display.c</i>	38

6.2	Detalle de funcionalidades.....	38
6.2.1	Direccionamiento de luces DALI	38
6.2.2	Modo temporizado	39
6.2.3	Ajuste de potencia en función de la radiación medida	39
7	Medición de radiación	41
7.1	Intento previo de desarrollo de espectroradiómetro	41
7.2	Proceso de medición.....	42
7.3	Programa y rutinas Matlab	43
7.4	Protocolo comunicación serie con microcontrolador	45
8	Pruebas y resultados.....	47
8.1	Funcionamiento de pantalla y botones.....	47
8.2	Modificación de fecha y hora del sistema.....	47
8.3	Establecimiento de protocolo (DALI o 0-10V)	47
8.4	Modo manual.....	47
8.5	Reconocimiento automático de luminarias.....	47
8.6	Modo temporizado.....	48
8.7	Modo ajuste automático	48
8.8	Modo ajuste automático continuo	49
8.9	Reinicio de sistema.....	49
9	Conclusiones y trabajos futuros.....	51
10	Contenido de CD.....	53
11	Índice de figuras y tablas	55
12	Anexos	57
12.1	Anexo A: Resumen de componentes.....	57
12.2	Anexo B: Manual de usuario.....	59
12.3	Anexo C: Protocolo DALI	75
12.4	Anexo D: Mapa EEPROM.....	77
12.5	Anexo E: Protocolos de comunicación serie.....	79

1 INTRODUCCIÓN

En el año 2014, la Facultad de Agronomía e Ingeniería diseñaron y fabricaron, con el financiamiento del INIA, un recinto con temperatura, humedad y radiación lumínica controlada. El rol del Instituto de Ingeniería Eléctrica (IIE) de la Facultad de Ingeniería, fue el de diseñar un sistema que permitiera medir, visualizar y generar radiación en el espectro de los 400nm a 700nm. La radiación generada debía de poder controlarse desde un PC, no solo modificando el nivel general, sino también la distribución espectral de la potencia emitida.

Para la emisión de radiación se decidió utilizar leds, ya que los leds blancos permiten emitir radiación en todo el espectro de interés y los de color en bandas más acotadas. La combinación de estos permite el control de emisión deseado.

Según se documenta en “Tecnología led en luminarias viales”¹, se construyeron dos luminarias. La primera tiene el objetivo de estudiar la radiación ubicada en la región de los azules, la cual tiene efecto sobre la fotosíntesis, la apertura de estomas y estimula la síntesis de clorofila y carotenos. Ésta está compuesta por un conjunto de leds blancos cálidos que concentran su potencia fuera de la región y otro de leds azules. De esta forma, controlando la emisión de cada uno de los grupos, se logra un espectro con más o menos radiación relativa en las longitudes de onda de interés. En la figura de la Imagen 1 puede verse una representación de esto.

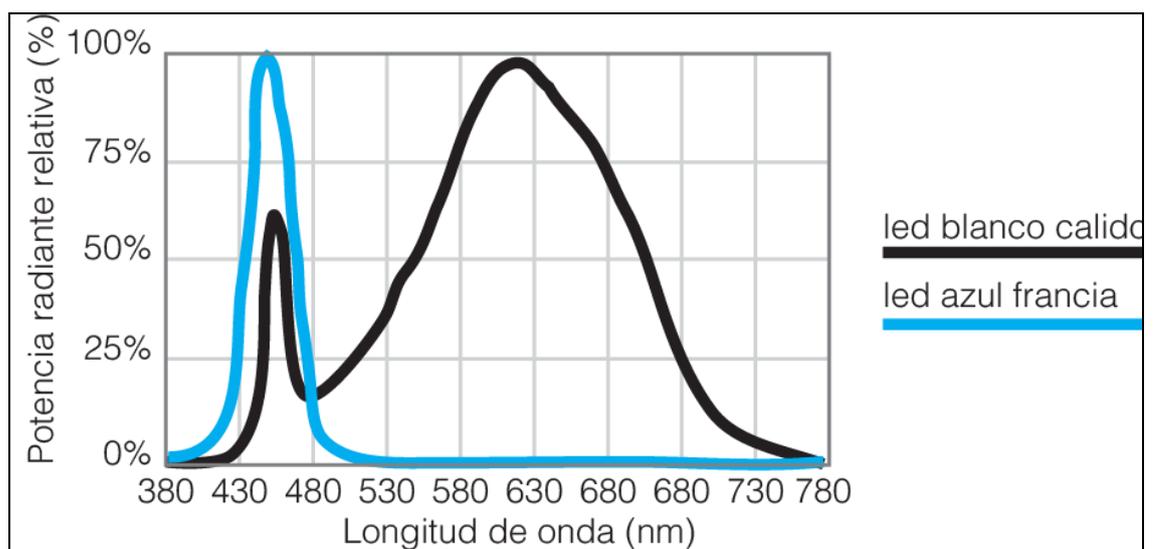


IMAGEN 1 - REPRESENTACIÓN DE ESPECTRO DE LUMINARIA CON LEDS BLANCOS Y AZULES. EXTRAIDA DE TESIS DE MAESTRÍA DE SEBASTIÁN FERNÁNDEZ.

¹ Tesis de maestría de Sebastián Fernández. <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2015/Fer15/Fer15.pdf>

La segunda permite controlar el espectro en bandas y está construida a partir de 7 leds monocromáticos. En la Figura de la Imagen 2 se puede ver una representación del aporte de cada uno de los leds.

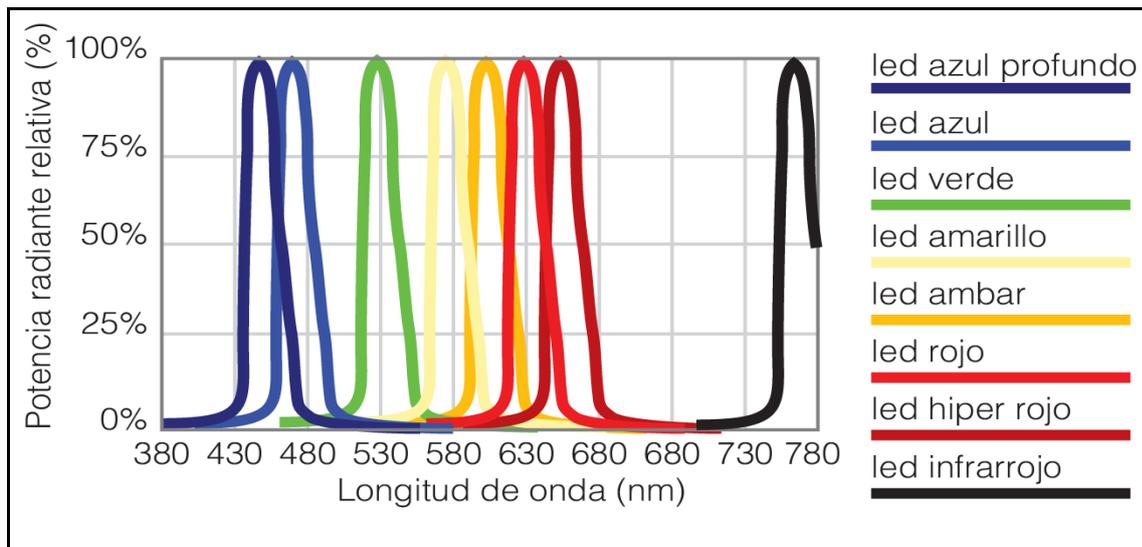


IMAGEN 2 - REPRESENTACIÓN DE ESPECTRO DE LUMINARIA CON LEDS DE COLOR. EXTRAIDA DE TESIS DE MAESTRÍA DE SEBASTIÁN FERNÁNDEZ.

El uso de leds no solo permite una emisión de radiación controlada, sino que las fuentes de poder que los alimentan ya cuentan con interfaces que facilitan su control. Algunas de ellas son simples, como por ejemplo, control con voltajes que van desde 0 a 10V o señales PWM que atenúan en forma proporcional la potencia, como otros más complejas, como DALI, que permiten interrogar el estado de las luminarias y conectarlas en un bus, pudiendo enviar comandos a todas a la vez o a una en particular.

Para el control preciso de la radiación lumínica recibida por las plantas es necesario el uso de un espectroradiómetro². Este dispositivo permite medir la cantidad y calidad de radiación lumínica recibida en cada banda de longitudes de onda y por lo tanto provee al usuario de un feedback para modificar la potencia luminosa emitida por las luminarias con el fin de obtener la radiación deseada.

De esta manera se completa el sistema diagramado en bloques según puede observarse en la Imagen 3.

² Espectroradiómetro: instrumento que permite medir la radiación absoluta en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético.

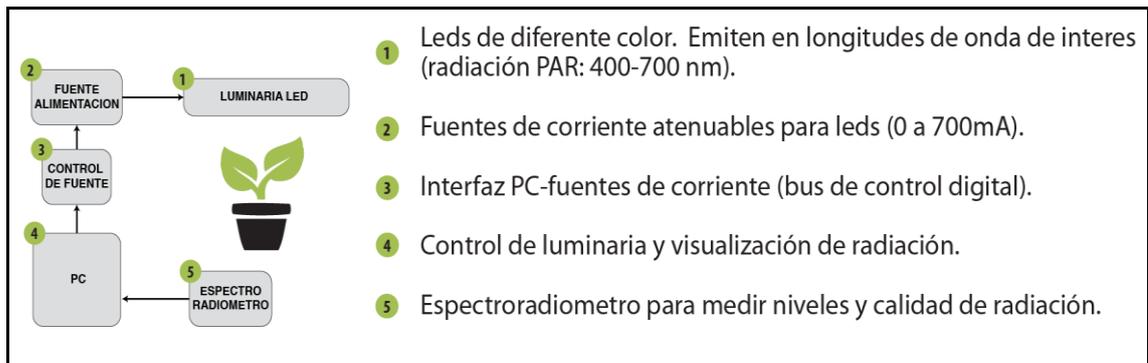


IMAGEN 3- DIAGRAMA DE SISTEMA ACTUAL. EXTRAIDA DE TESIS DE MAESTRÍA DE SEBASTIÁN FERNÁNDEZ.

El problema de este sistema es que, en caso de querer replicarlo, los costos de un PC, interfaz de control de fuentes DALI y espectroradiómetro son elevados, del entorno de los USD 6500 (USD 5500 espectroradiómetro, USD 500 Notebook, USD 500 interfaz PC a DALI). A raíz de este problema es que surge el proyecto SECon LAI.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Actualmente en la Facultad de Agronomía se cuenta con una cámara de fenotipado³ dotada con un sistema capaz de controlar temperatura, humedad y radiación lumínica.

Con el sistema actual es posible detectar algunos problemas que dificultan tanto el uso del mismo, como su replicación. La necesidad de contar con un PC para el manejo de las luminarias implica dificultades de portabilidad y de manejo.

A su vez, para obtener información sobre la potencia lumínica que es efectivamente recibida por las plantas, se utiliza un espectroradiómetro de la marca Ocean Optics⁴. El mismo tiene un precio de aproximadamente USD 5500 por lo que dificulta las posibilidades de replicar el sistema debido a su alto costo.

Debido a que el protocolo utilizado para comunicación con las luminarias es DALI, resulta complejo y engorroso agregar y quitar luminarias. Para realizar dichas tareas se necesitan conocimientos del protocolo y se hace de manera artesanal, teniendo que contar con un técnico especializado que configure el sistema cada vez que se requiera hacer un cambio.

Para ajustar las luminarias a la potencia deseada, el operario debe realizar un procedimiento engorroso, reiterando la secuencia de establecimiento de potencia y medición hasta lograr el resultado deseado para cada una de las bandas. Este proceso no solo requiere un alto conocimiento de las herramientas utilizadas, sino que implica un difícil y lento método para establecer las condiciones de potencia objetivo.

Muchos controladores comerciales⁵ tienen la capacidad de definir escenas (diferentes combinaciones de nivel de emisión de luz de las luminarias que controlan) y que estas se seleccionen manualmente mediante pulsadores, en base a una programación horaria o dependiendo del nivel de luz que reporta un sensor de luz ambiente. SECon LAI incluye dichas funcionalidades y agrega una solución innovadora: control de potencia basado en la radiación que reciben las plantas. El uso de un espectroradiómetro y que los niveles puedan controlarse trabajando en unidades de radiación, le confieren esa característica única convirtiéndolo en una herramienta valiosa, tanto para investigación como para producción.

³ Espacio de ambiente controlado para el estudio del comportamiento de plantas frente a diferentes estímulos.

⁴ <http://oceanoptics.com/product-category/usb-series/>

⁵ Algunos ejemplos: <http://bit.ly/2dLdjlU> <http://bit.ly/2dSBMXu> <http://philips.to/2drC2t6>

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de SECon LAI es diseñar y fabricar un sistema basado en un microcontrolador que interactúe con luces led permitiendo a un usuario seleccionar un nivel determinado de iluminación, de manera manual o programada.

Determinar la iluminación recibida por las plantas y de esta manera configurar de manera automática la luminaria para complementar esa iluminación hasta lograr el ambiente deseado.

3.2 OBJETIVOS PARTICULARES

Se busca como objetivo que el sistema a desarrollar sea capaz de manejar potencia de hasta 30 luminarias para el protocolo DALI (Digital Addressable Lighting Interface) y hasta 3 luminarias para el protocolo 0-10V. Se apunta a que el sistema a desarrollar sea portable, robusto y maneje una interfaz sencilla y amigable para el usuario final.

Para DALI, a su vez, se desea implementar una solución para la asignación automática o semiautomática de direcciones de las luminarias, de manera que pueda ser realizado por cualquier persona sin conocimientos técnicos del protocolo.

En cuanto a los modos de funcionamiento del sistema, se busca que sea capaz de manejar manualmente la potencia de las luminarias tanto para DALI como para 0-10V.

Para DALI también se requiere que el sistema pueda recibir secuencias de niveles de luz a generar a lo largo del tiempo y que el controlador modifique automáticamente las potencias sin necesidad de contar con un operario para ejecutar el cambio. Esta información se debe recibir por puerto serie desde un PC y almacenarse en el dispositivo.

Se desea encontrar una manera de facilitar el establecimiento de potencia recibida por las plantas sin necesidad de incurrir en el reiterativo procedimiento actual de establecimiento de potencia y medición el resultado. Para esto se pretende desarrollar un modo de ajuste automático de potencias a partir de la potencia deseada y la recibida por los cultivos.

Para lograr el automatismo en el establecimiento de la potencia es necesario medir radiancia absoluta en $\frac{\mu W}{cm^2}$ y $\frac{\mu mol}{s.cm^2}$ (micromoles de fotones por centímetro cuadrado por segundo) para distintas bandas de longitudes de onda dentro del espectro visible. Por lo cual, es objetivo del proyecto encontrar y desarrollar un método para adquirir esta medida.

Se buscará en todo momento reducir los costos del sistema diseñado. Como referencia, el objetivo es que los componentes y placa del controlador básico (sin medida de la radiación) en cantidades de producción tenga un costo menor a U\$70 en origen.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

4 DESCRIPCIÓN GENERAL

El diseño y fabricación del sistema SECon LAI abarcó tareas de diseño de hardware, selección y compra de componentes, desarrollo de firmware para microcontrolador y rutinas de MatLab en un PC.

En el presente capítulo se realiza una descripción de alto nivel de las partes que componen SECon LAI y las funcionalidades que posee. En la Imagen 4 se observa el dispositivo terminado y a continuación un diagrama general del sistema completo.



IMAGEN 4- DISPOSITIVO SECON LAI FINALIZADO.

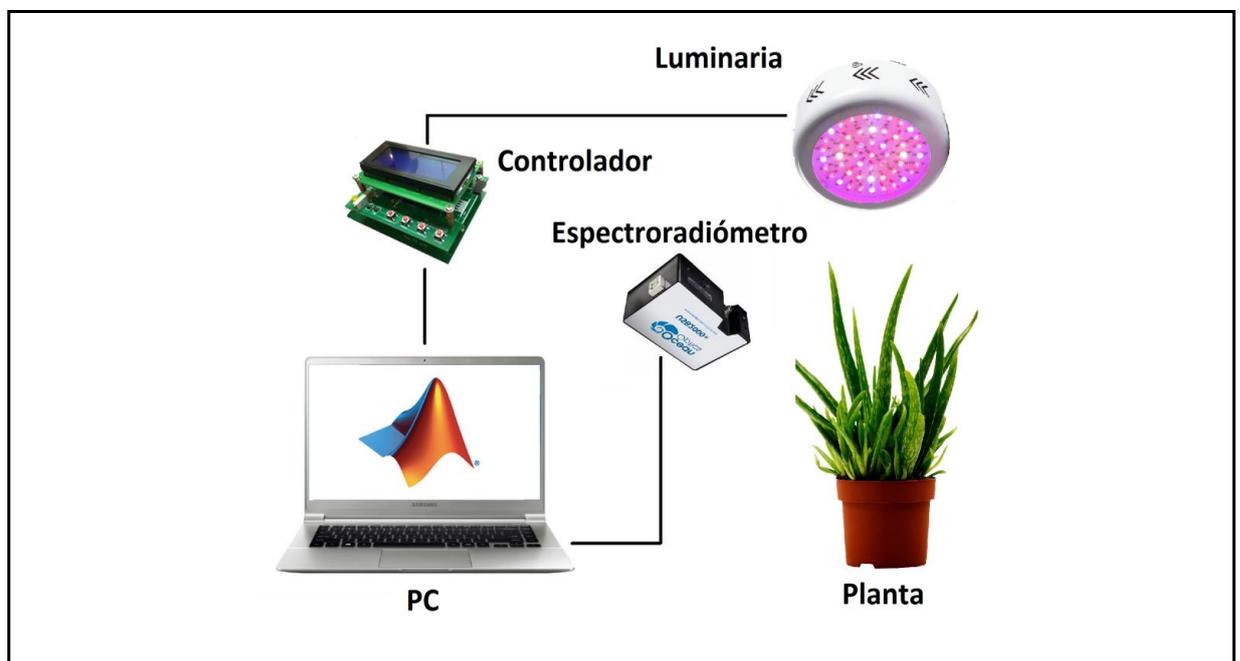


IMAGEN 5- DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA.

El controlador SECon LAI es el núcleo del sistema. Interactúa con el operario, recibe datos de las condiciones de potencia lumínica a través de un PC y toma decisiones ejecutando la acción correspondiente.

La interacción con el usuario es lograda a través de botones y una pantalla LCD generando un sencillo menú. La PC aparece con la necesidad de crear una interfaz entre el espectralradiómetro y el controlador, y también como una forma sencilla de enviar grandes cantidades de datos al controlador. El sistema es capaz de manejar protocolos DALI y 0-10V por lo que cuenta con conexión y comunicación a ambos tipos de luminarias.

A modo de panorama general se detallan las principales características del sistema SECon LAI:

- **Multiprotocolo** - El sistema permite seleccionar el protocolo a utilizar, DALI o 0-10V, tal como se puede ver la imagen 6. No es posible usar balastos DALI y 0-10V al mismo tiempo.



IMAGEN 6- MENÚ DE CONFIGURACIÓN INICIAL.

- **Reconocimiento automático de luminarias** - En caso de estar utilizando el sistema con protocolo DALI, SECon LAI permite agregar o eliminar luminarias.

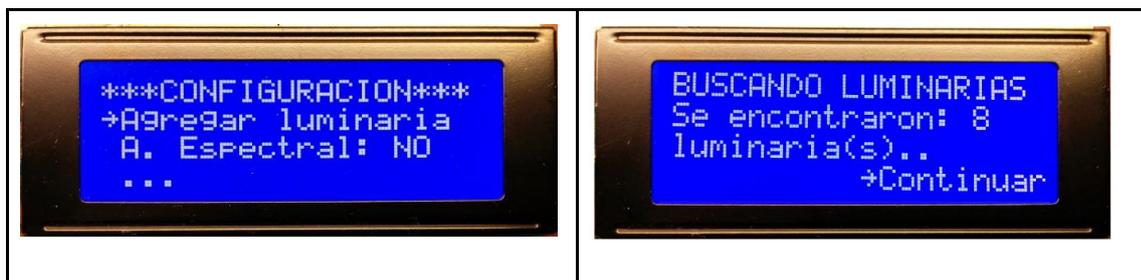


IMAGEN 7- RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE LUMINARIAS.

- **Modificación de fecha y hora del sistema** - En la sección de configuración, el sistema permite modificar la hora y fecha, la cual será utilizada en el modo de funcionamiento "Modo Temporizado".

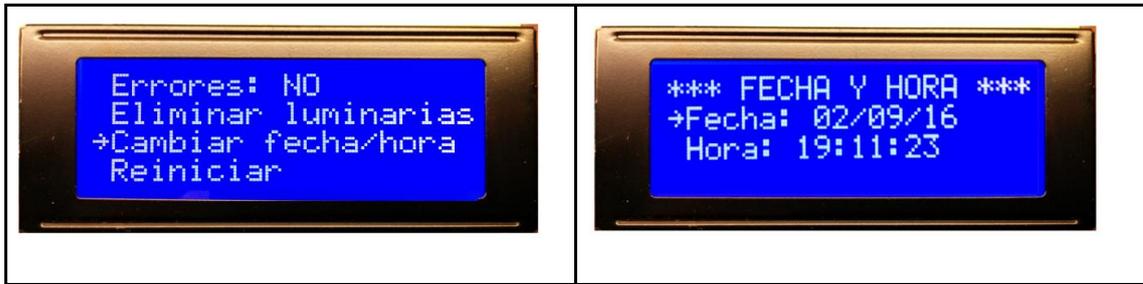


IMAGEN 8- MENÚ DE MODIFICACIÓN DE FECHA Y HORA.

- **Consulta de errores en luminarias** - En caso de utilizar protocolo DALI es posible realizar la consulta de errores. En caso de detectar una falla en los leds, se muestra en pantalla "ERRORES: SI".

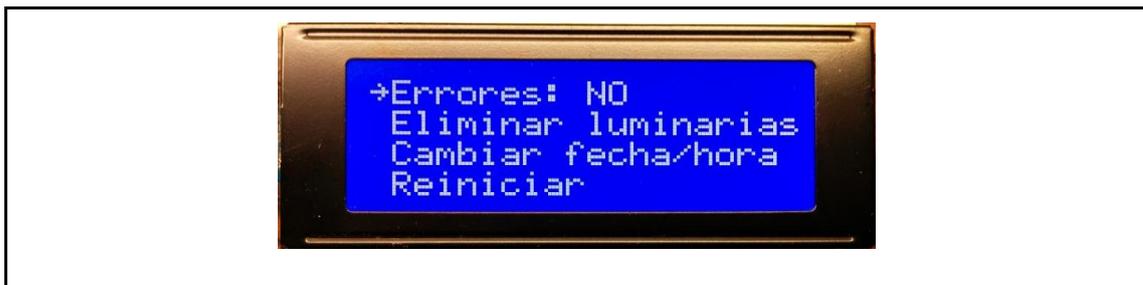


IMAGEN 9- CONSULTA DE ERRORES EN LUMINARIAS.

- **Modo manual** - Permite cambiar la potencia de cada luminaria individualmente, así también como editar su rango de longitudes de onda y su nombre. Estas variables son utilizadas en los modos de funcionamiento "Modo Temporizado" y los modos "Ajuste Automático" y "Ajuste Automático Temporizado".

