



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CONTROL DE INTENSIDAD Y COLOR DE LUMINARIAS LED
PARA LA REALIZACIÓN DE TERAPIAS

Autor: D. Jorge Gallud Cano

Tutora: D^a. M^a Isabel del Valle González

Tutor: D. Alberto Mansilla Gallo

Valladolid, febrero 2017

RESUMEN

Se estudia la luminoterapia como medio para adaptar las condiciones de vida a una situación de iluminación natural, tratando los fundamentos físicos de la misma y sus consecuencias positivas para la salud. Se trabaja el control de la intensidad y temperatura de la luz en luminarias LED mediante protocolo DALI, estudiando previamente las características de este sistema de control y la normativa sobre iluminación y eficiencia energética. Se implementa el sistema de control en una placa de desarrollo EasyPIC Pro v7 trabajando con una tarjeta DALI click, un balasto DALI y un bus DALI. Se desarrolla el código necesario en C para el microcontrolador PIC18F87K22, que se documenta mediante diagramas de flujo, resultando un banco de prácticas de aplicación en asignaturas del Departamento de Tecnología Electrónica de los grados de Ingeniería. Se plantean líneas futuras en continuidad con el presente proyecto, que son actuales y de interés didáctico y comercial.

PALABRAS CLAVE

DALI, regulación, balasto, luz biológica, mikroC.

ABSTRACT

Light therapy is studied as a way to adapt daily live conditions to a daylight-like lighting, working on its physical basics and the healthy consequences it has. Intensity and light color are controlled in LED luminaries through DALI protocol, previously studying the characteristics of this control system and de regulations on lighting and energy efficiency. The control system is implemented in an EasyPIC Pro v7 board, working with a DALI click board, a DALI ballast and DALI bus. The necessary code in C is developed for the microcontroller PIC18F87K22, which is documented by flow-chart, obtaining a practice system with application in subjects of the Department of Electronic Technology of Engineering degrees. Future lines are proposed in continuity with the present project, which are up to date and of didactic and commercial interest.

KEYWORDS

DALI, dimming, ballast, daylight, mikroC.

ÍNDICE

Introducción	1
1. Luminoterapia	1
2. Estado del arte	6
3. Protocolo DALI.....	7
1. ¿Qué es DALI?.....	7
2. Características y ventajas.....	8
3. Requerimientos	10
4. Funcionamiento	10
Planteamiento y descripción del hardware.....	13
1. Grupo entrada/salida	13
2. Microcontrolador PIC18F87K22.....	14
3. Programador y depurador mikroProg.....	15
4. Tarjeta DALI click.....	15
5. Balasto y bus DALI.....	16
Desarrollo del software y resultados.....	19
1. Programación del sistema	19
2. Resultados	29
Conclusiones	33
Referencias.....	35
Anexos.....	37
1. Comandos DALI.....	37
2. Normativa relativa a la eficiencia energética	55
3. Esquema de la tarjeta EasyPIC Pro v7.....	58
4. Esquema de un grupo entrada/salida	62
5. Esquema de la tarjeta MCU	63

6. Esquema de la tarjeta DALI click	64
7. Balasto DALI	65
8. Bus DALI	66
9. Gastos.....	67

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo fin de máster se plantea como una inmersión en el ámbito de la iluminación. Se pretende, entre los objetivos, desarrollar un banco de prácticas que permita, desde la perspectiva de la electrónica, tener ciertas nociones sobre el desarrollo de los sistemas de iluminación. Siendo un campo amplio y novedoso, se procurará concretar hasta llegar al desarrollo de la instrumentación electrónica necesaria, sin perder de vista el enfoque global del contenido. Se estudiarán los efectos de la iluminación en el ser humano, la iluminación biológica, los sistemas de iluminación y el protocolo DALI. Una vez adquirida la base teórica necesaria, con el fin docente que caracteriza el proyecto, se procederá al desarrollo de un banco de prácticas que permita establecer un sistema de iluminación biológica a partir del cual sea posible extraer conclusiones de carácter genérico. Esta implantación supone una pequeña inversión, que se realizará en colaboración con el Departamento de Tecnología Electrónica de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. En el anexo 9 se desglosan estos gastos.