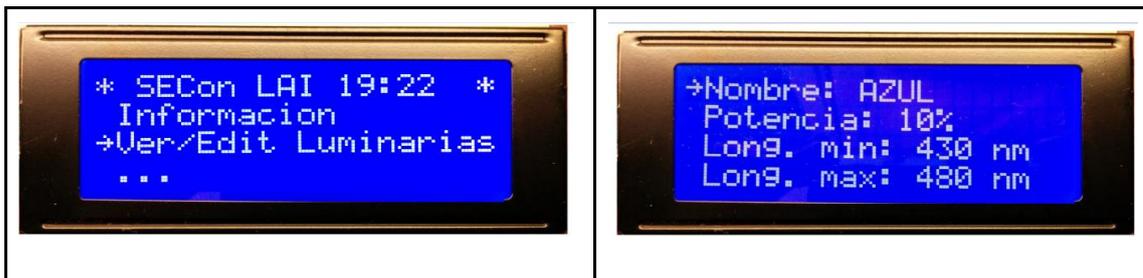


IMAGEN 10- MODO MANUAL. EDITAR LUMINARIA

- **Modo temporizado** - Recibe una tabla de tiempos y potencias desde un dispositivo externo (una PC en este caso) y la ejecuta en ese momento o a la hora deseada.
- **Modo ajuste automático** - Obtiene datos de la PC para ajustar todas las luminarias configuradas a la potencia (radiancia absoluta) objetivo. Una vez alcanzada dicha potencia, el sistema cesa de ajustar las potencias.
- **Modo ajuste automático continuo** - Realiza un ajuste automático cada 30 segundos para compensar los cambios en la iluminación exterior.

Cuando se ingresa al menú configuración, en el apartado "A. Espectral" (Ajuste Espectral), se necesita ingresar la potencia deseada en cada luminaria para que luego,

el sistema se comunice con la PC para obtener datos de la potencia en cada banda de longitudes de onda y así generar la radiancia deseada para cada fuente de luz.

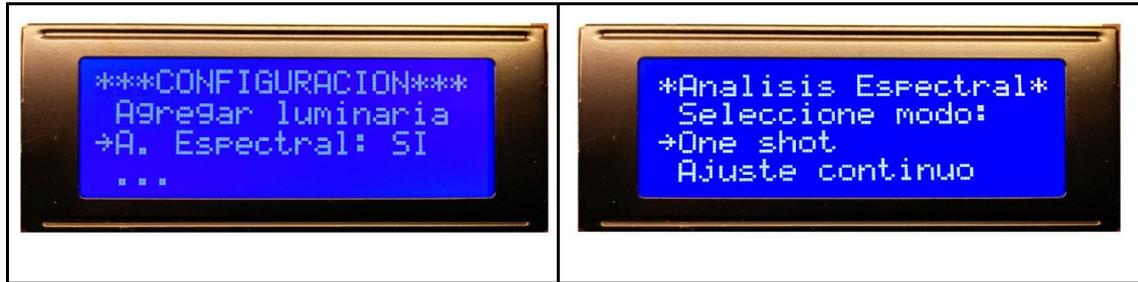


IMAGEN 11- MENÚ DE MODOS CON AJUSTE AUTOMÁTICO.

Si se selecciona modo automático con ajuste continuo, una vez que se alcanza la potencia deseada, el sistema vuelve al menú principal. Cada 30 segundos ejecuta un nuevo ajuste para compensar por cambios en luz ambiente. De todas formas, este ajuste es más rápido pero solo puede cambiar hasta un 2% de la potencia máxima de cada luminaria.

- **Reinicio de sistema** - Es posible reiniciar el sistema de manera de volver a las condiciones iniciales. Por defecto el sistema inicia en modo manual.

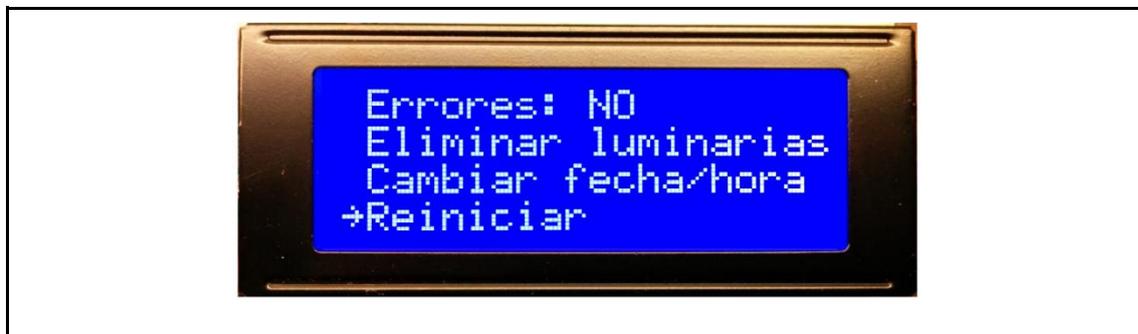


IMAGEN 12- MENÚ DE REINICIO DE SISTEMA

5 HARDWARE

El sistema se basa en una estructura central que, mediante la interfaz con el usuario a través de una pantalla display, una botonera de 4 botones y conexión con una PC, logre controlar luminarias mediante protocolo DALI o 0-10V de manera inmediata o programada. A modo de panorama general, en la Imagen 13 se muestran las conexiones y protocolos utilizados entre todos los módulos del sistema.

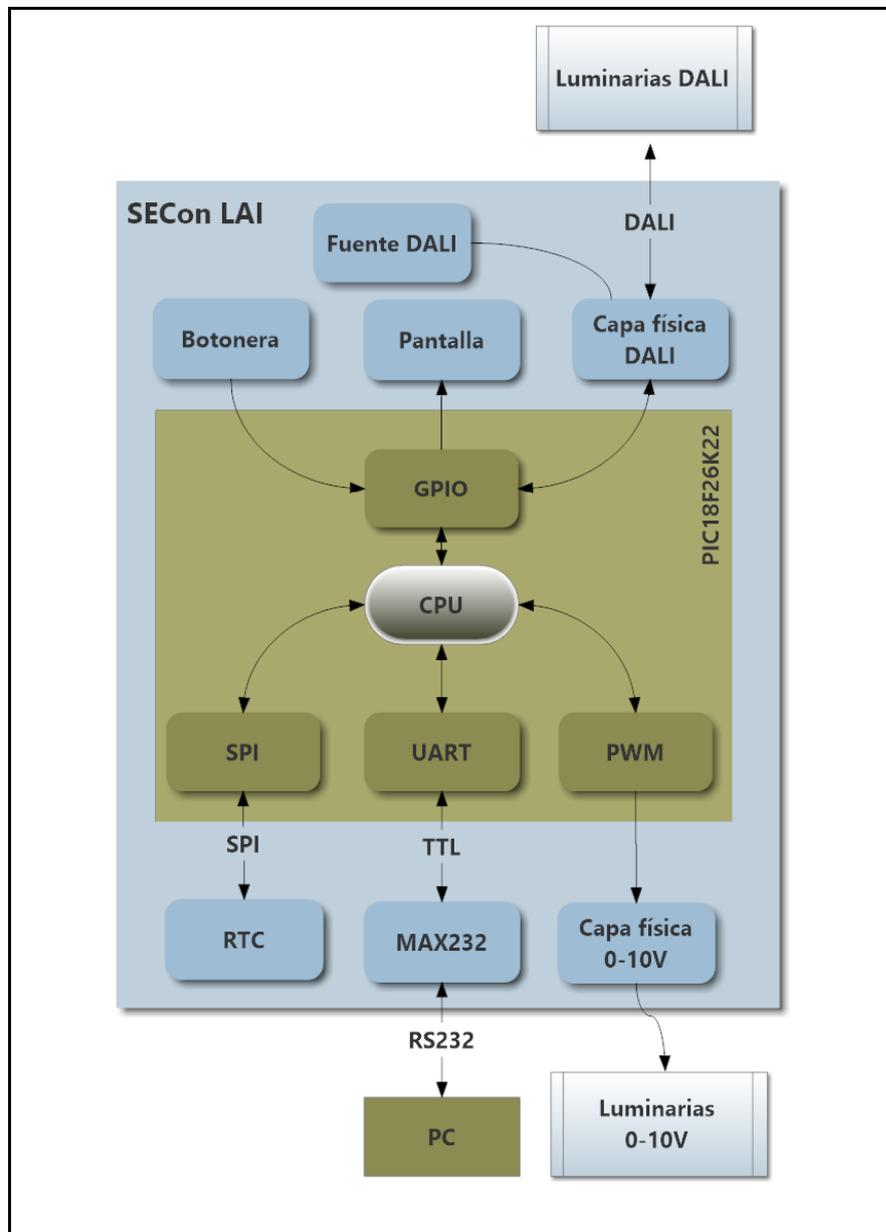


IMAGEN 13- DIAGRAMA GENERAL DE HARDWARE

5.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Basándose en las necesidades del sistema, se establecieron los requerimientos de cada uno de los componentes para su posterior selección.

5.1.1 MICROCONTROLADOR

Los requerimientos para el microcontrolador se basan en las exigencias de las funcionalidades establecidas:

- Botonera: 4 entradas digitales.
- Pantalla: 6 salidas digitales.
- TX/RX DALI: 1 entrada digital y 1 salida digital.
- RTC: módulo I²C.
- Comunicación PC: módulo UART.
- 0-10V: 3 módulos PWM.
- Velocidad de reloj suficiente para transmisión a 9600bps.

También se tuvieron en cuenta la memoria RAM, memoria de programa y EEPROM, las herramientas de desarrollo, el costo y la disponibilidad del microcontrolador.

Para cumplir con los requerimientos de las funcionalidades se eligió el microcontrolador PIC18F26K22 de Microchip Technology con las siguientes características⁶:

- Hasta 24 pines GPIO.
- 1 módulo I²C.
- 2 módulos UART.
- 5 módulos PWM.
- Reloj interno hasta 16MHz. Suficiente para comunicación a 9600bps.
- Memoria RAM: 3896 bytes.
- Memoria de programa: 64 Kbytes.
- Memoria EEPROM: 1024 bytes.

⁶ Más detalles en hoja de datos: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001412G.pdf>

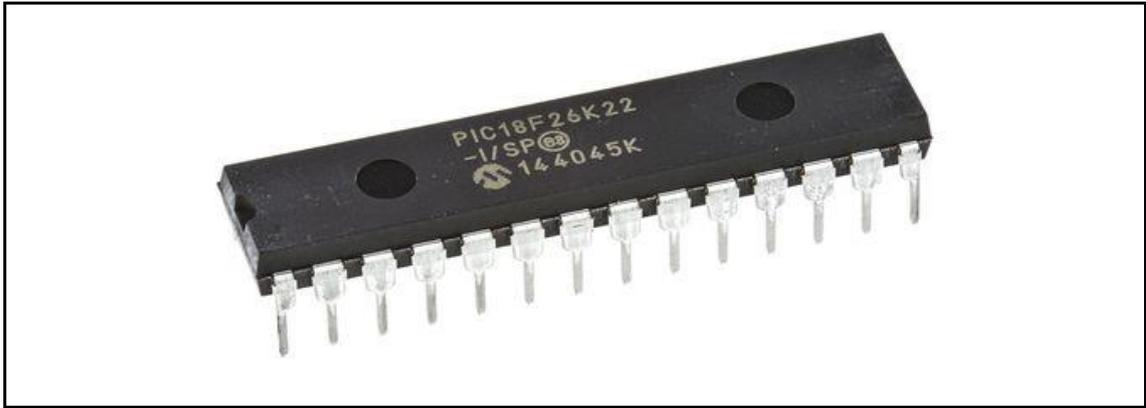


IMAGEN 14- PIC18F26K22 28-PIN PDIP. IMAGEN EXTRAIDA DE WWW.MICROCHIP.COM

Con respecto al costo, el mismo ronda los U\$D 2.5 en EEUU. Tiene una amplia disponibilidad y las herramientas de desarrollo de Microchip son gratuitas y sencillas de utilizar ya que se basan en NetBeans, un editor y compilador de código ampliamente conocido y depurado.

5.1.2 PANTALLA

Para crear una comunicación sencilla y eficiente con el usuario, se decidió contar con una pantalla de 4 líneas y con 20 caracteres cada una. Estos tipos de pantallas son fácilmente manejables, económicas y de alta disponibilidad. En particular se eligió el modelo de pantalla 2004A, ensamblada por varios fabricantes, y con las siguientes características:

- 16 pines (8 de datos, enable, R/W, RS, VO, VDD, VSS, BLK, BLA).
- 4 líneas de 20 caracteres cada una.
- Ajuste contraste.
- Modo de datos de 8 o 4 pines.



IMAGEN 15- PANTALLA MODELO 2004A

5.1.3 BOTONERA

Como interfaz de manejo manual para el usuario se optó por el uso de una botonera de 4 botones identificados como “Atrás”, “Arriba”, “Abajo” y “Enter”. Para la implementación de los mismos, teniendo en cuenta simplicidad, precio y disponibilidad, se seleccionaron botones tipo “pushbutton” normal abierto de soldadura en placa.

5.1.4 REAL TIME CLOCK

Se seleccionó un módulo RTC sencillo, ya que se necesita que almacene hora y fecha, sin ningún requerimiento extra. Por disponibilidad y costo se obtuvo un módulo diseñado para placas Arduino basado en el integrado DS3231 de Maxim Integrated. El mismo posee una interfaz I²C y su alimentación es compatible con 5V.

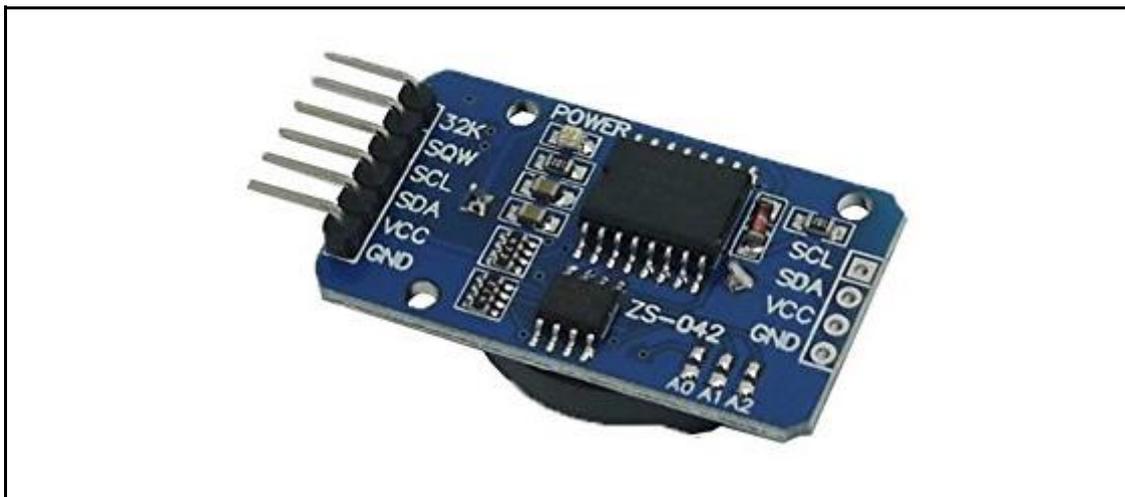


IMAGEN 16- MÓDULO RTC BASADO EN EL INTEGRADO DS3231

5.1.5 CAPA FÍSICA DALI

Para cumplir con la necesidad de contar con comunicación DALI fue necesario implementar una capa física DALI capaz de transmitir y recibir correctamente los comandos según lo establecido por el protocolo. El circuito utilizado está basado en una nota de aplicación de Microchip Technology⁷.

⁷ <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01465A.pdf>

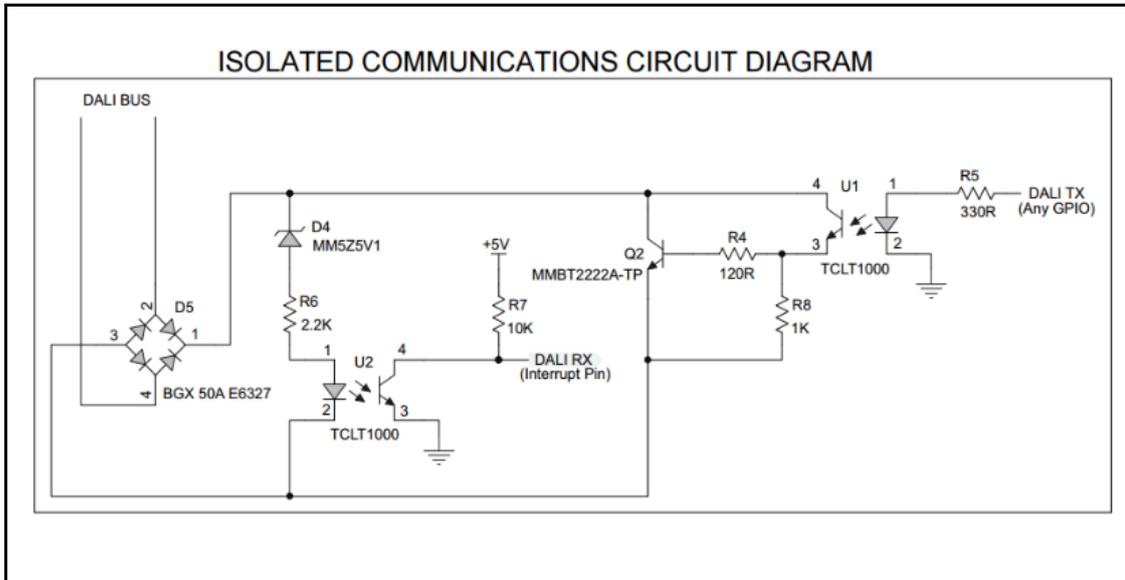


IMAGEN 17 - ESQUEMÁTICO SUGERIDO PARA CAPA FÍSICA DALI. EXTRAIDO DE WWW.MICROCHIP.COM

Los componentes detallados en el esquemático provisto por Microchip Technology indicados en la Imagen 17 y los finalmente implementados son compatibles aunque difieren en el modelo. En el esquemático de la Imagen 18 se encuentra descrito el circuito utilizado en el SEConLAI.

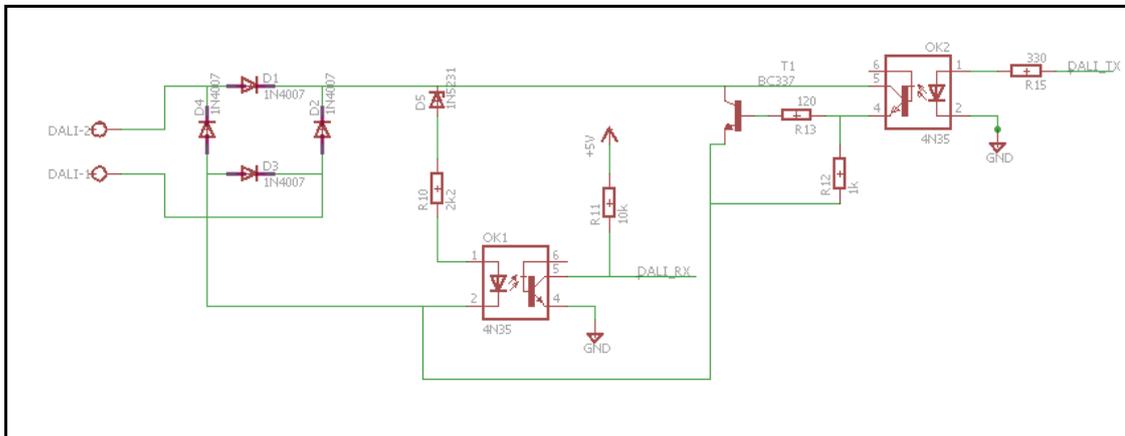


IMAGEN 18- ESQUEMÁTICO DE CAPA FÍSICA DALI IMPLEMENTADO.

Para el correcto funcionamiento del circuito es necesario alimentar la capa física con una fuente de voltaje limitada en corriente. En la misma nota de aplicación de Microchip se muestra la forma de construirla.

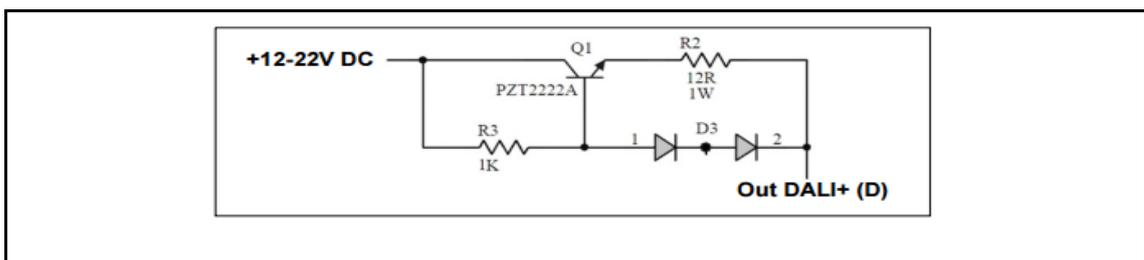


IMAGEN 19- FUENTE DE VOLTAJE SUGERIDA. EXTRAIDO DE WWW.MICROCHIP.COM

Para la implementación de la fuente también se utilizaron componentes compatibles, como se muestra en la siguiente imagen.

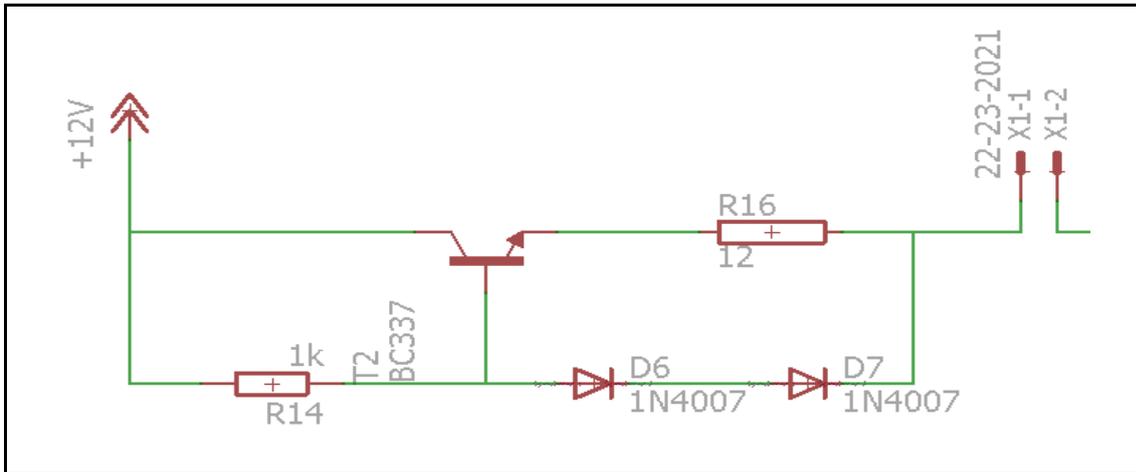


IMAGEN 20- FUENTE DE VOLTAJE DALI IMPLEMENTADA

La fuente se conecta al bus DALI en paralelo, de forma que la salida de la fuente queda conectada a uno de los polos del bus y el otro polo se conecta a la tierra de la fuente. Se coloca un jumper (X1 en Imagen 20) para poder conectar o desconectar la fuente DALI, en caso de que se posea una fuente externa.

El bus DALI no tiene polaridad por lo cual es indiferente que polo se conecta a que parte de la fuente. En el caso de este proyecto, la alimentación de la fuente es de 12V.

El módulo físico DALI es del tipo inversor. Esto quiere decir que cuando la línea de transmisión (DALI_TX en Imagen 18) del microcontrolador está en 5V, el bus DALI está en 0V; cuando la línea de transmisión está en 0V el bus DALI está en voltaje alto, cercano al voltaje primario de la fuente de voltaje (entre 12V y 22V). La línea de recepción del microcontrolador (DALI_RX en Imagen 18) también tiene voltaje inverso al bus DALI.

5.1.6 CAPA FÍSICA 0-10V

El módulo de hardware, para generar un voltaje continuo entre 0 y 10V, se basa en una transmisión de señal PWM desde el microcontrolador con un posterior filtrado RC y amplificación con amplificadores operacionales en configuración no inversora.

En la Imagen 21 se muestra el esquemático de éste módulo.

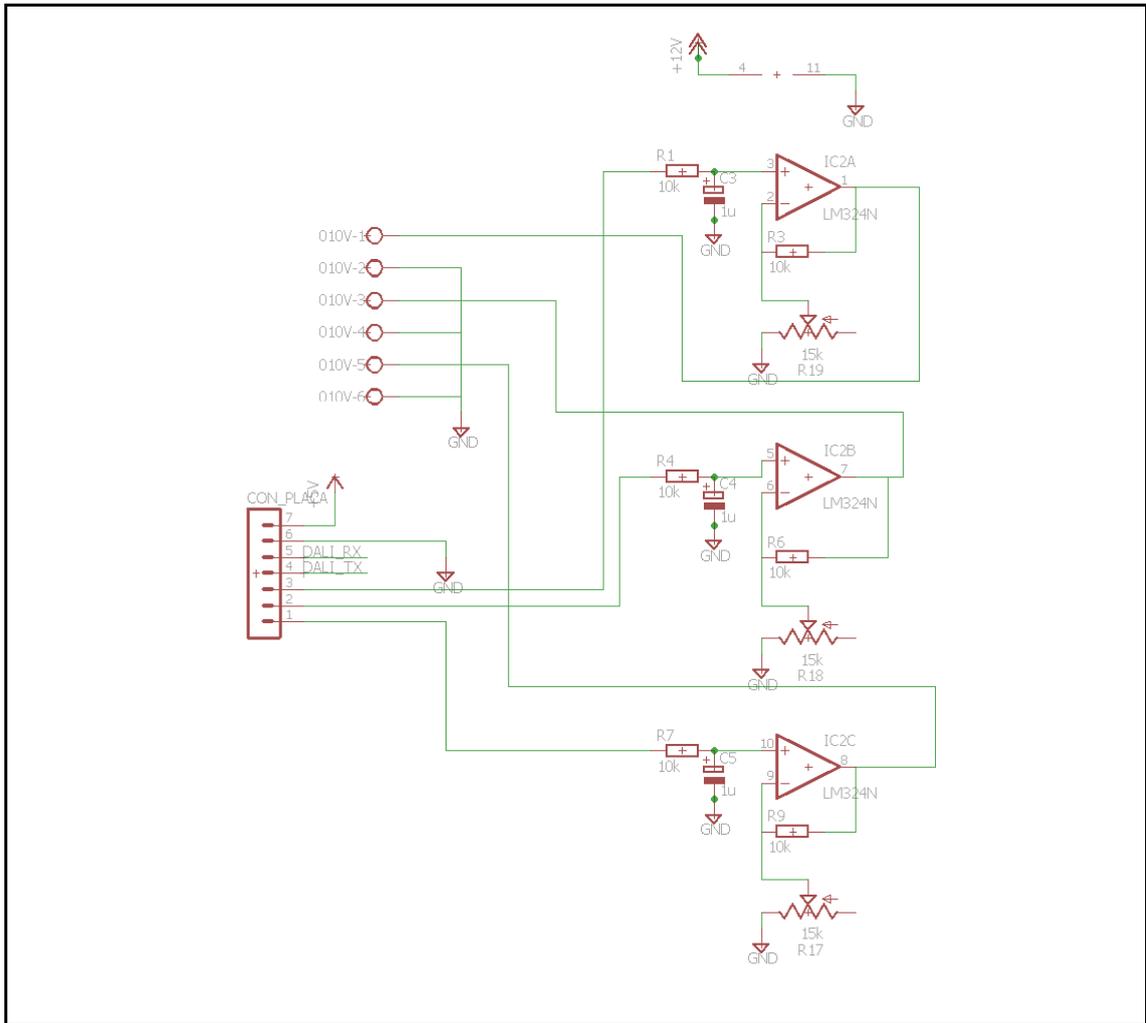


IMAGEN 21- ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO 0-10V

Las señales PWM se obtienen directamente de los módulos PWM del microcontrolador. Variando el “duty cycle” podemos obtener el valor medio que se desee, entre 0V y 5V.

No existen requerimientos para la frecuencia por lo cual se elige la frecuencia por defecto del módulo PWM: 15,575 kHz.

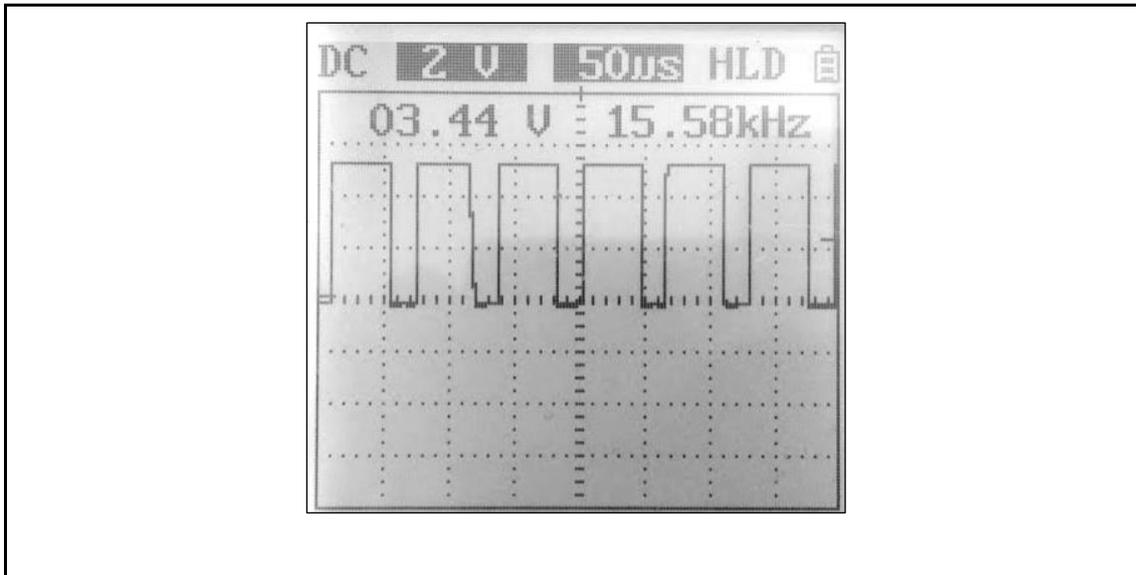


IMAGEN 22- SEÑAL PWM CON DUTY CYCLE 70%

Para obtener el valor medio de la señal PWM se utilizan filtros RC simples de primer orden. Utilizando una resistencia de $10k\Omega$ y un capacitor de $1\mu F$ se obtiene una señal prácticamente continua y con muy bajo ripple como se puede observar en la Imagen 23- Señal PWM de imagen 22 filtrada con filtro RC.

La constante de tiempo $\tau = RC = 0.01s$ es muy pequeña, por lo cual la salida del filtro RC tarda muy poco en obtener el valor deseado a la vista del usuario.

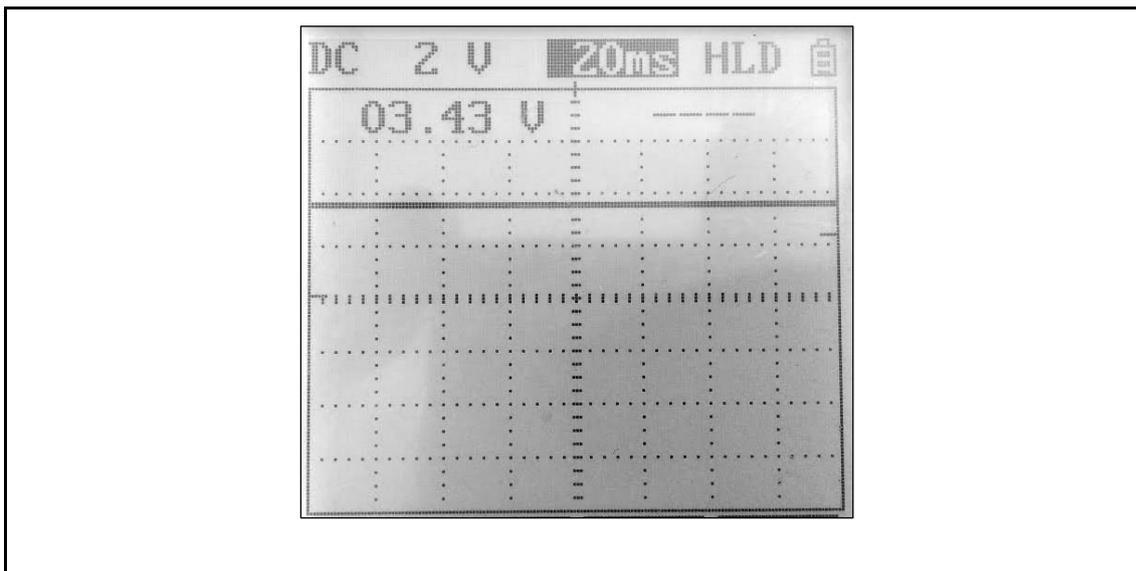


IMAGEN 23- SEÑAL PWM DE IMAGEN 22 FILTRADA CON FILTRO RC.

Para cumplir con el protocolo 0-10V es necesario “mapear” el rango de 0-5 volts de la salida del filtro RC a 0-10 volts. Para ello se usaron amplificadores operacionales en configuración no inversora con alimentación de 12V tal como el diagrama de la Imagen 24.

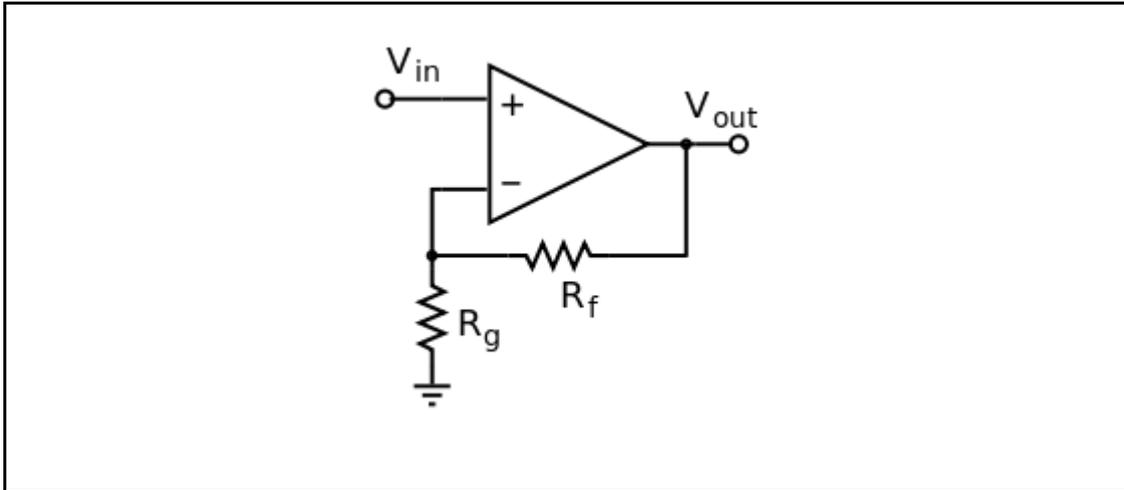


IMAGEN 24- AMPLIFICADOR OPERACIONAL EN CONFIGURACIÓN NO INVERSORA.

$V_{out} = 1 + R_f/R_g$, entonces fue necesario colocar resistencias $R_f = R_g$. Se tomaron ambas resistencias como $10k\Omega$. V_{in} es la salida del filtro RC.

En cuanto a los amplificadores se eligió el chip LM324N de Fairchild que contiene 4 amplificadores operacionales.

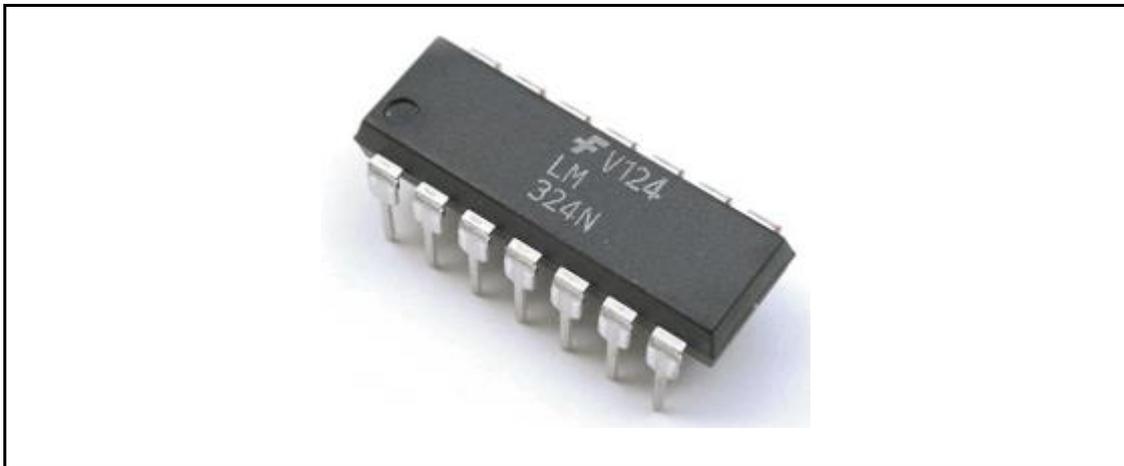


IMAGEN 25- INTEGRADO LM324N DE FAIRCHILD. EXTRAIDO DE WWW.FAIRCHILDSEMI.COM/

Como se puede ver en la Imagen 21 se implementó un potenciómetro en la resistencia R_g para compensar las variaciones de fábrica en los valores de resistencias.

5.1.7 CAPA FÍSICA RS232

Para generar los voltajes necesarios para la comunicación serie con el PC a través de RS232, se utilizó una nota de aplicación de Texas Instruments, la cual se encuentra en la página 10 de la hoja de datos del integrado MAX232 de dicha empresa⁸. En la Imagen 26 se observa el esquemático diseñado.

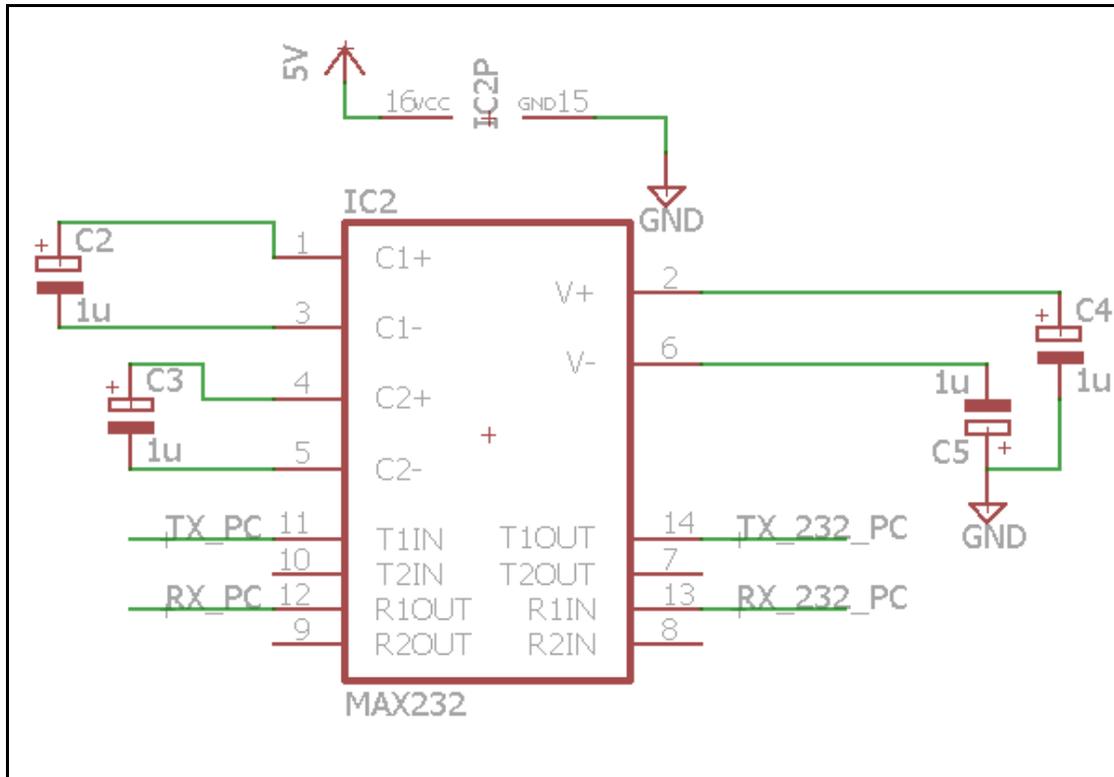


IMAGEN 26- ESQUEMÁTICO DE CAPA FÍSICA RS232

⁸<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>

5.1.8 ALIMENTACIÓN

Para cumplir con los requerimientos de voltaje de todos los componentes se diseñó un sistema de alimentación simple con una entrada de 12V desde un transformador externo y un regulador lineal de tensión LM7805C de Fairchild para obtener 5V.

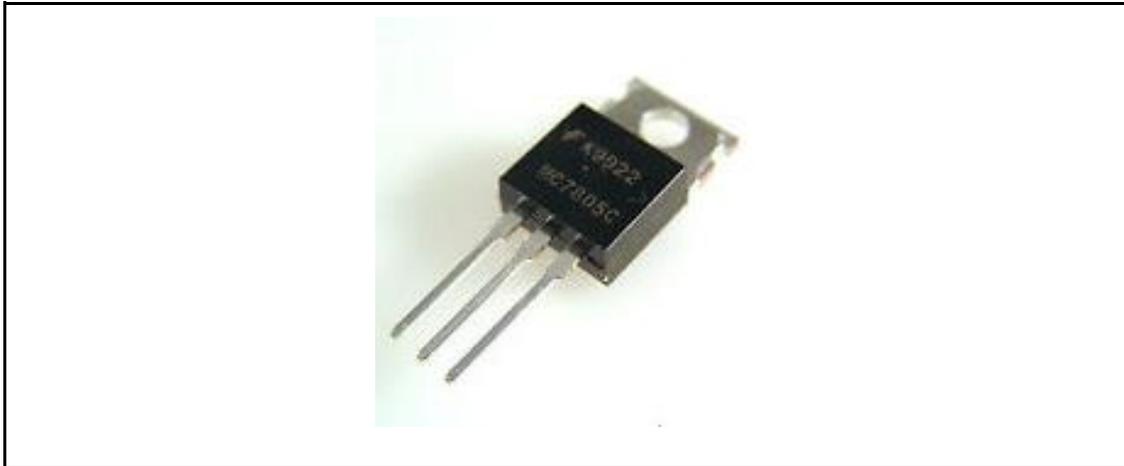


IMAGEN 27- REGULADOR DE VOLTAJE MC7805C DE FAIRCHILD. EXTRAIDA DE WWW.FAIRCHILDSEMI.COM

Se agregan también al circuito de alimentación dos capacitores a la salida de 5V para filtrar ruidos que pueda insertar el regulador lineal LM7805. Se colocó un capacitor electrolítico de $100\mu F$ y un capacitor de $0.1\mu F$ en paralelo.

La razón de colocar dos capacitores es que, si el ripple insertado por el regulador es de alta frecuencia, el capacitor electrolítico comienza a funcionar como una inductancia, por lo cual se necesita un capacitor cerámico. En la Imagen 28 se observa el esquemático de la alimentación.

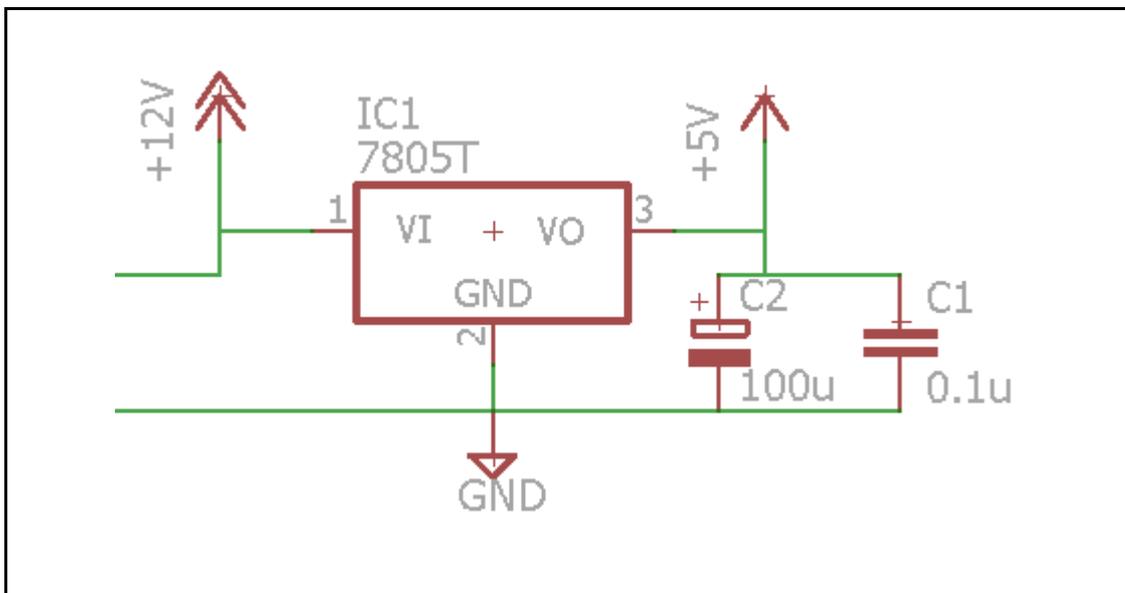


IMAGEN 28- ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO DE ALIMENTACIÓN

5.1.9 PCB

Se decidió realizar el diseño del hardware en 3 capas para facilitar el intercambio de placas y detección de errores: pantalla, PCB de lógica y PCB de potencia.