1. Luminoterapia

La tecnología LED se puede utilizar en las infraestructuras existentes sin necesidad de mayores inversiones, permitiendo ahorros de energía de entre el 50 y el 90 %. Es percibida por el usuario como una mejora en la iluminación. Ligada a esta tecnología se encuentra la luminoterapia, el impacto de la luz en los seres humanos. Recientes estudios¹ manifiestan cómo influyen el color de la luz —la temperatura— y la intensidad.

La luz eléctrica se lleva usando menos de 150 años; data del siglo XIX (Edison 1878). Antes, la única fuente de luz, junto con el sol, era el fuego, por lo que la adaptación de las actividades cotidianas a los ritmos naturales era fundamental. Actualmente eso no es necesario, al disponer de sistemas de iluminación. Esta evolución ha manifestado unos efectos negativos en la calidad de vida de las personas que han llevado a tratar de imitar la luz natural.

Los efectos de la iluminación que no se aprecian con la vista son denominados *melanópicos*. Estos son producidos por unos foto-receptores especiales que contienen el pigmento fotosensible melanopsina que es especialmente sensible a la luz azul. Otra expresión con frecuencia utilizada es la *iluminación circadiana*, referente a cómo la luz se diseña para estabilizar el ritmo diario de una persona. Un tercer término es la *iluminación dinámica*, que indica las variaciones coordinadas de color e intensidad en la iluminación.

La luz sincroniza nuestro reloj interno; no sirve únicamente para ver. En la retina se encuentran unos foto-receptores que no facilitan la visión, pero que sirven para establecer los ritmos de nuestro reloj interno. Son especialmente sensibles a la luz con alto contenido azul. Este descubrimiento encauzó la relación entre luz y salud. Ac-

¹ (Razavi Hospital, n.d.; rfw. kommunikation, n.d.)

tualmente, la adaptación de la luz según circunstancias —luminoterapia— puede mejorar sustancialmente la calidad de vida de las personas. La iluminación circadiana favorece la salud, el ritmo biológico del sueño, la capacidad de concentración y ayuda a dormir mejor. Numerosos estudios, como los ya citados, muestran las ventajas de la iluminación dinámica, que cada vez tiene más aplicaciones prácticas. Actualmente, la mayor parte del tiempo se pasa en espacios cerrados, bajo luz artificial; esta carencia afecta a la salud. Durante el invierno, cuando hay menos horas de luz, aumentan los diagnósticos de depresiones.

Una buena iluminación resulta especialmente importante para gente mayor, ya que la salud y el sueño adquieren un papel más delicado. A partir de los 30 años, la calidad del sueño empeora: es menos profundo y reparador; a partir de los 70 estos síntomas se agudizan. La iluminación LED no es únicamente un medio para el ahorro y la eficiencia, sino también la oportunidad de mejorar las condiciones de vida de las personas en un amplio rango de aspectos, como se puede vislumbrar a través de la figura 1. Son considerables los resultados obtenidos en estudios al respecto, y aún hay margen en el estudio de la luminoterapia. En el presente trabajo se plantea llevar estos avances científicos al ámbito universitario y de una forma sencilla. Para ello se pretende realizar el control de la intensidad y el color de la iluminación LED mediante protocolo DALI, programando una placa de desarrollo.