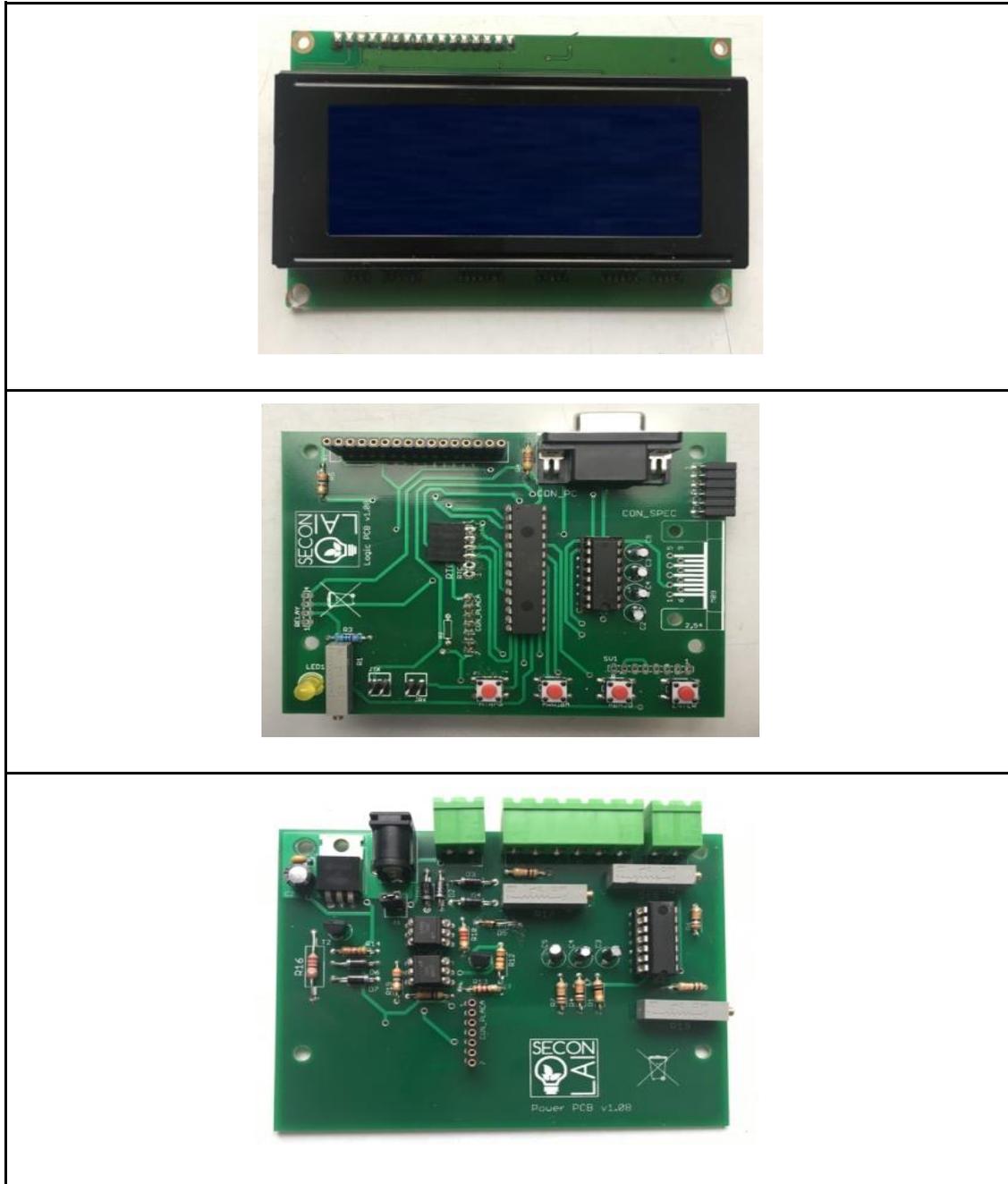


IMAGEN 29- 3 CAPAS DE HARDWARE: PANTALLA, PCB DE LÓGICA, PCB DE POTENCIA

El PCB de potencia contiene los siguientes módulos:

- Alimentación
- Fuente DALI
- Capa física DALI
- Capa física 0-10V

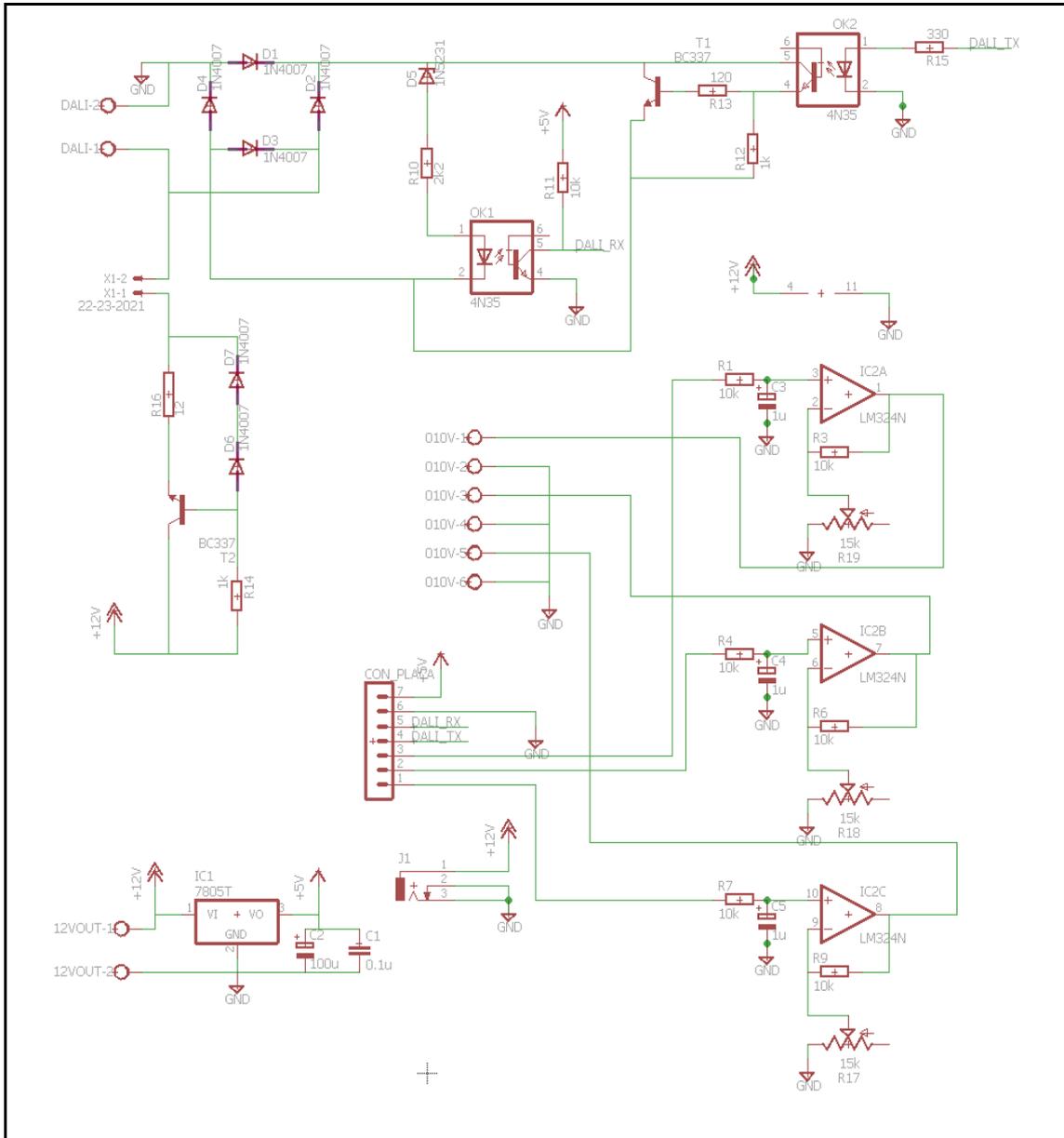


IMAGEN 30- ESQUEMÁTICO DE PCB DE POTENCIA

En la Imagen 30 se observa que existe un conector (CON_PLACA) que se conecta a la placa superior (PCB de lógica) e intercambia las señales PWM, 5V/GND, DALI RX y DALI TX.

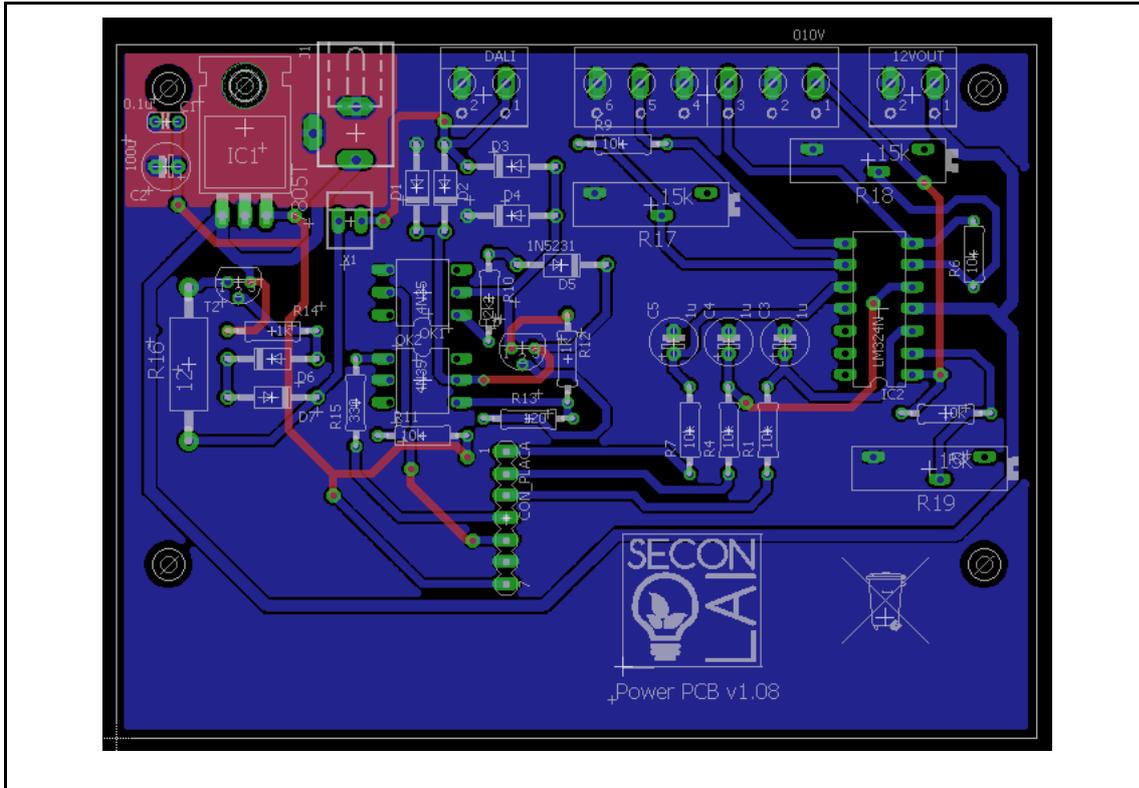


IMAGEN 31- DISEÑO Y RUTEO DE PCB DE POTENCIA

En la Imagen 31 se puede observar que se generó un polígono de tierra (plano azul de relleno) para ayudar a la aislación de ruido electromagnético externo. Por otro lado, el polígono rojo, también es un plano de tierra pero en la capa superior, el cual se conecta a la tierra del regulador LM7805 para ayudar a disipar el calor que éste genera. El conector llamado 12VOUT es una conexión en paralelo a la entrada del transformador externo, para algún caso que se necesite alimentar equipos externos con 12V.

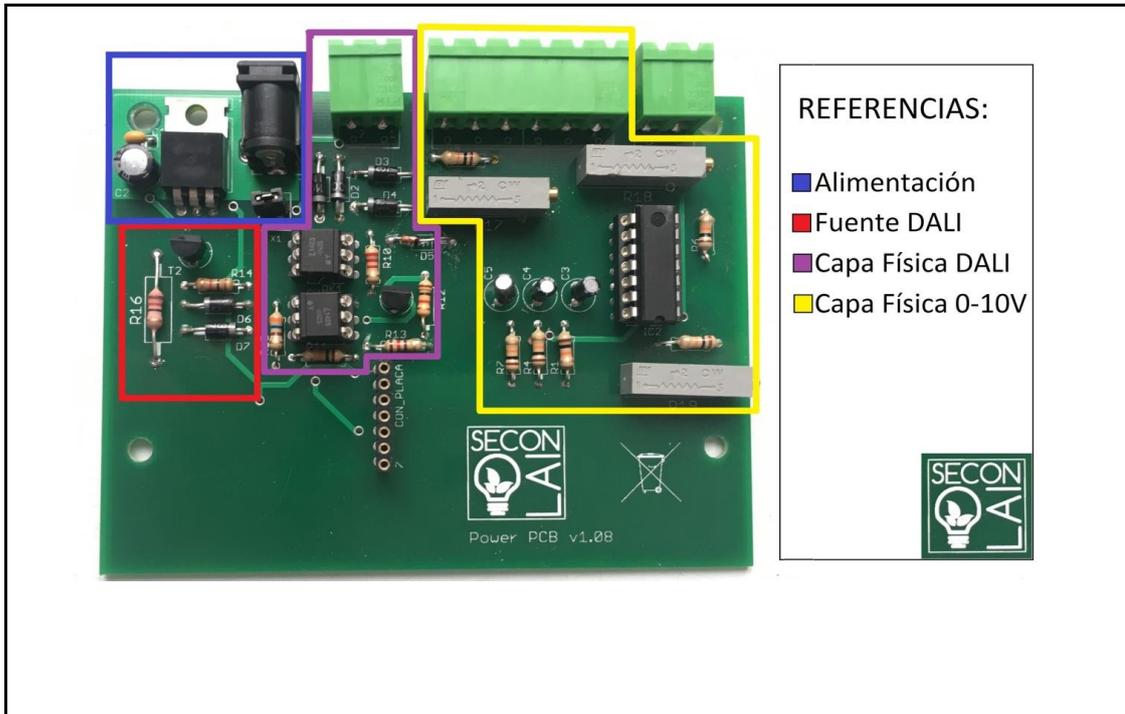


IMAGEN 32- MÓDULOS EN PCB DE POTENCIA.

El PCB de lógica contiene los siguientes módulos:

- Microcontrolador
- Capa física RS232
- Botonera
- Ajuste de contraste LCD

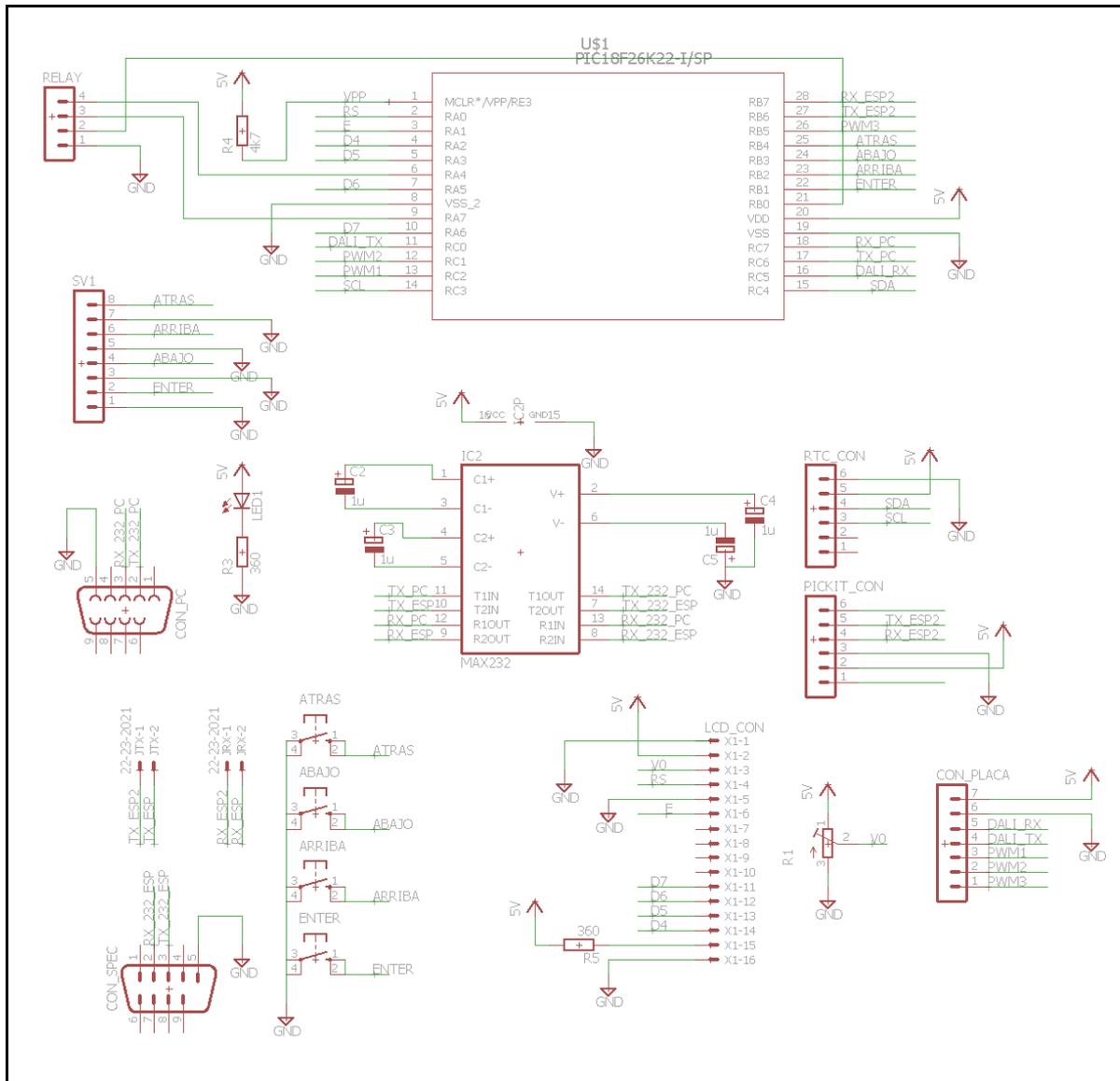


IMAGEN 33- ESQUEMÁTICO DE PCB DE LÓGICA.

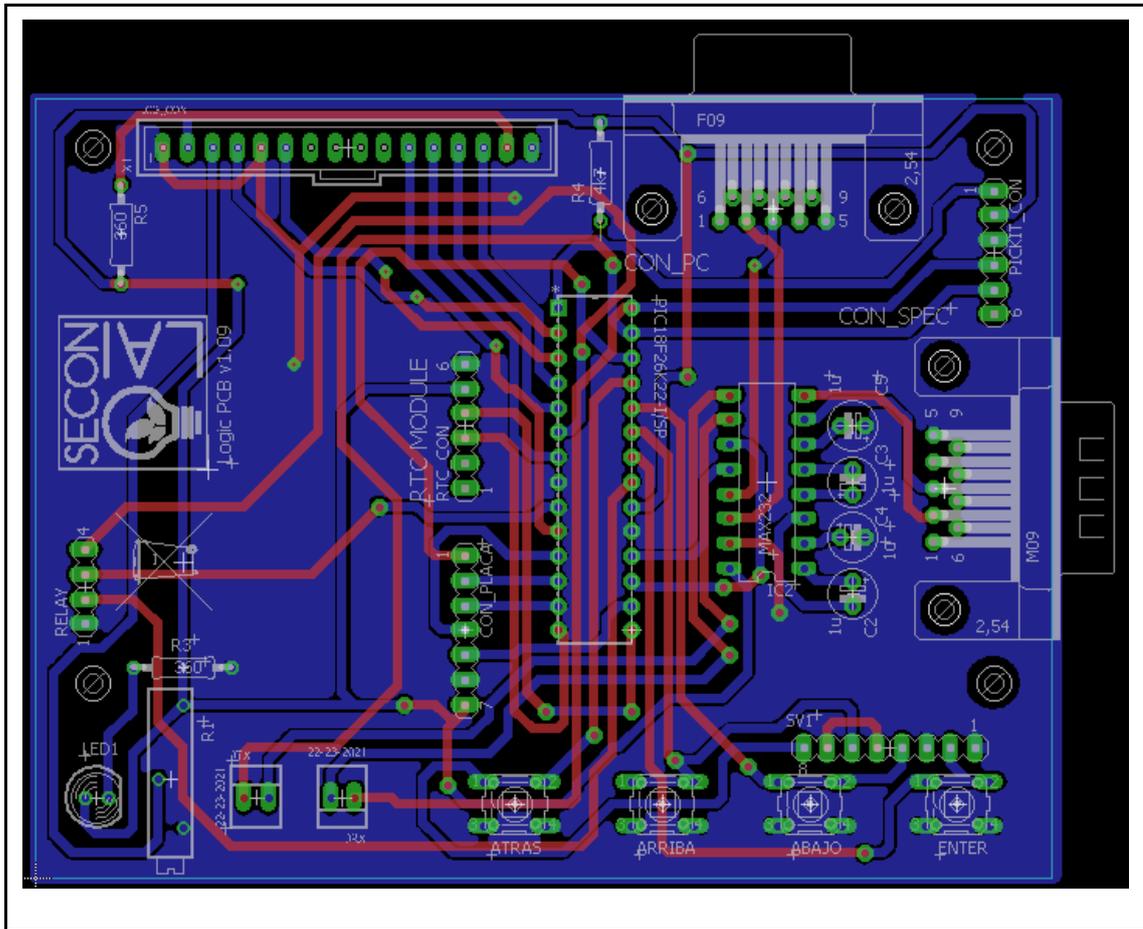


IMAGEN 34- DISEÑO Y RUTEO DE PCB DE LÓGICA.

Se puede observar en Imagen 33 e Imagen 34 que existen dos conectores DB9 para conexión serie RS232. El conector CON_PC ya fue discutido anteriormente y es la interfaz con la PC. El conector CON_SPEC fue diseñado con la idea futura de una conexión directa con un espectroradiómetro.

Los jumpers JRX y JTX conectan y desconectan los pines de RX y TX del conector CON_SPEC del microcontrolador. La razón de dichos jumpers es que el PIC18F26K22 posee dos módulos UART pero uno compartido con el programador PICKIT3, por lo cual es necesario poder desconectar el CON_SPEC cuando se quiere reprogramar la memoria del microcontrolador.

A la izquierda de la Imagen 34 vemos un conector llamado RELAY, el mismo se pensó para aplicaciones futuras de implementación del protocolo 1-10V.

El conector SV1 es un conector para conectar botones externos en caso de no querer utilizar los botones de la placa.

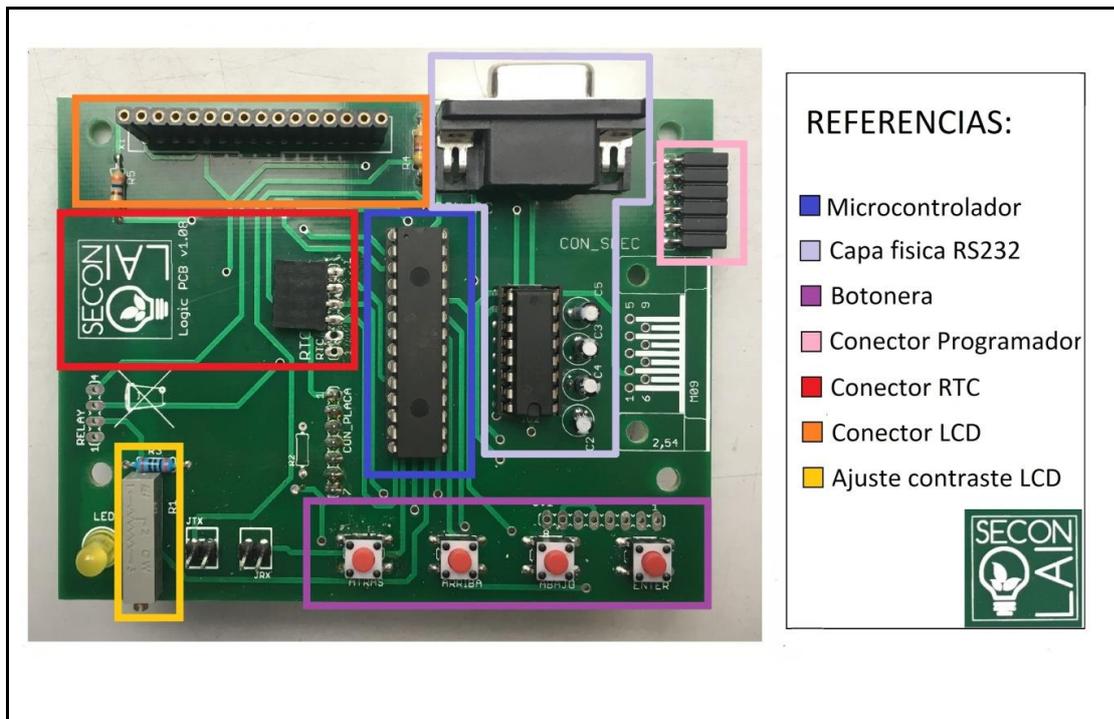


IMAGEN 35- MÓDULOS EN PCB DE LÓGICA

La fabricación de los circuitos impresos finales fue realizada en china por la empresa JacoHK⁹ y los componentes importados del exterior basándonos en la disponibilidad y precios del mercado local.

5.2 CONEXIONADO

Con la finalidad de simplificar la tarea del operador se usaron conectores tipo “Terminal block” de 2 y 6 posiciones para conexión DALI y 0-10V respectivamente. La entrada de corriente para el transformador es un Jack estándar de 5,5mm de diámetro externo y 2mm de diámetro interno, positivo adentro.

Una vez adquiridos los componentes y los circuitos impresos fueron ensambladas las placas según los diagramas de placa de Imagen 31 e Imagen 34. Para finalizar la fabricación se pasó a realizar el conexionado entre placas, pantalla y RTC¹⁰.

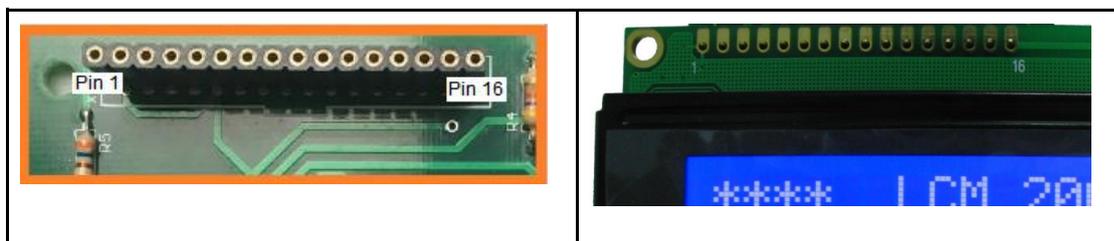


IMAGEN 36- ESQUEMA DE ENSAMBLADO DE PANTALLA

⁹ www.jacohk.com

¹⁰ Ver conector LCD y conector RTC en Imagen 35.

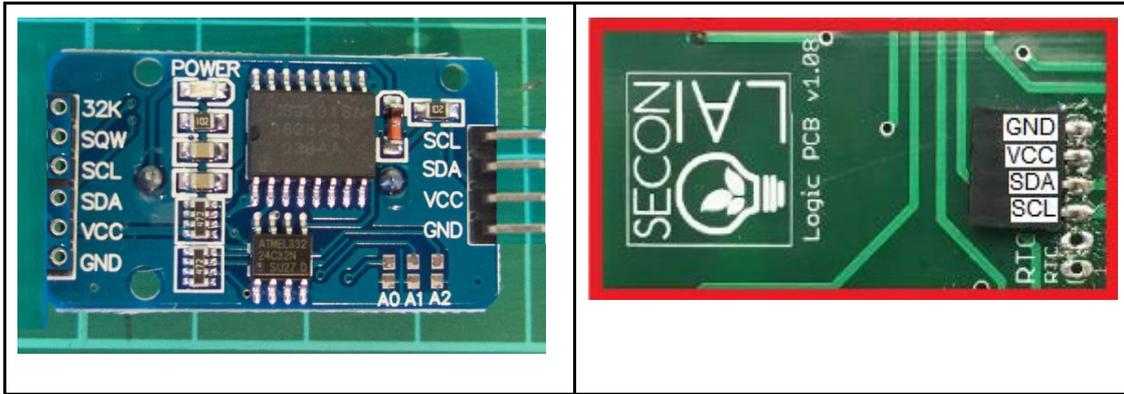


IMAGEN 37- ESQUEMA DE ENSAMBLADO DE RTC

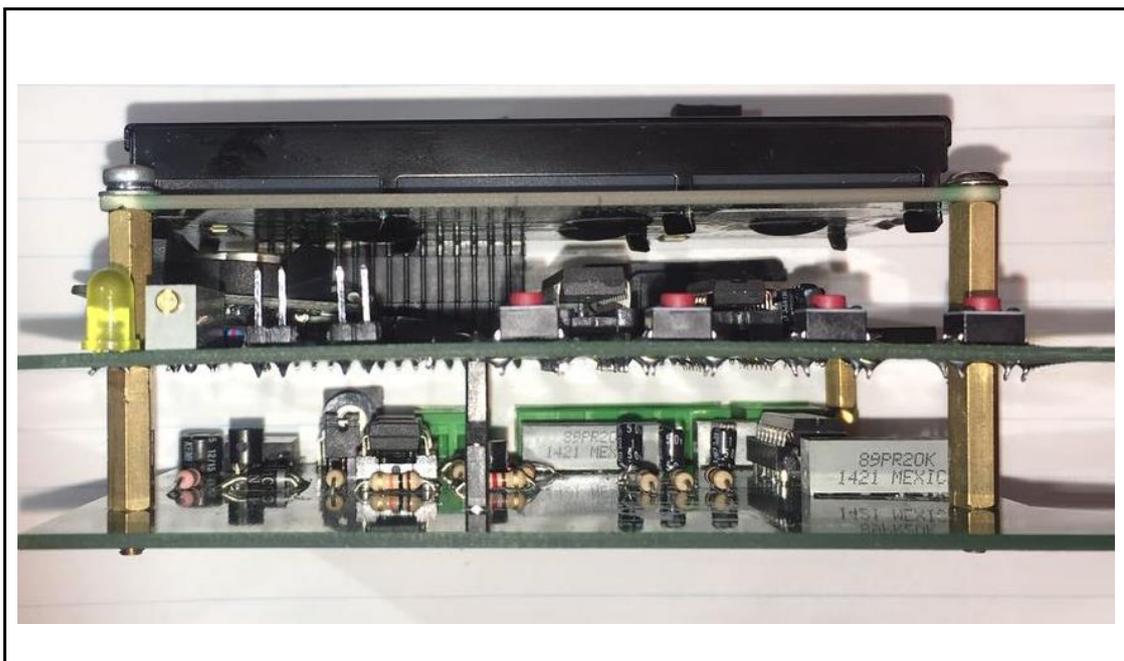


IMAGEN 38- PLACAS ENSAMBLADAS

La conexión entre la PC y el microcontrolador para su programación se realiza mediante la herramienta de programación y depuración PICKIT 3. La misma es desarrollada por Microchip Technology y posee, por un lado, una interfaz USB para la PC y, por otro lado, una conexión directa a los pines microcontrolador a través del conector PICKIT_CON del PCB de lógica.



IMAGEN 39- HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN Y DEPURACIÓN PICKIT 3. EXTRAIDA DE WWW.MICROCHIP.COM

El detalle de las conexiones entre el PICKit 3¹¹ y el PIC18F26K22¹² se ve a continuación en la Tabla 1.

TARGET CONNECTOR PINOUT	
Connector Pin	Microcontroller Pin
1	MCLR/VPP
2	VDD
3	Ground
4	PDG (ICSPDAT)
5	PGC (ICSPCLK)
6	LVP

TABLA 1- DIAGRAMA DE CONEXIONES ENTRE PICKIT 3 Y PIC18F26K22. EXTRAIDA DE LA HOJDA DE DATOS DEL PICKIT 3.

En el caso de este proyecto, se utilizaron solo los pines del 1 al 5 del PICKit 3 ya que el pin número 6 es para programación de bajo voltaje que no se estimó importante implementar.

5.3 COSTO

En resumen, el costo de todos los componentes sumado al costo de fabricación del PCB, para construir una unidad del controlador SECon LAI es de USD 76,9 en origen. Si bien supera el costo objetivo, al realizar la compra en cantidad, por ejemplo 1000 unidades, el costo baja a USD 57,9 en origen¹³.

¹¹ Manual de usuario PICKit 3: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51795B.pdf>

¹² Hoja de datos del PIC18F26K22: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001412G.pdf>

¹³ Valores de componentes tomados de www.digikey.com (excepto RTC), PCB ensamblado por JacoHK y módulo RTC de Amazon: <http://amzn.to/2dl0JVW>.

6 FIRMWARE

Debido a la facilidad de encontrar herramientas de desarrollo y ejemplos de código para lenguaje C, el firmware está completamente programado en ese lenguaje.

El entorno de desarrollo elegido fue el MPLAB X v3.20, software gratuito proveído por Microchip Technology a través de su página web¹⁴. El compilador utilizado es el XC8 v1.33, también brindado¹⁵ por Microchip Technology.

Debido a que no se presentaban requerimientos de potencia, y dada la complejidad de acciones a realizar por el sistema, el sistema utiliza el método *Round Robin* con interrupciones para ejecutar las acciones, esto simplifica el entendimiento e implementación del firmware.

En la Imagen 40 se muestra un diagrama general de los módulos de firmware y la comunicación entre ellos.

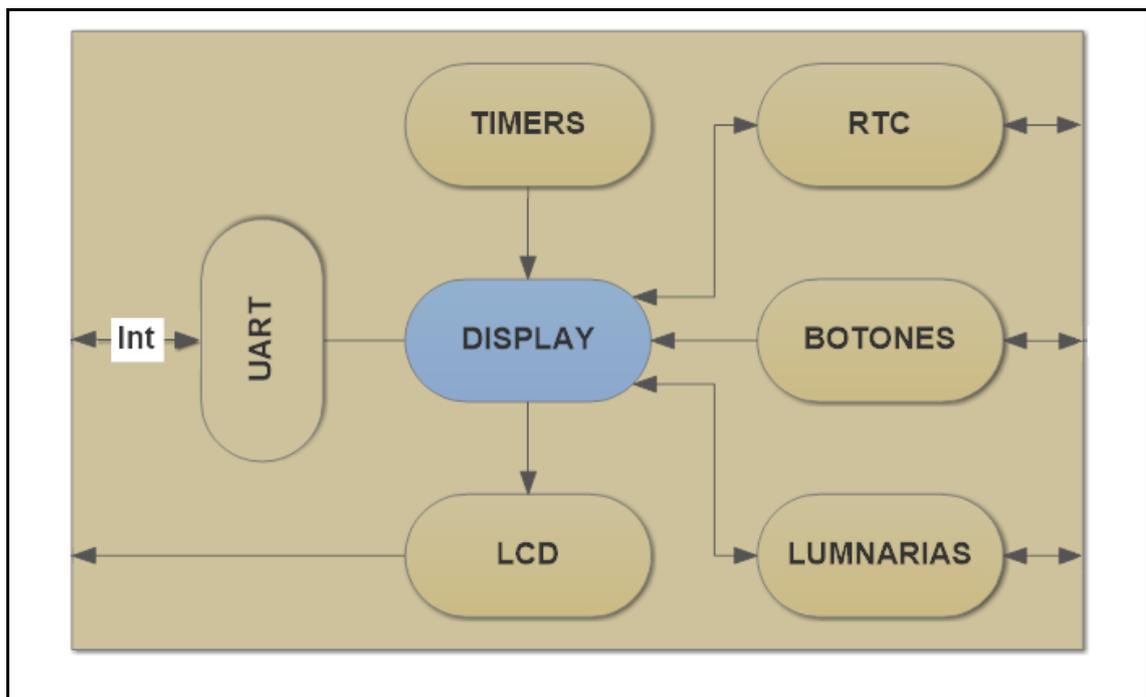


IMAGEN 40- DIAGRAMA DE FIRMWARE

¹⁴ <http://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>

¹⁵ <http://www.microchip.com/mplab/compilers>

6.1 MÓDULOS

6.1.1 MÓDULO LCD - LCD.C

El módulo para el control de la pantalla LCD está basado en un código ejemplo obtenido en la página www.mikrokitslectronica.com¹⁶. Está dedicado únicamente a escribir caracteres en pantalla.

Para escribir es necesario manejar un puntero que indica el lugar en donde se va a escribir el siguiente caracter enviado, esta es la función *lcd_goto(lugar)*. El valor “lugar” depende de la línea y la posición en dicha línea¹⁷.

Se utilizan dos funciones más para poder escribir caracteres: *lcd_putchar(c)* y *lcd_puts(s)*. La primera permite escribir un caracter “c” y la segunda un string “s” (array de caracteres ASCII).

Las última dos funciones utilizadas son *lcd_init()* y *lcd_clear()*, la primera inicializa la transmisión de datos desde el microcontrolador y la segunda elimina todos los caracteres de la pantalla.

6.1.2 MÓDULO RTC - RTC.C

La librería utilizada para controlar el módulo de hardware RTC fue tomada de la página www.ccsinfo.com¹⁸. Las funciones utilizadas son las que refieren a obtener y guardar tanto la hora como la fecha.

Para la hora se utilizan las funciones *get_time(...)* y *set_time(...)*. Como argumentos se pasan punteros a variables con hora, minutos, segundos y formato de hora (12/24). Para la fecha se usan las funciones *get_date(...)* y *set_date(...)*. Los argumentos de ambas funciones son punteros a variables con año, mes, día y día de la semana.

6.1.3 MÓDULO BOTONES - BOTONES.C

El módulo de botones contiene funciones que facilitan la interpretación del botón que el usuario oprimió. Mediante la función *botones_tick()*, ejecutada constantemente en el bucle del *main.c*, se monitorea permanentemente el bus de control de botones y se guarda en memoria RAM el último botón presionado.

La función *get_boton()* devuelve el último botón presionado y en caso de que no se haya oprimido ningún botón, devuelve “0”.

6.1.4 MÓDULO LUMINARIAS - LUMINARIAS.C

Este módulo se encarga de toda la comunicación entre luminarias, tanto DALI como 0-10V. Envía y recibe comandos, realiza la búsqueda de nuevos balastos y maneja el módulo de hardware PWM para controlar las luces 0-10V. Si bien *luminarias.c* contiene una lista extensa de funciones, aquí se detallan las más importantes.

¹⁶ <http://bit.ly/2dudvXR>

¹⁷ Ver archivo *defines.h* en el código del programa del CD adjunto.

¹⁸ <http://bit.ly/2cullVS>

Se recomienda leer la descripción general del protocolo DALI en el Anexo C o el estándar IEC 62386. Para más detalles sobre el protocolo 0-10V visitar la página <http://bit.ly/2cUrnsu> o el Anexo E del estándar IEC 60929.

En el Anexo D se encuentra el mapa de memoria EEPROM donde se almacenan todos los datos de las luminarias configuradas, así como también el modo de funcionamiento y el protocolo.

A continuación se presentan las funciones principales del módulo para protocolo DALI:

- *set_int(α, p):*
Función que envía un comando de potencia directa en forma de porcentaje p , a la luminaria con dirección α . Esta función también aplica al protocolo 0-10V.
- *get_cant_lum():*
Devuelve la cantidad de luminarias configuradas.
- *get_lum_from_array(n):*
Devuelve una estructura conteniendo los datos de la luminaria n , siendo n el número de la luminaria de la lista guardada en memoria EEPROM.
- *busqueda_lum():*
Función que realiza la búsqueda de luminarias DALI. Se ejecutan comandos para que los balastos ingresen al modo configuración y luego se les indica que generen una dirección larga aleatoria. Posteriormente se hace una búsqueda basada en la bipartición del espacio de direcciones largas hasta encontrar todas las luminarias conectadas. Para realizar la tarea se utilizan comandos indirectos (Ver estándar DALI IEC 62386).
- *TX_manchester(d):*
Función que envía un dato d de 16 bits en formato manchester a través del bus DALI.
- *ajuste_one_shot():*
Realiza el ajuste automático de la potencia de las luminarias a la potencia deseada en $\mu W/cm^2$.
- *ajuste_continuo():*
Realiza un ajuste de la potencia de las luminarias en $\mu W/cm^2$ cada 30 segundos. Puede cambiar la potencia de las luces hasta un 2% de su potencia máxima cada 30 segundos.

6.1.5 MÓDULO TIMERS - TIMERS.C

Módulo que maneja un reloj de $16\mu s$ de precisión e implementa retardos parametrizables de milisegundos y microsegundos.

6.1.6 MÓDULO UART - UART.C

Este módulo maneja el puerto de comunicación UART, procesa los datos recibidos y envía los datos que se le indica.

Al igual que otros módulos, posee la función *uart_tick()* que se ejecuta en el bucle principal y tiene el cometido de “avisar” si hay un byte disponible para leer. Con la función *byte_pronto(i)* se puede saber si hay un byte pronto para lectura (devuelve “1”) y con *get_byte(i)* se lo obtiene. El valor “i” puede ser “1” si se consulta el puerto UART 1 o “2” si se consulta el puerto UART 2. En el caso del presente proyecto, solo se usa el puerto número 1.

Para enviar un byte por el puerto *i*, es necesario llamar a la función *enviar_byte(i, b)*, donde *b* es el byte que se desea enviar.

Existen otras funciones de más alto nivel para realizar la comunicación con la PC/dispositivo externo:

- *pedir_potencia(lmin, lmax)*:
Envía una solicitud de potencia entre la longitud de onda *lmin* y la longitud de onda *lmax*. Ambos valores se ingresan al argumento dividido entre 10, por ejemplo, la longitud de onda 470nm se ingresa como “47”.
- *uart1()*:
Función que se ejecuta en el bucle principal y su función es la de recibir la tabla de horarios para el modo temporizado y recibir las respuestas de potencia lumínica.
- *finalizar_conexion()*:
Envía el carácter de fin: la letra *f*.

Los protocolos de comunicación para el intercambio de datos entre el controlador central y la PC o dispositivo externo están definidos en el Anexo E.

6.1.7 MÓDULO DISPLAY - DISPLAY.C

Este es el módulo central del sistema, si bien su nombre hace referencia únicamente a una pantalla, es el módulo “cerebro” que contiene la lógica central de funcionamiento.

Su función principal es *display_tick()* y se ejecuta constantemente desde el bucle principal. Es una gran máquina de estados que genera los menús en pantalla y decide cuándo pasar de una pantalla a otra. También muestra el estado del sistema (hora y si hay tabla cargada) y ejecuta las funciones necesarias para realizar las tareas que el usuario desea.

6.2 DETALLE DE FUNCIONALIDADES

En este capítulo se mencionarán algunas de las implementaciones más relevantes que brindan una mejora respecto al sistema de control que se utiliza actualmente y otros disponibles en el mercado.

6.2.1 DIRECCIONAMIENTO DE LUCES DALI

El bus DALI de cada balasto se conecta en paralelo con el resto, por lo cual la comunicación con cada uno de ellos se realiza a través de direcciones individuales o de grupo. Esto presenta desafíos al momento de asignar nuevas direcciones a las luminarias y como indicarle al usuario cual es la luz que está controlando en cada momento.

Basándonos en una solución de direccionado del sistema Rayzig¹⁹, se implementó un algoritmo que asigna direcciones de manera automática a los balastos conectados y es transparente para el usuario. Este algoritmo permite reconocer los balastos que se encuentran conectados al sistema (en paralelo, a través del bus DALI) asignándoles a cada uno de ellos una dirección única.

El proceso consiste básicamente en asignar a cada balasto un número aleatorio y luego identificar cada uno mediante una búsqueda por el método de bipartición. Una vez encontrado cada balasto se le asigna una nueva dirección.

Al reconocer las luminarias conectadas, se le informa al usuario cuantas de ellas fueron identificadas y el proceso continua encendiendo de a una luz solicitándole al operario indicar si es una luz previamente configurada o es nueva. El máximo número de luminarias posibles de configurar es 30, debido a la limitante de memoria EEPROM disponible en el microcontrolador²⁰.

6.2.2 MODO TEMPORIZADO

El modo temporizado surge con la necesidad de poder ejecutar distintas escenas cambiantes con el tiempo y programadas desde una tabla externa al microcontrolador. Para realizar la carga de dicha tabla al controlador se desarrolló una aplicación interactiva en MatLab, la cual carga la tabla y envía los datos mediante un protocolo definido (Anexo E) al microcontrolador por puerto serie.

Como los datos son almacenados en la memoria EEPROM del microcontrolador (y debido a la organización de datos de dicha memoria) aparece la limitante de que el número máximo de luminarias sea 14²¹.

Una vez cargada la tabla correctamente, se notifica en pantalla indicando una recepción exitosa de la misma. En este caso es posible optar por ejecutar el modo tabla, dando inicio en ese momento o programando la hora de inicio de ejecución a la hora deseada.

Una vez finalizado el modo temporizado, el controlador apaga las luminarias y vuelve al menú inicial en modo Manual.

6.2.3 AJUSTE DE POTENCIA EN FUNCIÓN DE LA RADIACIÓN MEDIDA

Para realizar la asignación de potencia correcta a cada luminaria y así brindar la iluminación requerida en cada rango de longitudes de onda, el controlador central debe comunicarse con el espectroradiómetro para obtener información de la radiación actual.

Los pasos que sigue el sistema para obtener esta información se detallan a continuación:

1. El operario ingresa en el menú la potencia requerida para cada luminaria.

¹⁹ <http://www.rayzig.com/manual/rayzig.html?DALIaddresssettingexplained.html>

²⁰ Ver anexo C: Mapa EEPROM

²¹ Ver anexo C: Mapa EEPROM

2. El controlador solicita información al espectroradiómetro del dato de potencia en un determinado rango de longitudes de onda.
3. El equipo externo responde dicha solicitud informando el dato requerido.
4. Dependiendo de las condiciones actuales y de la potencia establecida por el operario, el sistema realiza un incremento o decremento de la potencia emitida por los balastos.
5. Se repiten los pasos 2, 3 y 4 hasta lograr la potencia deseada en cada luminaria.

7 MEDICIÓN DE RADIACIÓN

La Facultad de Agronomía tiene la necesidad de conocer exactamente la potencia de luz suministrada a las plantas a estudiar. Para resolver dicho problema, se cuenta con un espectralradiómetro. Este es un instrumento de medida que, mediante la difracción de la luz, permite medir la radiación espectral o irradiación a través de varios rangos espectrales. Posee un sistema de medición óptica objetiva, midiendo luz desde aproximadamente 380 nm a 780 nm.

El sistema que poseen es el Ocean Optics, el cual, además del instrumento, cuenta con un software llamado Ocean View para calibrar el sistema y medir la potencia en todo el espectro de interés. El equipo y el software son de alto costo y se tiene que operar a través de su interfaz gráfica.

El procedimiento para llegar a los niveles de radiación deseados consiste en manipular los niveles de las luminarias, medir mediante el software Ocean View la radiación lograda y repetir los pasos hasta obtener la radiancia en el instante deseado.

Debido a estos problemas, surgió la necesidad de desarrollar un espectralradiómetro propio de bajo costo que pudiera comunicarse directamente con el microcontrolador y resolviera de forma automática el sensado y realimentación de la potencia de las luminarias.

7.1 INTENTO PREVIO DE DESARROLLO DE ESPECTRORADIÓMETRO

Inicialmente se intentó desarrollar un espectralradiómetro basado en un cromador y una cámara web conectada por USB a un sistema Raspberry en el cual se ejecutaba el software libre Spectral Workbench²².

Tras indagar al respecto, se terminó descartando dicha solución ya que presentaba los siguientes inconvenientes:

- Dificultad de correr software en Raspberry Pi.
- Última versión de software corría en la web y se necesitaba tener conectividad a internet para ejecutarlo.
- Dificultad de adaptar el software a las necesidades del proyecto (Calibración y medición manual).
- Cámara web cambia automáticamente su tiempo de exposición dependiendo de la luz que le ingresa, impidiendo tomar una medición exacta de la radiación.
- Software realiza medida cualitativa del espectro y no cuantitativa de radiación del espectro (mide luminosidad de cada pixel RGB).

²² <https://spectralworkbench.org/>

Por estos motivos descartó la idea de desarrollar un espectroradiómetro propio, optando por solucionar el problema del sensado y realimentación automática utilizando el instrumento de Ocean Optics y un software propio.

Para un futuro, no se descarta la idea de implementar un espectroradiómetro más económico. Por tal motivo es que se encapsula el problema definiendo una interfaz serie y un protocolo de comunicación²³.

7.2 PROCESO DE MEDICIÓN

La solución planteada en el proyecto está basada en el funcionamiento del software Ocean View²⁴ de Ocean Optics.