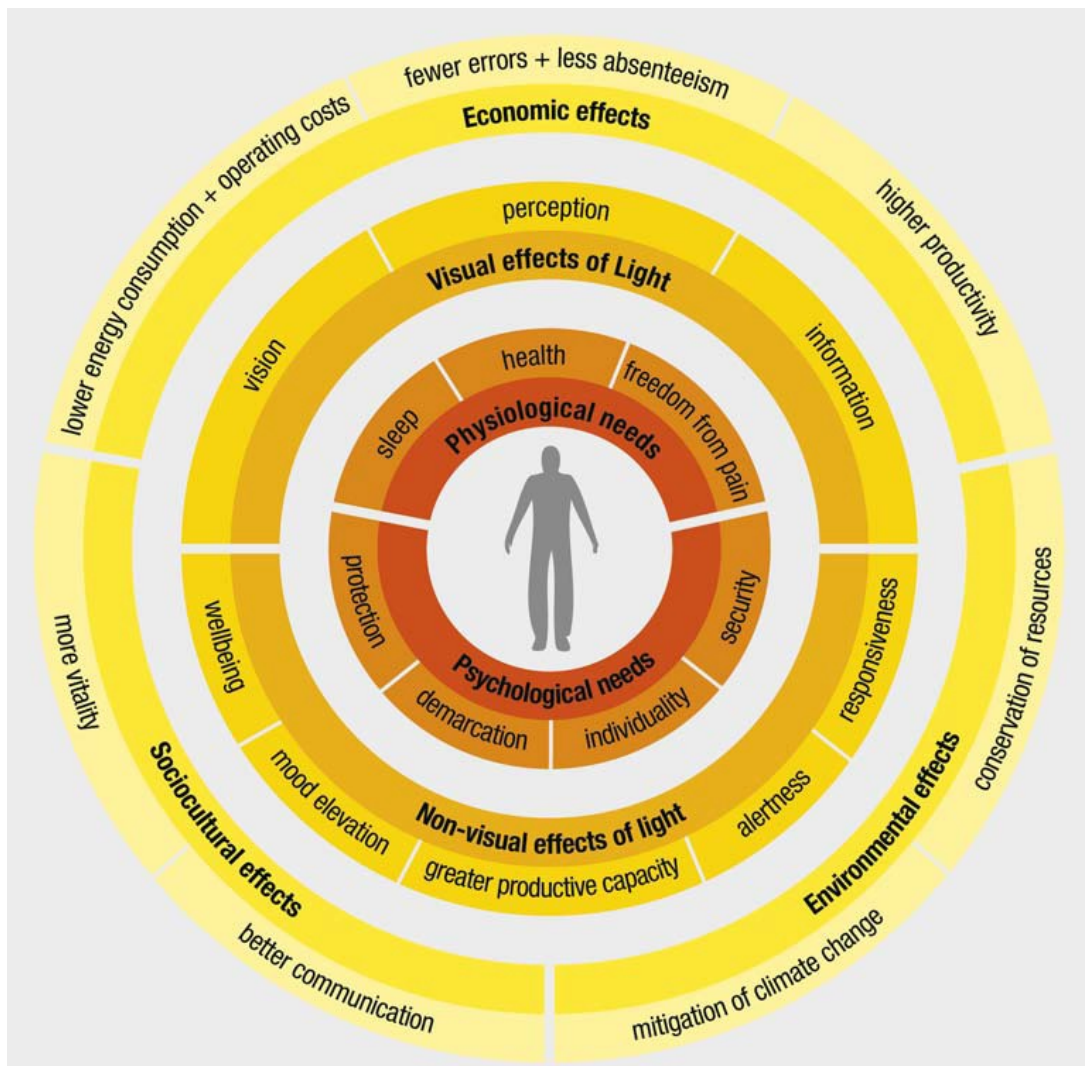


Fig 1. Modelo de los efectos de la iluminación sobre el ser humano. (rfw. kommunikation, n.d.)

En 2002 se descubrieron células ganglionares especiales en la retina, situadas en las capas profundas, que no tienen una función visual, pero son fotosensibles. En la figura 2 se muestra un esquema. Están directamente conectadas al cerebro, en concreto con el núcleo supraquiasmático (SCN) del hipotálamo. Las células del SCN se sincronizan cada jornada con la luz del día. De esta manera, registrando el brillo del ambiente, regulan los procesos biológicos. En el interior de este tipo de células los investigadores han encontrado una proteína denominada melanopsina que es un fotorpigmento especialmente sensible a la luz azul (480 nm). Experimentos con luz monocromática mostraban que esta longitud de onda suprime la producción de melatonina (hormona del sueño). Un ejemplo familiar: es la hora de acostarse y los niños están cansados, pero tras lavarse los dientes en el baño se espabilan de nuevo y meterlos en la cama se convierte en una auténtica hazaña. La causa de esta repentina vitalidad bien puede estar en la iluminación del cuarto de baño que con frecuencia tiene un alto contenido de luz azul.