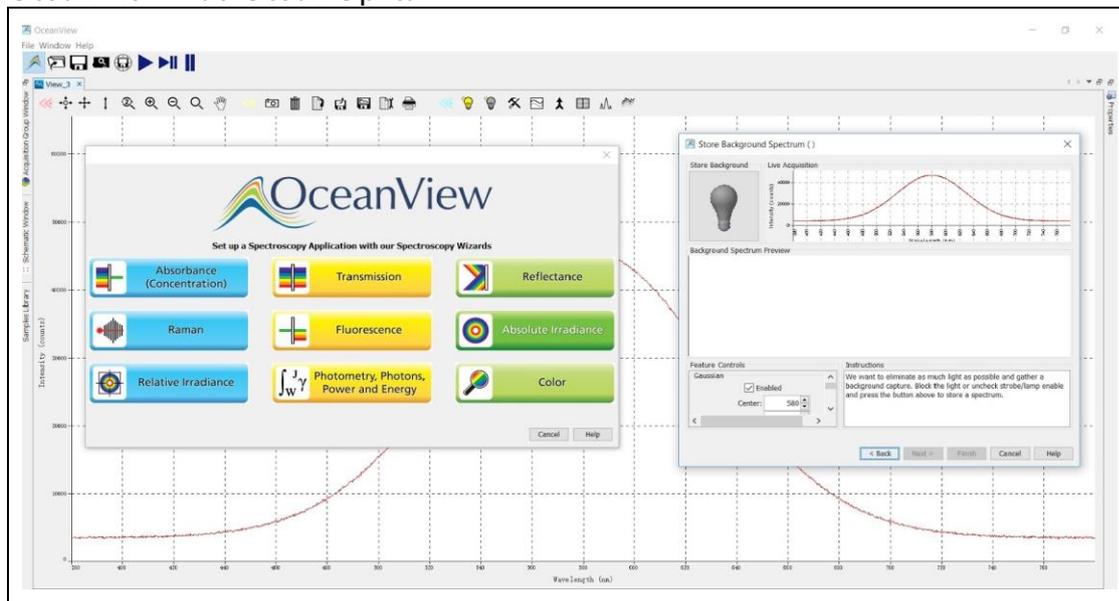


IMAGEN 41- SOFTWARE OCEAN VIEW

El software inicialmente toma medidas de cantidad de fotones de luz (counts) por longitud de onda. Para convertir medida de counts a $\frac{W}{nm \cdot cm^2}$, Ocean View realiza la operación:

$$I_p = \frac{C_p(S_p - D_p)}{T A dL_p}$$

- I_p : Medida de radiación de espectro en $\frac{W}{nm \cdot cm^2}$
- C_p : Factor de calibración en $\frac{\mu J}{counts}$, obtenido a través de un archivo específico del instrumento. Representa la energía capaz de captar según longitud de onda.
- S_p : Medida de espectro en counts.
- D_p : Medida de espectro oscuro en counts.
- T : Tiempo de integración en segundos.
- A : Área de captura óptica del instrumento en cm^2 .
- dL_p : Representación de longitudes de onda por pixel (parámetro del software).

²³ Ver capítulo 7.4 y anexo E para más detalles del protocolo serie.

²⁴ <http://oceanoptics.com/product-category/software/>

Para obtener todos los parámetros, el software utiliza un wizard el cual ayuda al usuario a calibrar la medición. El wizard cuenta con configuración automática del tiempo de integración óptimo (T) (definido por Ocean View como tiempo en el cual se alcanza $5,5 \times 10^4$ counts para cualquier longitud de onda), captura del espectro oscuro (D_p) y carga del archivo de calibración (C_p y A).

7.3 PROGRAMA Y RUTINAS MATLAB

Buscando independizarse del programa Ocean View y poder realizar la realimentación de forma automática, se planteó realizar un programa en MatLab, basado en el flujo de trabajo que implementa el software Ocean View, que cubra las necesidades mencionadas. Dicho programa permite cargar el archivo de calibración apropiado, determinar el tiempo de integración óptimo, establecer el puerto serie por el cual se va a realizar la comunicación con el microcontrolador y por último calcular y enviar las potencias para los distintos rangos de longitud de onda solicitados. El tiempo de integración óptimo permite obtener una mayor resolución sin saturar el espectroradiómetro, similar a ajustar el tiempo de exposición de una cámara de fotos.

El usuario debe elegir el archivo de calibración y encender las luminarias para que el programa pueda calcular el tiempo de integración inicial óptimo a utilizar. Se debe realizar una medida del espectro negro y escoger el puerto serie a usar.

Una vez realizado todo el proceso inicial, se puede iniciar el sensado y realimentación quedando a la espera del microcontrolador para comenzar la comunicación²⁵.

El proceso de realimentación consiste inicialmente en 8 sensados y posteriores ajustes de potencia en cada luminaria utilizando el método de bipartición. Las luminarias se inician en 50% de su potencia máxima, y se aumenta o disminuye la misma en cada paso hasta lograr la potencia deseada. Los saltos utilizados son de: 25%, 20%, 15%, 10%, 5%, 2%, 2% y 1%.

En caso de estar realizando el submodo de ajuste “One Shot”, luego de lograda la potencia deseada, el sistema vuelve al inicio en modo Manual. En cambio, si el modo seleccionado es el submodo “Ajuste Continuo”, luego de culminar el ajuste inicial antes detallado, cada 30 segundo el sistema volverá a sensar realizando un ajuste de hasta un 2%.

El detalle del flujo del programa se puede observar en el diagrama de la Imagen 42.

²⁵ Más detalles en anexo B – Manual de usuario.

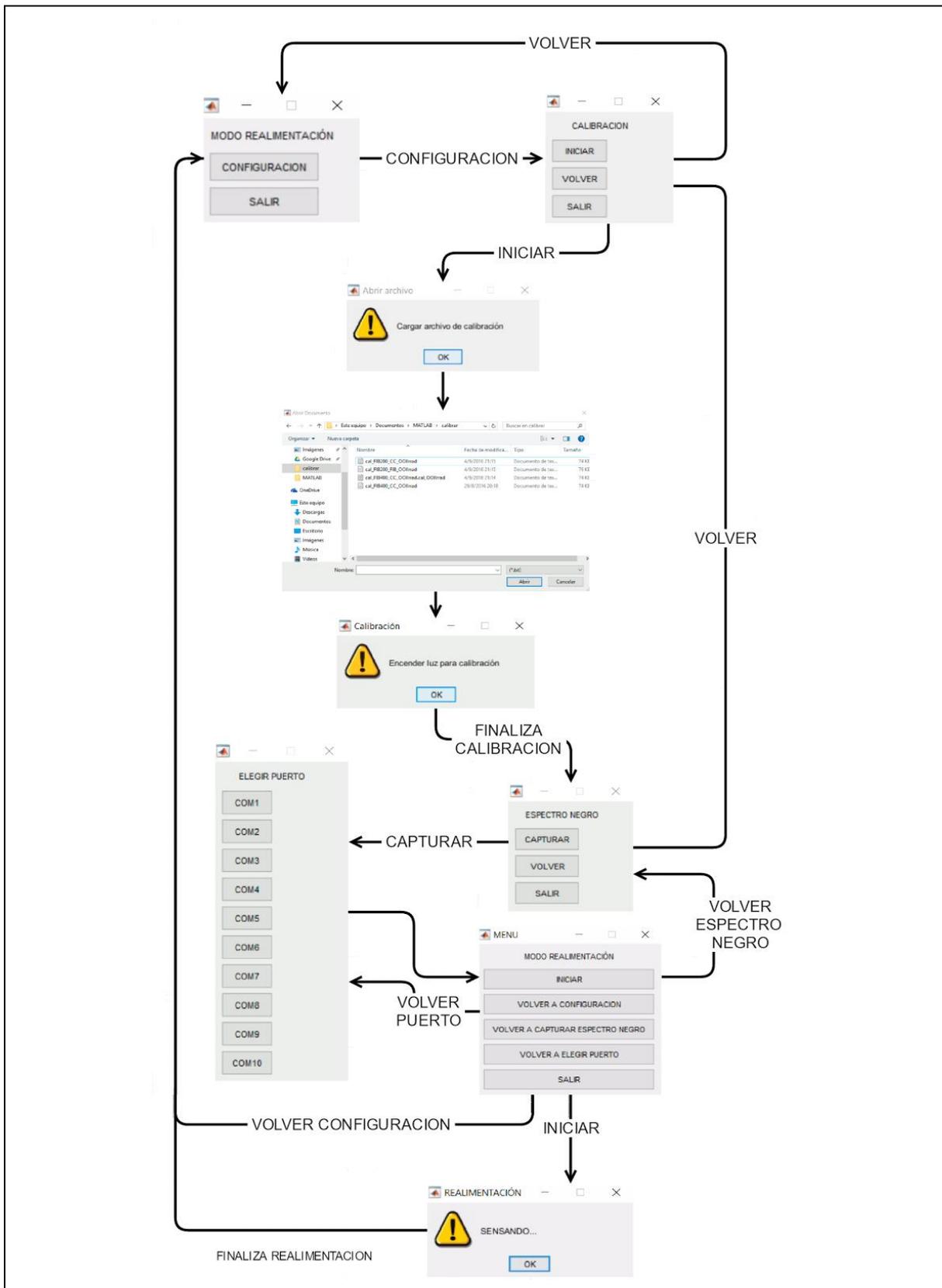


IMAGEN 42- FLUJO DEL SOFTWARE DESARROLLADO EN MATLAB

A continuación se presentan las rutinas y sus funcionalidades:

MODO_REALIMENTACIÓN

Rutina principal el cual maneja el flujo del programa y la comunicación serie con el microcontrolador.

OCEANOPTICS

Rutina que establece conexión con el espectroradiómetro y realiza captura del espectro en counts.

ARCHIVO_CALIBRACIÓN

Rutina que permite cargar archivo desde un directorio, obtener el factor de calibración según longitud de onda y escoger el parámetro Área (A) según el archivo cargado.

TIEMPO_INTEGRACIÓN

Rutina que calcula de tiempo de integración óptimo mediante iteración (T) .

SENSADO_OSCURO

Rutina que ejecuta rutina Ocean Optics y almacena datos del espectro en una variable.

DELTAX

Rutina que realiza un cálculo del parámetro dL_P aproximado utilizando Taylor.

CALCULAR_POTENCIA

Rutina que realiza la operación $I_p = C_p(S_p - D_0TA dL_P)$ y el cálculo de la potencia según el rango de longitudes de onda solicitado por el microcontrolador.

7.4 PROTOCOLO COMUNICACIÓN SERIE CON MICROCONTROLADOR

El protocolo establece un byte de arranque, luego del cual queda pronto para recibir datos útiles del microcontrolador y un byte de parada por el cual detiene la comunicación. Los datos útiles que espera recibir son la cantidad de luminarias conectadas y el rango de longitudes de onda efectivo de cada una.

Posterior al cálculo de potencia basado en los rangos de longitudes de onda, se envía un byte que informa al microcontrolador del inicio del mensaje, luego se envía dicha potencia y por último un byte informando fin del mensaje. Se repite este procedimiento para recibir y enviar datos de cada luminaria.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

8 PRUEBAS Y RESULTADOS

8.1 FUNCIONAMIENTO DE PANTALLA Y BOTONES

Se probó satisfactoriamente el funcionamiento de los mismos, brindando al operario la capacidad de navegar por el menú.

8.2 MODIFICACIÓN DE FECHA Y HORA DEL SISTEMA

El menú desplegado en pantalla permite cambiar correctamente la fecha y hora²⁶. Los comandos al RTC con estos datos son enviados y recibidos correctamente.

8.3 ESTABLECIMIENTO DE PROTOCOLO (DALI O 0-10V)

Se realizó una prueba seleccionando cada uno de los protocolos comprobando el correcto establecimiento del mismo de manera de permitir acceder únicamente las herramientas disponibles para ese protocolo.

8.4 MODO MANUAL

Para cada uno de los protocolos (DALI y 0-10V) se modificó de manera manual la potencia de las luminarias verificando una correcta dimerización por parte de los leds.

8.5 RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE LUMINARIAS

El reconocimiento de luminarias es exclusivo para el protocolo DALI, en 0-10V la cantidad de luminarias es fija.

Para probar esta funcionalidad se consideraron varios escenarios posibles:

1. Un solo balasto Philips²⁷ conectado,
2. un balasto de 8 canales LCDMLT_408_5A de la empresa Task Lighting²⁸,
3. un balasto de 8 canales LCDMLT_408_5A y un balasto de diferente marca,
4. 7 balastos Philips²⁹.

En todos los casos el sistema reconoce la cantidad correcta de balastos y los configura correctamente en la memoria del equipo. El mensaje mostrado en pantalla se puede ver en la Imagen 7.

²⁶ Ver Imagen 8

²⁷ Balasto perteneciente al IIE.

²⁸ http://tasklighting.co.nz/Fullspec_LCDMLT_408_5A.php

²⁹ Mismos modelos de balastos que en el punto 1. Se encuentran en uso en facultad de Agronomía.

8.6 MODO TEMPORIZADO

Con el sistema funcionando bajo el protocolo DALI y habiendo conectado 7 luminarias, se cargó una tabla de ejecución temporizada variando las potencias de las luminarias cada un minuto.

Se ejecutó el Modo temporizado bajo la modalidad de ejecución inmediata y ejecución programada (estableciendo una hora futura de comienzo de programa). Ambas pruebas resultaron satisfactorias pudiéndose observar los cambios establecidos en la tabla cargada previamente.

8.7 MODO AJUSTE AUTOMÁTICO

Habiendo establecido el protocolo DALI y con 7 luminarias conectadas se procedió a ejecutar el Modo ajuste automático. Se cargaron las potencias descritas en la columna “Potencia deseada” de la Tabla 2 obteniendo los resultados de la columna Potencia lograda.

Nombre de luminaria	Rango de longitudes de onda	Potencia deseada ($\frac{\mu W}{cm^2}$)	Potencia lograda ($\frac{\mu W}{cm^2}$)
DeepBlue	400 – 450 nm	3400	3376
Blue	450 – 500 nm	2250	2288
GreenA	500 – 560 nm	0	51
GreenB	500 – 560 nm	0	51
Yellow	560 – 610 nm	0	156
Ambar	610 – 630 nm	800	805
HiperRed	650 – 700 nm	1750	1696

TABLA 2- POTENCIAS DE PRUEBA DE MODO AJUSTE AUTOMÁTICO

Es de destacar que en los casos donde se solicita potencia cero o muy pequeña potencia, el sistema no puede reducir la potencia en ese rango por debajo de un mínimo debido a la influencia de iluminación externa la cual no es controlada por el sistema o por potencia residual de luminarias adyacentes a la misma.

Para el caso ejemplo de todas maneras se verifico que efectivamente tanto las luminarias “GreenA”, “GreenB” como “Yellow”, luego de la iteración se encontraban apagadas logrando entonces la menor potencia posible en sus rangos.

Para el resto de las luminarias se obtuvo un error relativo máximo de 3%, con un promedio de 2%.

8.8 MODO AJUSTE AUTOMÁTICO CONTINUO

Habiendo establecido el protocolo DALI y con una luminaria conectada se procedió a ejecutar el modo ajuste automático continuo.

Luego de generar una potencia deseada para la luminaria mediante el ajuste automático, se procedió a verificar que, ante cambios de iluminación externa, dicha luminaria ajuste su potencia para intentar mantener el nivel de radiación deseado.

Aumentando la iluminación externa de forma súbita se observa que cada 30 segundos el balasto realiza un cambio mínimo en su iluminación, disminuyéndola.

La radiancia deseada para el rango de longitudes de onda de la luminaria "Ambar" (610nm-630nm) es de $800 \frac{\mu W}{cm^2}$ y en la gráfica 1 se puede ver los valores de potencia que se obtienen cada 30 segundos, antes y después de la perturbación.

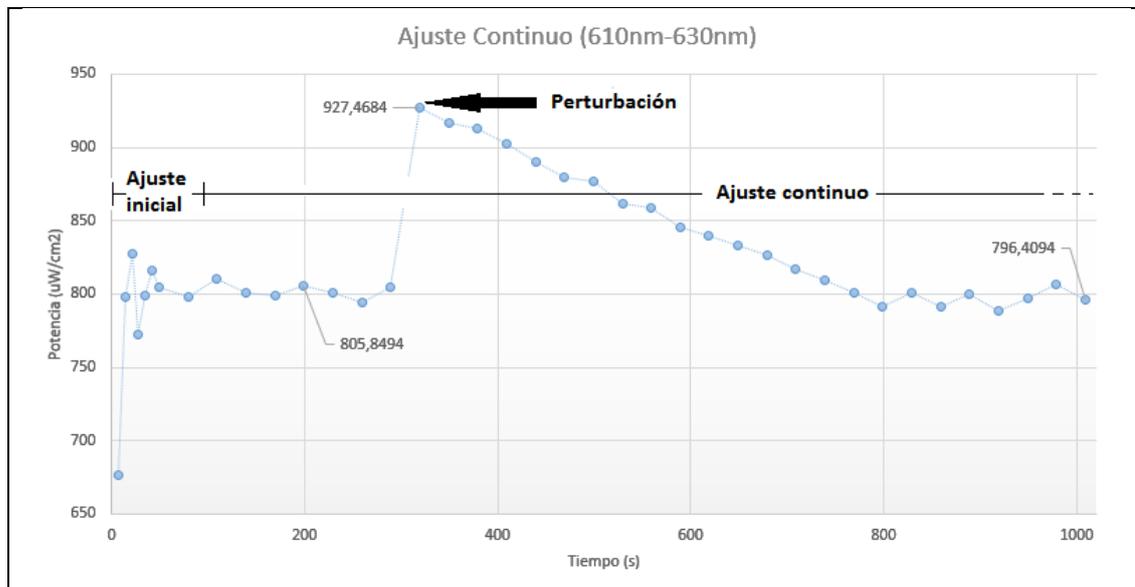


IMAGEN 43 - RESPUESTA DEL SISTEMA EN MODO AJUSTE AUTOMÁTICO CONTINUO.

Se puede observar que la potencia obtenida por el espectroradiómetro va en descenso hasta ajustarse en un entorno de la radiancia deseada.

8.9 REINICIO DE SISTEMA

Para ambos protocolos se ejecutó un reinicio de sistema verificando que se eliminen las luminarias reconocidas (DALI), protocolo establecido y tabla cargada. Al mismo tiempo se constató que la hora se mantiene.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

9 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El proyecto cumplió con las expectativas del cliente.

Dentro de los objetivos propuestos se lograron alcanzar:

- Conexión de luminarias y asignación de direcciones automática de las mismas usando protocolo DALI, siendo transparente para el usuario.
- Control de luminarias de forma manual usando protocolo DALI y 0-10 V.
- Control temporizado y automático de secuencia de potencias, para cada luminaria, programadas por el operario.
- Sensado de niveles de radiación en $\mu W/cm^2$ para distintas franjas de longitudes de onda del espectro visible utilizando espectralímetro Ocean Optics y programa en MatLab.
- Independizarse del software OceanView desarrollando software en MatLab.
- Desarrollo y verificación de los distintos modos de funcionamiento planteados para protocolo DALI: Manual, Temporizado, Realimentación "One shot" y realimentación continua.
- Desarrollo y verificación del modo manual de funcionamiento planteado para protocolo 0-10 V.
- Diseño robusto y portable basado en microcontrolador PIC18F26K22.
- Interfaz con display y botonera que permite una sencilla interacción con el operador.
- Implementación de comunicación por puerto serie RS232 para carga de datos.
- Costo en producción (1000 unidades) menor a USD 70 en origen.

No se lograron cumplir con los siguientes puntos:

- Aunque se desarrolló el modo de realimentación continua, el mismo fue probado en las cámaras de fenotipado pero no así en el exterior por falta de tiempo.
- No se logró independizarse del espectralímetro OceanOptics quedando esta opción para futuras investigaciones. Debido a la imposibilidad de lograrlo se optó por encapsular la dificultad y desarrollar una interfaz de comunicación entre el microcontrolador y el equipo encargado de la medición, simple e independiente del equipo y el software de medida.
- No se realizó un estudio exhaustivo de precios en diferentes tiendas. En caso de fabricar el sistema en unidades de producción sería conveniente evaluar y solicitar presupuestos en diferentes tiendas. De la misma manera, se podría reducir costos seleccionando componentes SMD de manera de reducir espacio de placa unificando ambos PCB en una única capa.
- Si bien, no se logró independizar totalmente el uso de la PC, solo es necesario una conexión permanente en el "Modo Realimentado", submodo "Ajuste Continuo". Para el submodo "One Shot", así como también para el "Modo Temporizado", la dependencia con el PC es momentánea al momento de cargar la tabla o de realizar el ajuste espectral respectivamente.

El sistema no muestra medidas de potencia en $\frac{\mu mol}{s.cm^2}$ (micromoles de fotones por centímetro cuadrado por segundo). Un trabajo futuro podrá ser el cálculo y la realización de la conversión de $\frac{\mu W}{cm^2}$ a $\frac{\mu mol}{s.cm^2}$.

También se entiende conveniente para trabajos futuros el desarrollar una manera portable de transferir información sin ser comunicación serie a través de PC, pudiéndose, en este caso, hacer uso de los dos puertos serie del microcontrolador: uno para el envío de tablas y otro para comunicar con un dispositivo sensor de potencia lumínica.

En el desarrollo de SECon LAI, no se contempló la posibilidad de utilizar simultáneamente los protocolos DALI y 0-10V, esto fue debido a una decisión de diseño de manera de simplificar su uso. De todas maneras, es posible ser llevado a cabo haciendo cambios mínimos a nivel de firmware.

El protocolo de control 1-10V es similar al protocolo 0-10V con la diferencia que la luminaria nunca se apaga (a menos de 1V en la entrada la luminaria queda fija al 10% de su potencia máxima). Para poder incluir 1-10V en el sistema es necesario poder apagar las luminarias cuando el voltaje es menor a 1V, para ello se podrían utilizar relays conectados al conector CON_RELAY para lograrlo.

10 CONTENIDO DE CD

El CD adjunto a esta documentación contiene:

Documentación:

- Plan de proyecto.
- Documentación del proyecto.
- Presentación.

Esquemáticos:

- Diagramas para la fabricación de los PCBs.
- Firmware final del controlador.

Software:

- Software desarrollado en MatLab para carga de tablas con escenas.
- Tabla template en Excel.
- Software desarrollado en MatLab para ejecución del sistema realimentado.
- Manual de usuario de SECon LAI.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

11 ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Imagen 1 - Representación de espectro de luminaria con leds blancos y azules.....	3
Imagen 2 - Representación de espectro de luminaria con leds de color.....	4
Imagen 3- Diagrama de sistema actual.....	5
Imagen 4- Dispositivo SECon LAI finalizado.....	11
Imagen 5- Diagrama general del sistema.....	11
Imagen 6- Menú de configuración inicial.....	12
Imagen 7- Reconocimiento automático de luminarias.....	12
Imagen 8- Menú de modificación de fecha y hora.....	13
Imagen 9- Consulta de Errores en luminarias.....	13
Imagen 10- Modo Manual. Editar luminaria.....	13
Imagen 11- Menú de modos con ajuste automático.....	14
Imagen 12- Menú de reinicio de sistema.....	14
Imagen 13- Diagrama general de hardware.....	15
Imagen 14- PIC18F26K22 28-pin PDIP.....	17
Imagen 15- Pantalla modelo 2004A.....	17
Imagen 16- Módulo RTC basado en el integrado DS3231.....	18
Imagen 17 - Esquemático sugerido para capa física DALI.....	19
Imagen 18- Esquemático de capa física DALI implementado.....	19
Imagen 19- Fuente de voltaje sugerida.....	19
Imagen 20- Fuente de voltaje DALI implementada.....	20
Imagen 21- Esquemático del módulo 0-10V.....	21
Imagen 22- Señal PWM con duty cycle 70%.....	22
Imagen 23- Señal PWM de imagen 22 filtrada con filtro RC.....	22
Imagen 24- Amplificador operacional en configuración no inversora.....	23
Imagen 25- Integrado LM324N de Fairchild.....	23
Imagen 26- Esquemático de capa física RS232.....	24
Imagen 27- Regulador de Voltaje MC7805C de Fairchild.....	25
Imagen 28- Esquemático del módulo de alimentación.....	25
Imagen 29- 3 capas de hardware: Pantalla, PCB de lógica, PCB de potencia.....	26
Imagen 30- Esquemático de PCB de potencia.....	27
Imagen 31- Diseño y ruteo de PCB de potencia.....	28
Imagen 32- Módulos en PCB de potencia.....	29
Imagen 33- Esquemático de PCB de lógica.....	30
Imagen 34- Diseño y ruteo de PCB de lógica.....	31
Imagen 35- Módulos en PCB de lógica.....	32
Imagen 36- Esquema de ensamblado de pantalla.....	32
Imagen 37- Esquema de ensamblado de RTC.....	33
Imagen 38- Placas ensambladas.....	33
Imagen 39- Herramienta de programación y depuración PICKit 3.....	34
Imagen 40- Diagrama de firmware.....	35
Imagen 41- Software Ocean View.....	42
Imagen 42- Flujo del software desarrollado en Matlab.....	44
Imagen 43 - Respuesta del sistema en modo ajuste Automático continuo.....	49

Tabla 1- Diagrama de conexiones entre PICkit 3 y PIC18F26K22.....	34
Tabla 2- potencias de prueba de Modo Ajuste automático.....	48

12 ANEXOS

12.1 ANEXO A: RESUMEN DE COMPONENTES

A continuación se muestra la lista final de componentes para el ensamblado de un sistema SECon LAI³⁰:

Conectores:

- 1 x conector DB9 en macho ángulo recto para placa.
- 1 x conector tipo “header” macho doble de 7 posiciones.
- 1 x conector tipo “header” macho doble de 2 posiciones.
- 1 x conector tipo “header” macho de 16 posiciones.
- 1 x conector tipo “header” macho ángulo recto de 4 posiciones.
- 2 x conectores tipo “header” hembra de 7 posiciones.
- 1 x conector tipo “header” hembra ángulo recto de 4 o 6 posiciones.
- 2 x conector tipo “header” hembra de 16 posiciones.
- 1 x conector tipo “header” hembra ángulo recto de 6 posiciones.
- 1 x jumper.
- 2 x conector tipo “block” tipo hembra para placa de 2 posiciones.
- 1 x conector tipo “block” tipo hembra para placa de 6 posiciones.
- 2 x conector tipo “block” tipo macho de 2 posiciones.
- 1 x conector tipo “block” tipo macho de 6 posiciones.
- 1 x conector tipo Jack de potencia para placa.

Capacitores:

- 7 x capacitores electrolíticos de $1\mu F$.
- 1 x capacitor cerámico de $0,1\mu F$.
- 1 x capacitor electrolítico de $100\mu F$.

Resistencias:

- 4 x resistencias variables tipo trimmer de $20k\Omega$.
- 1 x resistencia de 12Ω 1W.
- 7 x resistencias de $10k\Omega$ 1/4W.
- 2 x resistencias de $1k\Omega$ 1/4W.
- 1 x resistencia de 330Ω 1/4W.
- 1 x resistencia de 120Ω 1/4W.
- 1 x resistencia de $2,2k\Omega$ 1/4W.
- 1 x resistencia de $4,7k\Omega$ 1/4W.
- 2 x resistencia de 360Ω 1/4W.

³⁰ Para más detalle de los componentes (excepto módulo RTC), referirse al carrito de compras de Digikey: <http://www.digikey.com/short/39c7fc>

Circuitos integrados:

- 1 x circuito integrado MAX232 16-DIP, o compatible.
- 1 x circuito integrado LM324N 14-DIP.
- 1 x microcontrolador PIC18F26K22 28SDIP.
- 1 x circuito integrado LM7805 TO220-3.
- 2 x optoacopladores 4N35

Transistores y diodos:

- 2 x transistores BC337 TO-92.
- 6 x diodos 1N4007 DO41.
- 1 x diodo zener 1N5231 DO35.

Otros:

- 4 x botones tipo "pushbutton" de placa.
- 1 x LED de 5mm.
- 1 x pantalla LCD 20x4 modelo 2004A.
- 1 x módulo RTC para Arduino³¹.
- 1 x transformador de 12V.

³¹ Se puede adquirir éste: <http://ebay.to/2cn7jkk> o compatible.

12.2 ANEXO B: MANUAL DE USUARIO

INTRODUCCIÓN

Con el equipo SECon LAI usted podrá controlar luminarias utilizando protocolo 0-10V o DALI.

En caso de utilizar protocolo DALI tendrá la ventaja de poder reconocer y direccionar de forma automática hasta 30 luminarias conectadas al sistema sin necesidad de programarlas una por una, mientras que para 0-10V se permite la conexión de hasta 3 luminarias.

Una vez conectadas y reconocidas le permitirá asignarle un nombre y un rango de influencia (longitudes de onda) en el espectro lumínico así como también modificar la potencia de las mismas.

Para el caso de protocolo DALI también tendrá la opción de cargar tablas con diferentes programas de iluminación determinando la potencia de cada luminaria en cada escenario y la duración (en minutos) del mismo.

Una vez cargada la tabla desde SECon LAI podrá ejecutar la tabla o planificar la ejecución de la misma de manera de que comience a correr el programa deseado. Una vez corriendo el programa, las luminarias cambiarán automáticamente de potencia según lo establecido en la tabla.

En caso de contar con un espectroradiómetro SECon LAI brinda la posibilidad de realizar ajustes de potencia basados en el espectro radiante recibido por dicho sensor de manera de establecer automáticamente la potencia deseada en cada rango de longitudes de onda.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Alimentación: 12V DC/50mA*

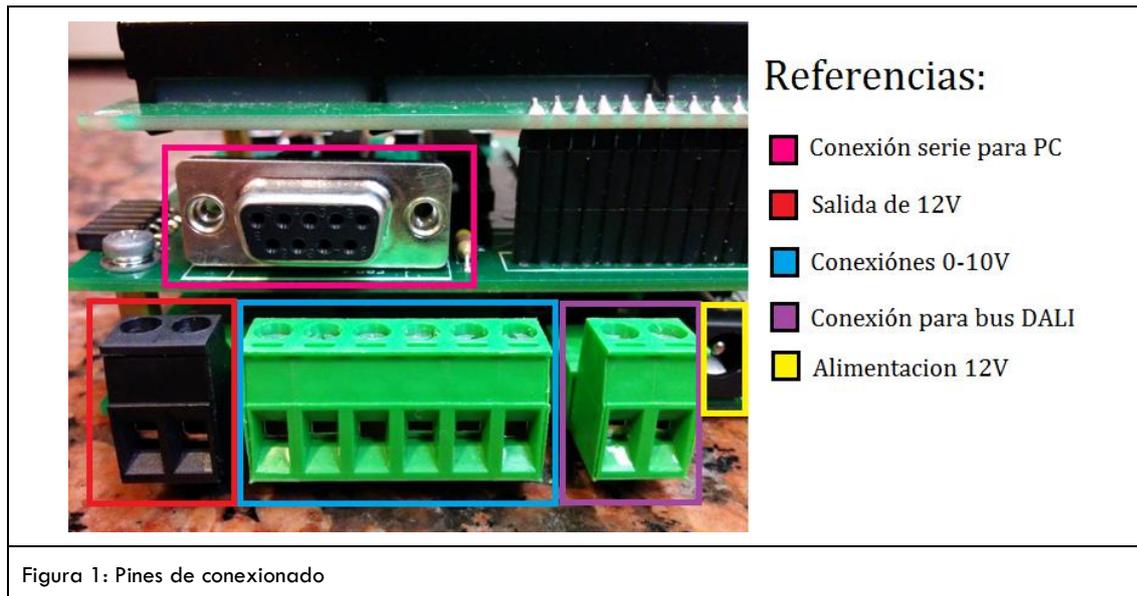
Salidas:

- Bus DALI: 12V o 0V
- Bus 0-10V: 0-10V DC
- 12V DC**

*50mA hacen referencia al consumo del equipo SECon LAI sin luminarias conectadas. Tener en cuenta, en caso de cambiar el transformador, la corriente consumida por los balastos.

**La capacidad de corriente de salida es la del transformador conectado menos los 50mA consumidos por SECon LAI más la corriente consumida por los balastos.

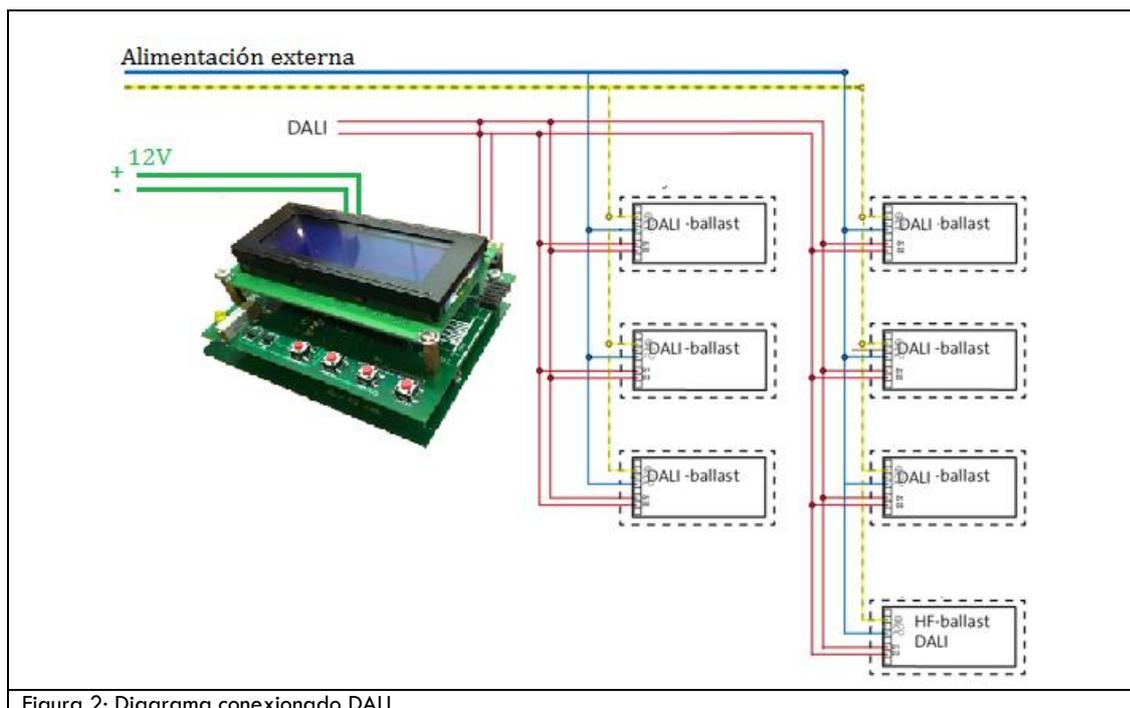
CONEXIONES INICIALES



CONEXIÓN DALI

En caso de utilizar luminarias con protocolo DALI, deberá conectar el bus de señal al conector marcado según como se muestra en la imagen anterior. Esta conexión no posee polaridad, por lo cual es indiferente el orden de conexión de los pines.

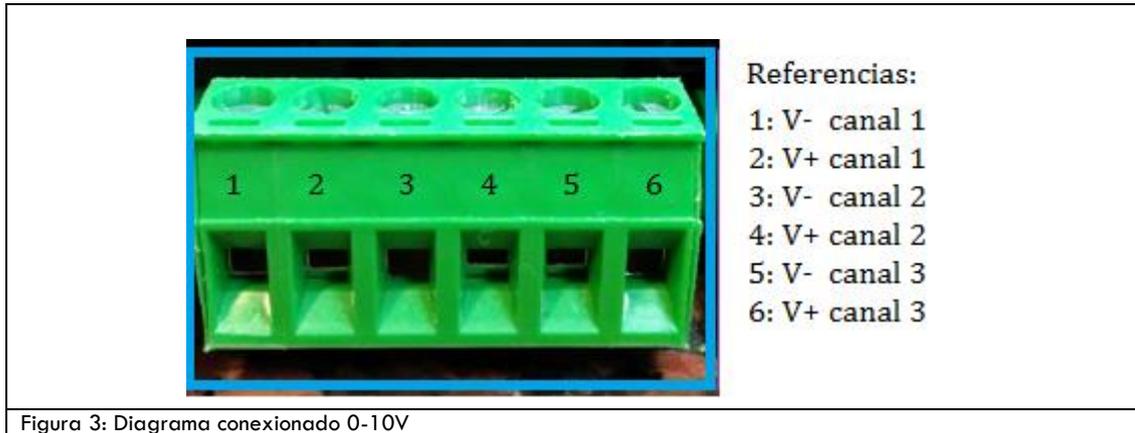
Los buses DALI de las luminarias deben conectarse en paralelo con este conector, tal como se ejemplifica en la imagen X.



La herramienta SECon LAI permite la utilización de la misma para hasta 30 luminarias.

CONEXIÓN 0-10V

En caso de utilizar protocolo 0-10V el equipo SECon LAI posee 3 conectores que permiten la conexión de hasta 3 balastos de dicho protocolo. En la imagen siguiente se muestra el diagrama de pines del conector 0-10V.



SALIDA 12V DC

El conector enmarcado en rojo en la Figura 2 es una salida de 12V DC pensada para alimentar balastos externos o cualquier otro dispositivo de baja potencia (hasta 2,4W).

Una vez armado el circuito y conectados los pines correspondientes al protocolo conecte SECon LAI a la corriente mediante un transformador de 12V DC/250mA enchufándolo en la entrada correspondiente mostrada en la imagen X.

Verifique que la pantalla prende de color azul intenso y pase al siguiente paso.

AJUSTE DE CONTRASTE

Verifique el correcto contraste del LCD para obtener una lectura nítida de la información en pantalla.

Para realizar dicha tarea gire el tornillo del potenciómetro mostrado en la Figura 4 hasta lograr un contraste óptimo. Tenga en cuenta que si un sentido de giro empeora la situación, se debe girar hacia el otro lado.



Figura 4: Tornillo de potenciómetro LCD

MANEJO DEL SISTEMA

Todo el menú del sistema se maneja a través de la botonera presente en el mismo. Cuenta con los botones “ATRÁS”, “ARRIBA”, “ABAJO” y “ENTER” para navegar por las diferentes secciones.



Figura 5: Display inicial y botones

CONFIGURACIÓN INICIAL

Cuando el sistema sea encendido por primera vez (o luego de un reinicio) aparecerá la pantalla de bienvenida de SECon LAI con una pequeña animación. Si se presiona ENTER, en pantalla se mostrará el menú de elección de protocolo. Con las flechas ARRIBA o ABAJO se puede seleccionar el protocolo deseado. Cabe aclarar que para cambiar el protocolo es necesario hacer un reinicio del sistema, ya que SECon LAI solo maneja un protocolo por vez.



Figura 6: Configuración de protocolo

MENÚ PRINCIPAL

Cuando se inicia el sistema (con protocolo de trabajo seleccionado previamente), en la pantalla aparece el menú principal. En la Figura 7 se puede ver la primera página de este menú. Si navegamos hasta los tres puntos de la línea inferior y presionamos ENTER, pasamos a la segunda página del menú.

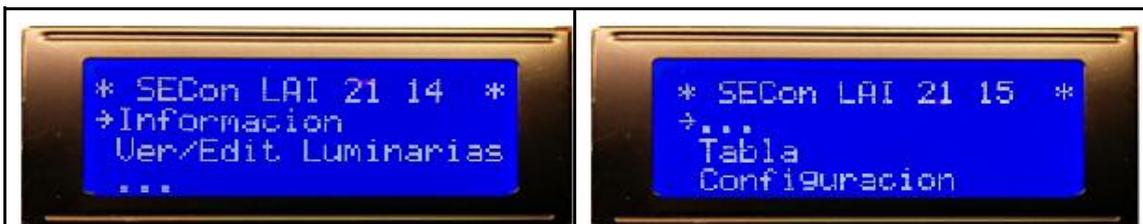


Figura 7: Menú principal – Página 1 y 2

RECONOCIMIENTO DE LUMINARIAS (SOLO DALI)

En caso de tener que reconocer nuevas luminarias DALI diríjase a Configuración, Agregar luminaria y confirme el inicio de búsqueda. En proceso de búsqueda y asignación puede demorar unos minutos.

Una vez terminado el proceso se mostrará el resultado obtenido, en caso de no ser el esperado repita el proceso luego de verificar las conexiones del circuito DALI.

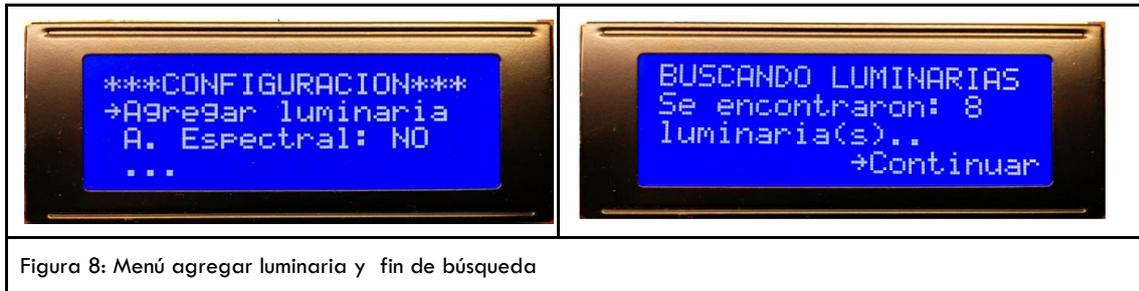


Figura 8: Menú agregar luminaria y fin de búsqueda

En caso de encontrar todas las luminarias conectadas, mediante un destello de la luz, indicará una a una de manera que las pueda reconocer como una luminaria nueva a registrar o si es una luminaria ya existente.

Luego de terminar el proceso de reconocimiento y asignación verifique el mismo ingresando a Información donde podrá encontrar protocolo utilizado, cantidad de luminarias encontradas y modo de funcionamiento actual.

MODO MANUAL

Por defecto el sistema comienza en modo manual. Ingresando a Ver/Edit Luminarias podrá ver el estado de cada luminaria (indicando cual es la luz seleccionada mediante un destello) y modificar manualmente la información de las mismas.

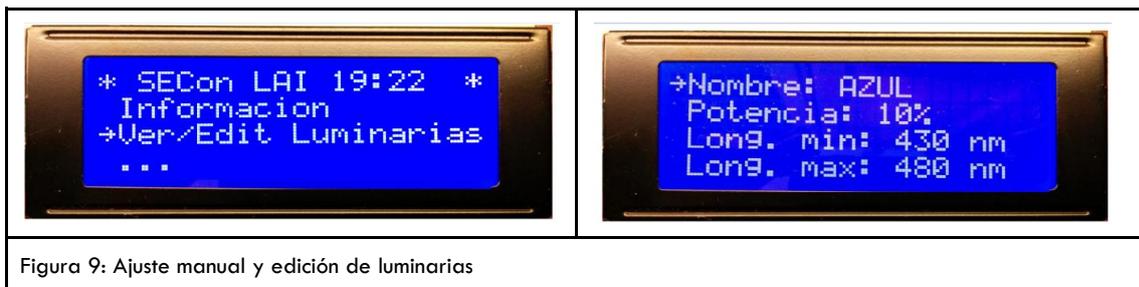


Figura 9: Ajuste manual y edición de luminarias

Nombre de la luminaria: Debe ser de 8 caracteres, en caso de requerir de menos complete los 8 asignando espacios.

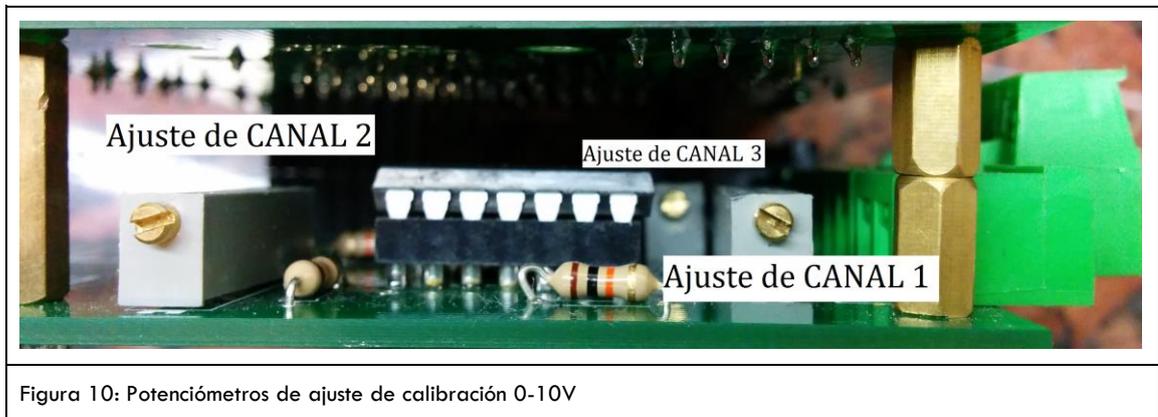
Porcentaje de potencia: En caso de estar en modo manual podrá modificar en saltos de 2% la potencia de cada luminaria.

Rango de influencia: En caso de utilizar el modo Ajuste Automático será necesario establecer para cada luminaria el rango de longitud de onda de influencia de las mismas. En caso de no conocerlo consulte con el fabricante.

CALIBRACIÓN DE 0-10V. (SOLO 0-10V)

En caso de utilizar protocolo 0-10V se recomienda calibrar el controlador por primera vez o en caso de notar que la potencia máxima de las luminarias no corresponde al 100%.

Para calibrar se deberá establecer las potencias de las luminarias en 100% y girar los tornillos de los potenciómetros hasta lograr 10V entre pines de cada salida 0-10V. En la Figura 10 se identifican los potenciómetros y sus correspondientes salidas.



ELIMINAR LUMINARIA (SOLO DALI)

En caso de necesitar eliminar una luminaria puede realizarlo sin la necesidad de desconectarla, en la segunda página de configuración encontrará la opción Eliminar luminaria. Seleccione la luminaria a eliminar y confirme la acción. En caso de ser eliminada, se perderán todos los datos cargados de la luminaria (Nombre, Rango de influencia, Potencia) y la misma se apagará.

MODIFICAR FECHA/HORA

Para algunos modos avanzados es necesario configurar correctamente la hora del sistema. Para hacer esto vaya a Configuración, Cambiar fecha/hora, modifique correctamente la hora con los botones confirmando con "ENTER". Al salir verifique el correcto establecimiento de la misma en la esquina superior derecha en la pantalla del menú principal.

VERIFICACIÓN DE ERRORES (SOLO DALI)

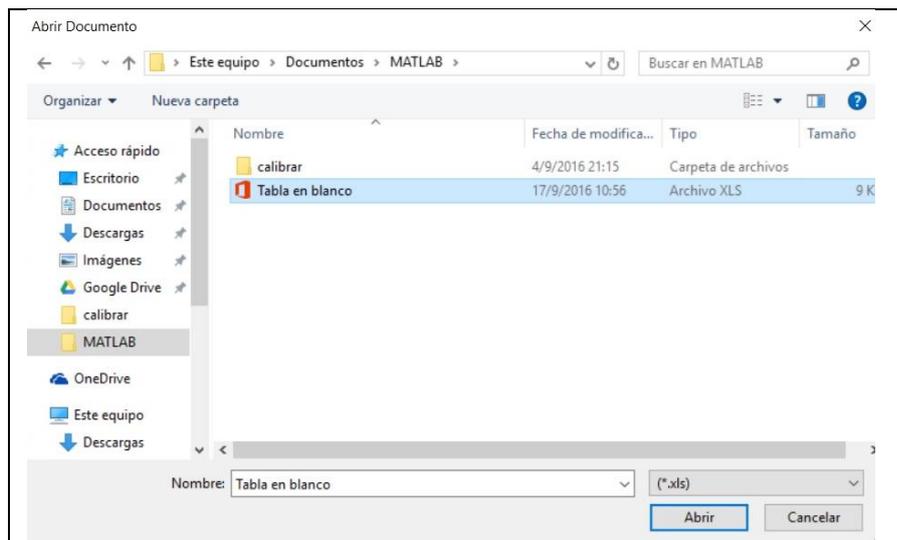
En caso de averías en las luminarias, ciertos balastos DALI permiten la notificación de dichas averías ante determinadas consultas. En caso de contar con balastos que soporten dicha utilidad es posible hacer una verificación de errores.

Para ello, diríjase a la segunda página de Configuración y situado sobre la opción "Errores:" pulse "ENTER". En caso de ser notificado un error de LEDs quemados o desconectados, modificará el "NO" existente por un "SI".