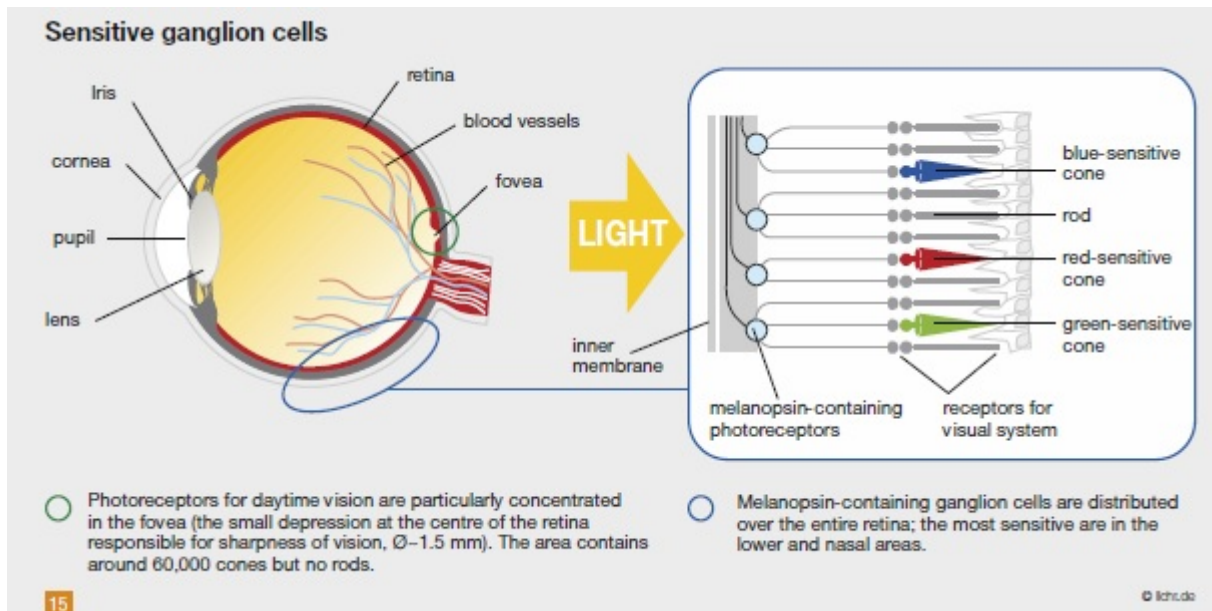


Fig 2. Células ganglionares especiales (rfw. kommunikation, n.d.)

Las claves para regular el reloj interno están en la iluminación. Las hormonas son las sustancias que marcan el ritmo interno, principalmente la melatonina, el cortisol y la serotonina. La primera está relacionada con el sueño, la segunda estimula el metabolismo y la tercera está ligada al estado anímico de la persona. Si el cuerpo está poco tiempo expuesto a la luz solar, se produce poca melatonina y el descanso no es efectivo. En la sociedad actual, en la que se pasa la mayor parte del tiempo en lugares cerrados, una iluminación que tenga en cuenta los aspectos mencionados juega un papel esencial para ayudar a estabilizar los ritmos circadianos.

Los parámetros vienen definidos por la luz natural: iluminancia, planaridad, dirección, color, dinamismo a lo largo del año. Estas magnitudes varían considerablemente en función de la localización geográfica, el clima, la estación del año y la hora del día. La intensidad y el color, por ejemplo, aumentan ligeramente a mediodía,

mientras que por la tarde es preferible una menor intensidad y colores más cálidos que preparen el cuerpo para dormir. Para trabajar es preferible una iluminancia intensa con alto contenido de luz azul. El lema está claro: cuanto más se pueda aprovechar la luz natural, mejor.

Inicialmente, estos desarrollos sólo eran técnicamente posibles con lámparas fluorescentes. Ahora se encuentran otras fuentes luminosas que pueden ser optimizadas para un efecto biológico. Las luminarias LED son una opción particularmente flexible y es la empleada en el presente proyecto. Puede facilitar un rango de diferentes tonalidades. Añadir un control dinámico del color permitirá satisfacer las necesidades del usuario. Una combinación frecuente es la de lámparas fluorescentes con LEDs.

El diseño de esta iluminación debe tener un carácter global que incluya la iluminación, los espacios y la actividad que se desarrolla. Es la manera de que sea eficiente energéticamente y se alcancen los efectos buscados. El color juega un papel crucial. Se expresa como temperatura (en Kelvin), que indica el color intrínseco que emite una fuente de luz. La regulación está contenida en normas como la DIN 5035 y DIN EN 12464-1. Una concepción visual de la segunda norma se muestra en la figura 3.