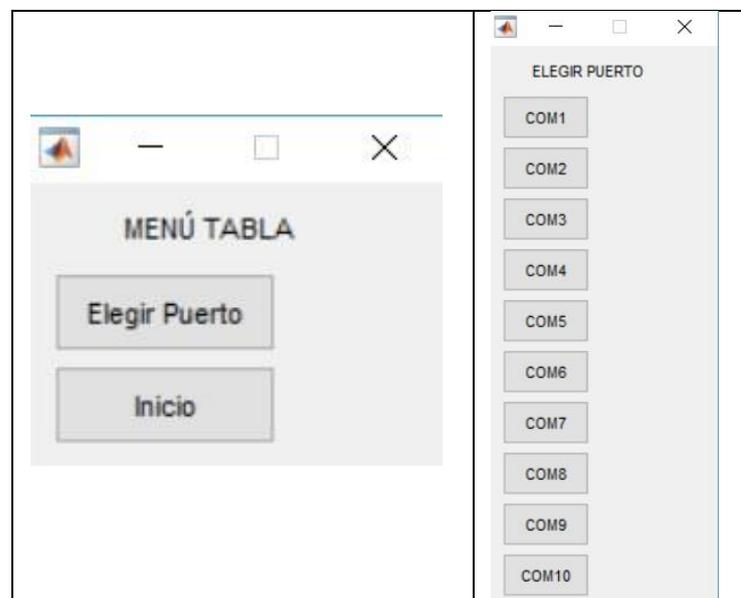
Una vez completada la tabla y guardada en formato .xls, ejecute el programa “Modo Tabla.exe”. En pantalla le aparecerá una ventana como la siguiente.



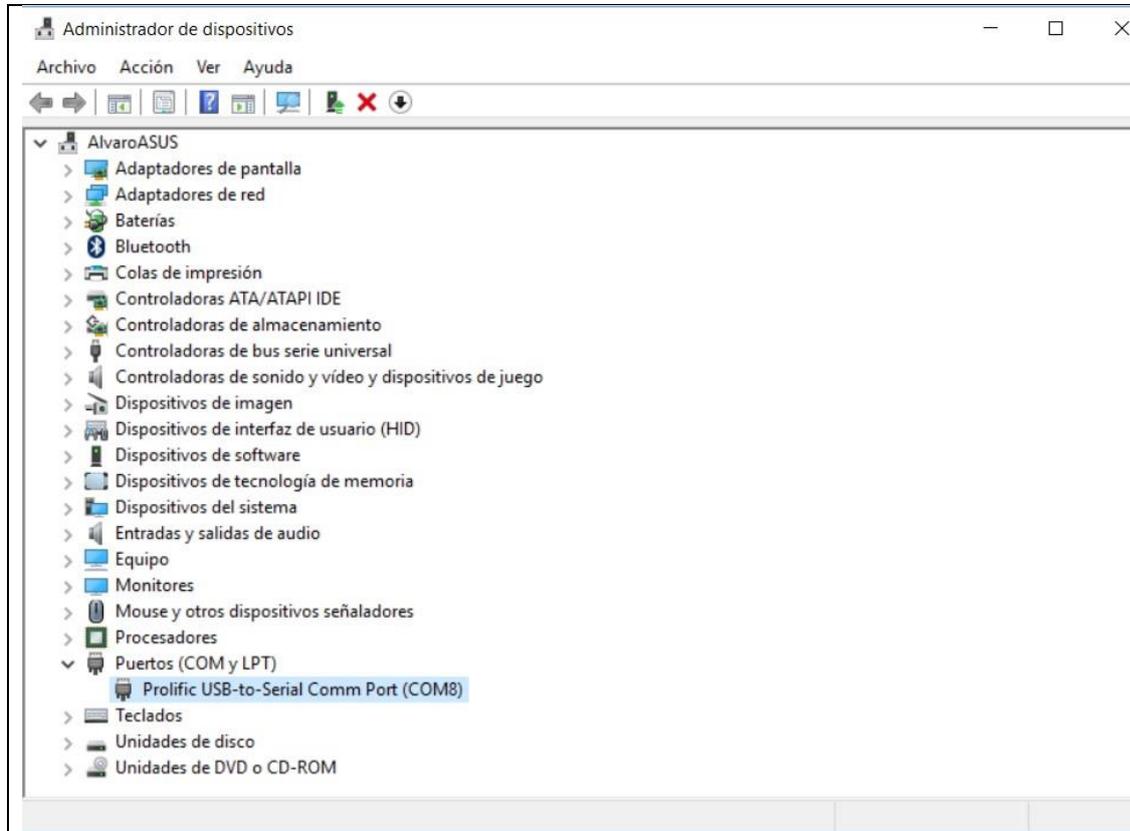
Al presionar “Cargar Tabla” deberá escoger en directorio la tabla completada anteriormente.



Una vez cargado dicho archivo seleccione el puerto de comunicación serie a utilizar.



En caso de no conocer el mismo, podrá identificarlo ingresando en su PC a “Panel de control/Dispositivos/Administrador de dispositivos” buscando bajo la pestaña Puertos (COM & LPT) el nombre del adaptador serie utilizado y tomando nota del número que aparece en dicho dispositivo. Para el caso ejemplo de la imagen a continuación el puerto es COM8.



Habiendo establecido el puerto de comunicación serie, se desplegará un nuevo menú. Seleccione Enviar Tabla para realizar el envío de la tabla cargada.



Al enviar la Tabla verifique que es correctamente recibida por el equipo SECon LAI. Para verificar esto, identifique en la esquina superior derecha de la pantalla aparece una letra “T” indicando que el sistema posee una tabla cargada.



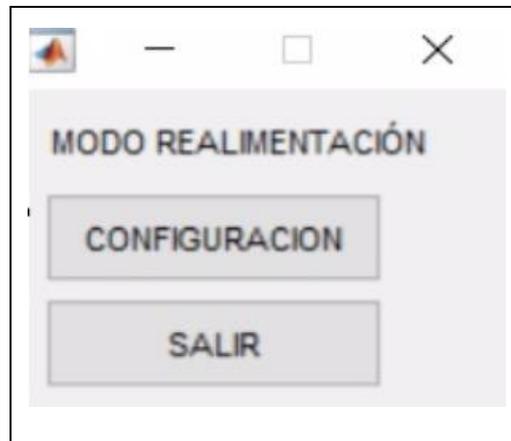
Para comenzar a ejecutar el programa cargado en la tabla, diríjase a la segunda página del menú inicial y seleccione Modo Tabla. Indique entre las opciones de “Iniciar ahora” o “Inicio programado”. En caso de seleccionar la primera opción el sistema comenzará a correr el programa en ese momento, en caso de elegir la segunda deberá ingresar la hora de comienzo de ejecución del programa.

Una vez concluido el programa (cada una de las líneas y las repeticiones) el sistema volverá a el inicio configurado en Modo Manual.

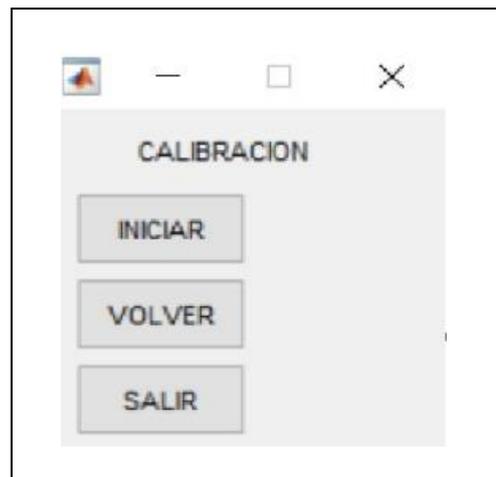
MODO AJUSTE AUTOMÁTICO

En caso de contar con un espectroradiómetro Ocean Optics USB2000, SECon LAI brinda la posibilidad de realizar ajustes de potencia basados en el espectro radiante recibido por dicho sensor de manera de ajustar automáticamente la potencia deseada en cada rango de longitudes de onda.

Para utilizar este modo ejecute en su PC el programa modo_realimentacion.exe. Se desplegará en pantalla la siguiente ventana:



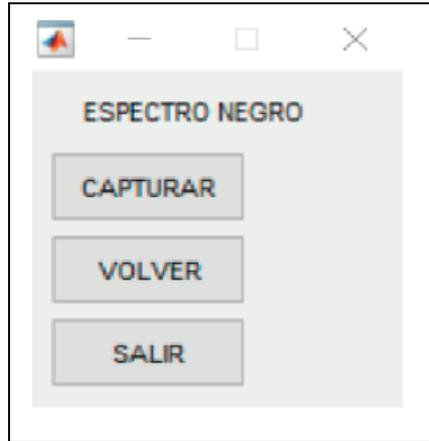
Presione “Configuración” y se mostrará el siguiente menú:



Para iniciar la realimentación debe primero realizar una serie de pasos para calibrar el instrumento.

1. Encienda las luminarias.
2. Presione “Iniciar” en el programa.
3. En la ventana emergente seleccione el directorio del archivo de calibración a utilizar y espere a que el programa termine de ajustar el instrumento. Una vez finalizado, se despliega la siguiente ventana:

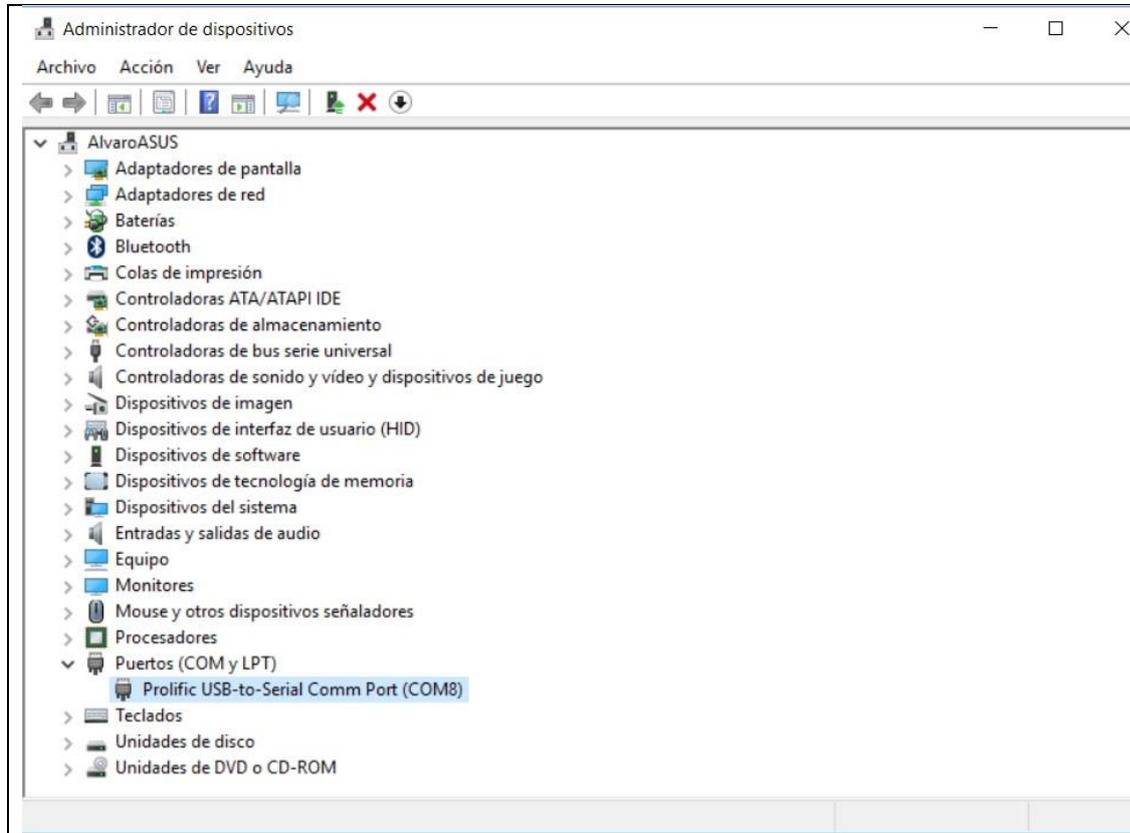
4. Realice una captura del espectro en negro, impidiendo el ingreso de luz al sensor instrumento. Obstruya el pasaje luz y presione “Capturar” para realizar esa medida.



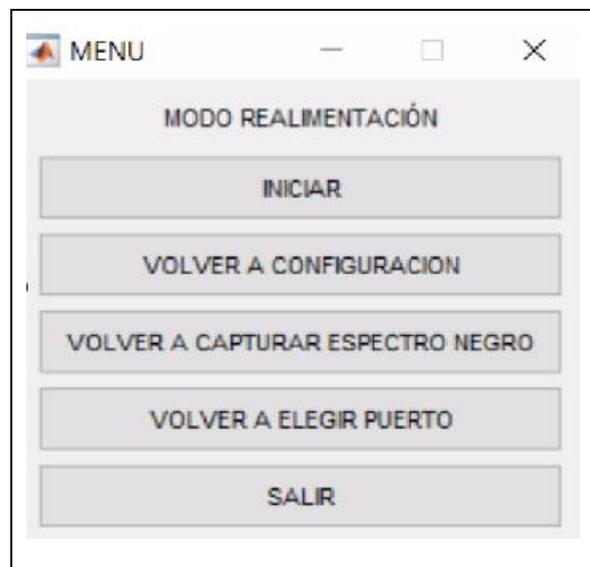
Realizada la calibración inicial, seleccione el puerto de comunicación serie a utilizar.



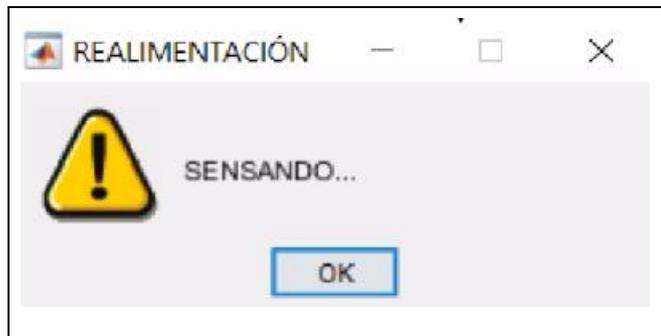
En caso de no conocer el mismo, podrá identificarlo ingresando en su PC a “Panel de control/Dispositivos/Administrador de dispositivos” buscando bajo la pestaña Puertos (COM & LPT) el nombre del adaptador serie utilizado y tomando nota del número que aparece en dicho dispositivo. Para el caso ejemplo de la imagen a continuación el puerto es COM8.



Habiendo establecido el puerto de comunicación serie, se desplegará un nuevo menú. Seleccione Iniciar para esperar al microcontrolador para realizar la realimentación.



Aparecerá el siguiente cartel indicando el comienzo del sensado:



En el microcontrolador se diríjase a Configuración → A. Espectral → Encender. Allí ingrese la potencia para cada luminaria y seleccione el sub-modo a utilizar (One Shot o Ajuste Continuo) para dar inicio a la realimentación.

En el submodo One Shot, las luminarias se ajustarán a la potencia indicada. Una vez logrado esto, el sistema vuelve a Modo Manual manteniendo las potencias deseadas en cada luminaria.

En el submodo Ajuste Continuo, las luminarias se ajustarán a la potencia indicada. Una vez cumplido esto, el sistema vuelve a la pantalla de inicio manteniendo el modo Ajuste Continuo. De este punto en adelante, el sistema automáticamente realiza nuevas consultas ajustando de a pasos de a 2% de la potencia de cada luminaria con una recurrencia de 30 segundos. Para salir de este modo diríjase a Configuración → A. Espectral → Apagar.

REINICIO DEL SISTEMA

Es posible realizar un reinicio del sistema dirigiéndose a la opción "Reiniciar" en la segunda página de Configuración y confirmando el reinicio. Tenga en cuenta que al reiniciar se borra todo lo cargado en el sistema, reiniciando de fábrica el software del equipo.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

12.3 ANEXO C: PROTOCOLO DALI

Introducción a DALI

Como indica el significado de este acrónimo, Digital Addressable Lighting Interface, DALI es un interfaz de comunicación digital y direccionable para sistemas de iluminación.

Este sistema es un estándar internacional, de acuerdo a la norma IEC 62386, que asegura la compatibilidad e intercambiabilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

Es un interfaz de regulación bidireccional con una estructura maestro-esclavo, donde la información fluye desde un controlador, que opera como maestro, hacia los equipos de iluminación que operan únicamente como esclavos, ejecutando los comandos o respondiendo a las solicitudes de información recibidas.

La comunicación mediante las señales digitales se realiza a través de un bus o línea de control de dos hilos. Estos hilos de control pueden poseer polaridad positiva y negativa, aunque la mayoría de equipos están diseñados libres de polaridad para que la conexión sea indiferente.

A diferencia de otros sistemas de regulación, la creación de grupos no se tiene que realizar de forma cableada, por lo que todos los equipos se conectan en paralelo al bus sin tener en cuenta la agrupación de los mismos, únicamente evitando una topología en bucle o anillo cerrado.

No se necesitan relés mecánicos para el encendido y apagado del alumbrado ya que se realiza mediante comandos vía la línea de control. Tampoco se necesitan resistencias de terminación del bus.

Por tanto el interfaz DALI ofrece una simplicidad de cableado así como una gran flexibilidad en el diseño de la instalación del alumbrado.

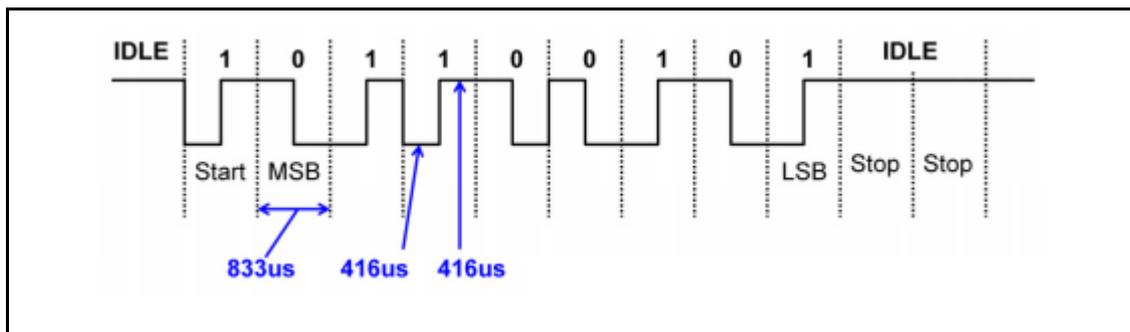
La máxima caída de tensión a lo largo de la línea de control no puede ser superior a 2V con la corriente máxima del bus de 250mA. Por tanto, la máxima distancia de cableado permitida depende de la sección del cable, pero en ningún caso debe ser superior a 300m.

Una vez realizado el cableado, se realiza la configuración del sistema de iluminación DALI vía software. Se pueden crear hasta 16 escenas diferentes, direccionando los equipos de forma individual hasta un máximo de 64 direcciones (direcciones cortas de 6 bits), por grupos hasta un máximo de 16, o de forma simultánea mediante un comando "broadcast". La configuración puede ser cambiada en cualquier momento sin necesidad de recablear.

Por otro lado, los balastos poseen una dirección aleatoria (también llamada dirección larga) de 24 bits que se utiliza para configurar una dirección corta en el modo de configuración.

El sistema DALI posee una curva de regulación logarítmica ajustada a la sensibilidad del ojo humano, definida en la norma internacional IEC 62386. El rango de regulación posible está establecido entre el 0% y el 100%, estando determinado el nivel mínimo por el fabricante del equipo.

En el bus DALI se transmiten datos a 1200 bps (con tolerancia de +/- 10%) con codificación manchester, por lo tanto el tiempo de bit es de 833 μ s. El bit más significativo (MSB) se envía primero luego del bit de arranque, por último se envía la señal de stop (bus "alto" por 2 tiempos de bit). A continuación se ejemplifica el envío de datos mediante una imagen.



MÉTODO DE ENVÍO DE DATOS EN BUS DALI. EXTRAIDA DE WWW.DANGEROUSPROTOTYPES.COM

El sistema DALI se encuentra situado en la franja comprendida entre los complejos y costosos, pero potentes, sistemas de control de edificios que ofrecen una funcionalidad total y los sistemas de regulación más económicos y sencillos como puede ser 0-10V.

12.4 ANEXO D: MAPA EEPROM

En las tablas desplegadas a continuación se muestra la organización de datos en la memoria EEPROM del microcontrolador.

Luminarias

En la tabla a continuación se observa la organización de los datos de las luminarias en la memoria del sistema. En rojo se muestran los datos no disponibles, en gris los datos fijos y en verde los datos modificables por el sistema o usuario.

	PROCOLO 0x01=DALI 0x02=0-10V, Otro=No config.	ADDRESS DALI	POTENCIA uW/cm2 Byte bajo	POTENCIA %	POTENCIA uW/cm2 Byte alto	LONGITUD MIN (nm/10)	LONGITUD MAX (nm/10)	NOMBRE1	NOMBRE2	...	NOMBRE8
Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	...	0E
000	0-10V										
010	0-10V										
020	0-10V										
030											
040											
...											
1F0											

	PROCOLO SISTEMA 0x01=DALI 0x02=0-10V Otro=No válido	TABLA 0x01 - OK Otro - Error	MODO 0x00 - AUTO 0x01 - MANUAL 0x02 - TABLA 0x03 - AUTO AJ CONT Otro - No válido
Address	00	01	02
3F0			

Tabla

En la siguiente tabla se puede observar la organización en memoria de la tabla usada en “Modo temporizado”. En azul se muestran los lugares no utilizados y en verde los lugares configurables por el sistema o por el usuario.

Address	00	01	02	03	04	0F
200	Repeticiones 0x00=NO 0xXX=cant Rep 0xFF=Inf.	Puntero de fila	ADD1	ADD2	...	ADD14
210	Hora inicio	Minutos inicio	Cant. Columnas	Cant. Filas		
220	Minutos delay		Potencia% 1	Potencia % 2	...	Potencia % 14
230	Minutos delay					
...	Minutos delay					
3E0	Minutos delay					

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

12.5 ANEXO E: PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN SERIE

En la siguiente tabla se detalla el protocolo de comunicación serie para obtener la potencia en un rango de longitudes de onda.

Pregunta de potencia		
Descripción	Datos	Largo (bytes)
Start espectrómetro	s	1
Longitud mínima	Longitud en nm/10	1
Longitud máxima	Longitud en nm/10	1
Cantidad luminarias	Cantidad luminarias	1
Respuesta de potencia		
Start respuesta	s	1
Potencia (byte alto)	Potencia en $\frac{\mu W}{cm^2}$	1
Potencia (byte bajo)	Potencia en $\frac{\mu W}{cm^2}$	1
Fin	e	1
Fin de comunicación		
Fin	f	1

Con el programa de espectroradiómetro ejecutándose en el PC, la consulta de potencia comienza con la trama “Pregunta de potencia” y la PC contesta con la trama de “Respuesta de potencia”. Una vez que SECon LAI finaliza el ajuste de potencia, se envía el carácter “f” para indicar el cierre de la conexión.

En la tabla que se muestra a continuación se describe el protocolo de envío de la tabla de escenas desde la PC hacia el módulo de control.

Envío de tabla		
Descripción	Datos	Largo (bytes)
Start tabla	t	1
Repeticiones	0, 1, ..., FF	1
Cantidad luminarias	0, 1, ..., 14	1
Cantidad filas	0, 1, ..., 34	1
Nombres	ASCII	8*cantLum
Datos tabla		cantFilas*cantColumnas
Delays	0..255	cantFilas
Fin comunicación	f	1

El campo Nombres debe tener exactamente 8 caracteres por luminaria, en caso de que en la tabla del usuario se ingresen menos de 8 se deben rellenar con espacios.

El detalle de “Datos tabla” se puede observar a continuación:

Datos Tabla					
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	...	Byten
Porcentaje 1	Porcentaje 2	Porcentaje 3	Porcentaje 4	...	Porcentaje n

No está de más aclarar que la trama de Tabla no tiene respuesta por parte del módulo de control.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Esta es la última página.
Compilado el viernes 7 octubre, 2016.
<http://iie.fing.edu.uy/>