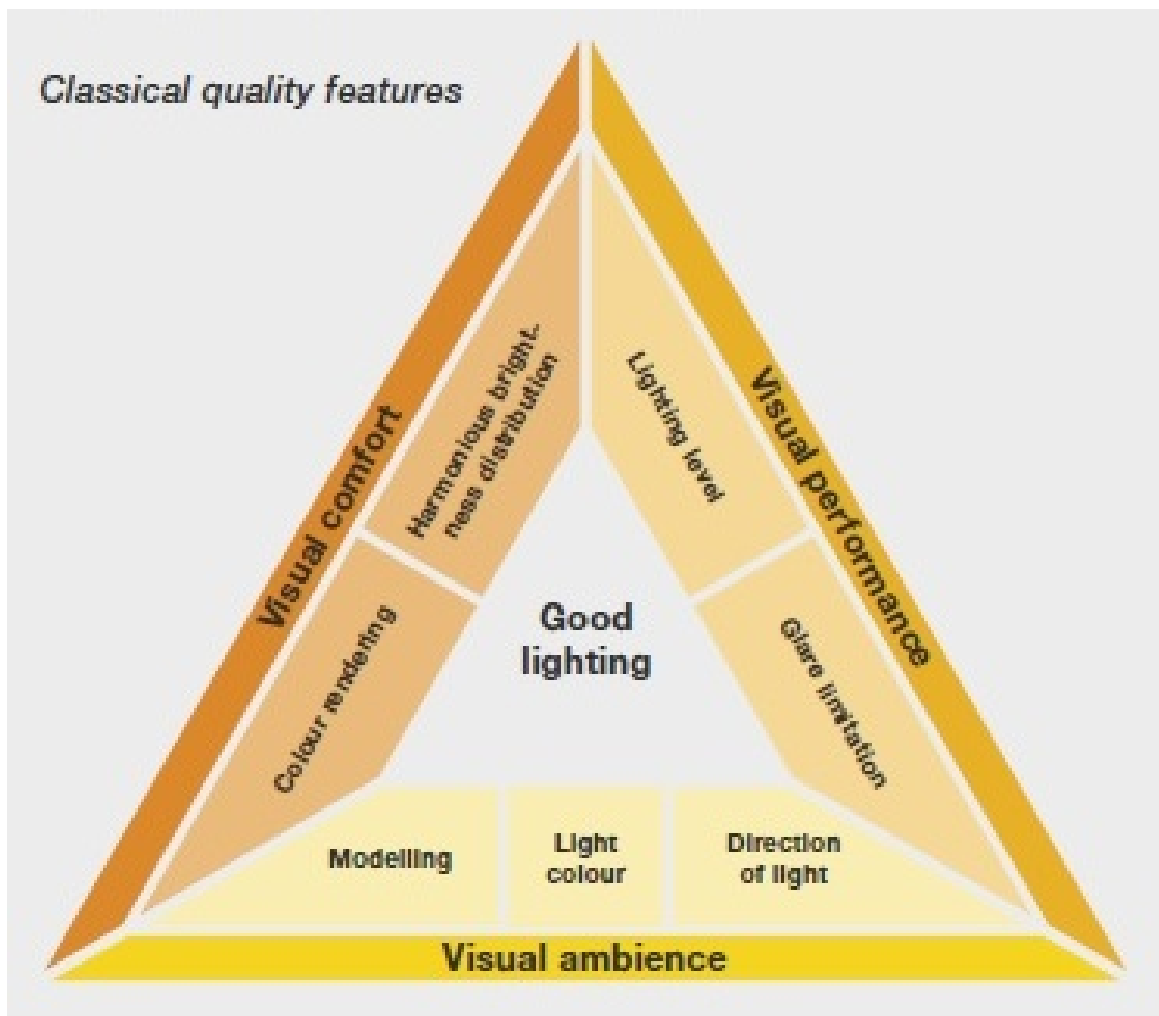


Fig 3. Calidad de la iluminación de acuerdo con DIN EN 12464-1. (rfw. kommunikation, n.d.)

Junto con el espectro azul, es importante el factor de la iluminancia (lx) para que la luz tenga un efecto biológico significativo. Asimismo, es importante que el ojo humano perciba zonas brillantes en la habitación y que todo ello esté bien sincronizado con la hora del día. La calidad de la iluminación no está enfrentada a la eficiencia energética, como se puede observar en la figura 4.

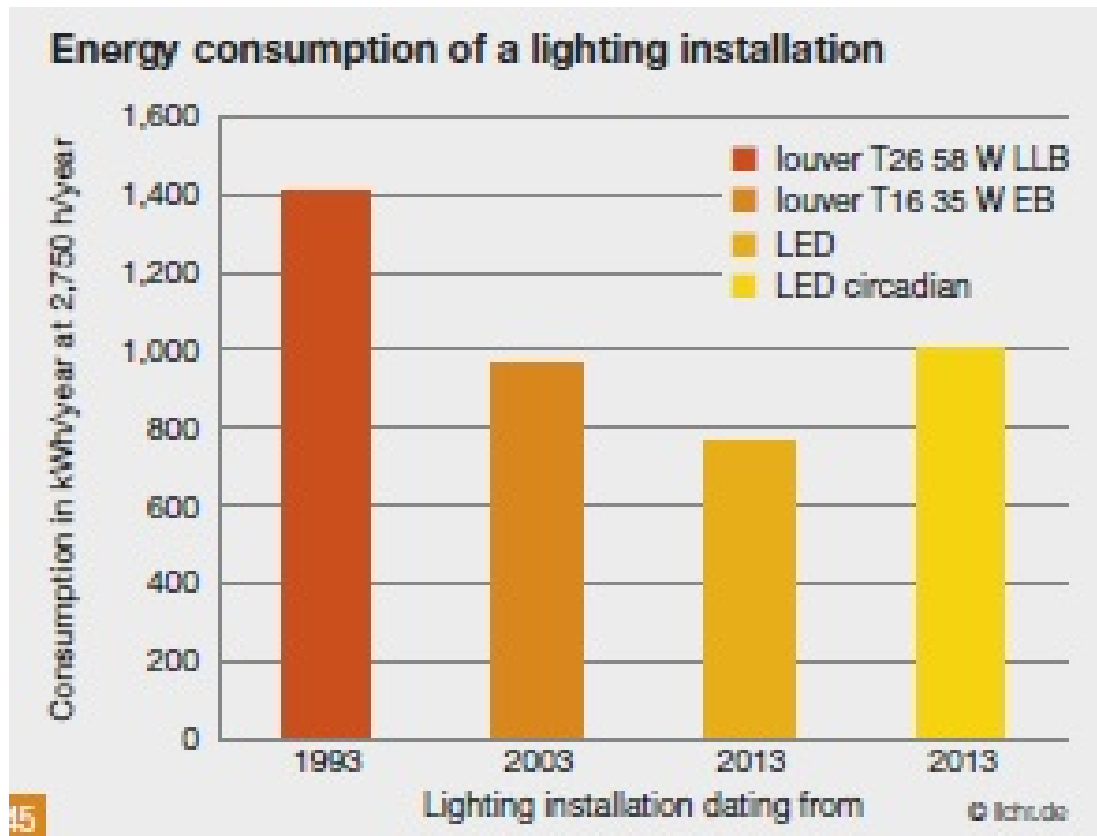


Fig 4. Ejemplo de una instalación. (rfw. kommunikation, n.d.)

Por último, la concreción de estas generalidades en la iluminación de una residencia de ancianos tiene algunas peculiaridades. Los requerimientos son exigentes, ya que muchos residentes tienen una vista muy pobre y la calidad de vida depende bastante de cuán bien puede ver una persona. A veces se confunden con sombras o tropiezan con obstáculos o se encuentran desorientados. Múltiples aplicaciones actuales muestran que una iluminación adecuada, con efectos no visuales, puede repercutir en una considerable mejora de las condiciones vitales, así como en un aumento de la actividad.

En un proyecto de investigación desarrollado en Austria², se crearon tres situaciones de iluminación:

- Incremento de la intensidad luminosa de 300 a 2.000 lx.
- Aumento del color de 3.000 K a 6.500 K en pasillos y 8.000 K en comedor y salones.
- Modificación dinámica de la iluminación según la hora del día

² (Sust, Dehoff, Lang, & Lorenz, 2012)
Control de luminarias LED

Comparando los efectos de estas nuevas situaciones con la antigua, resultó que los residentes se comunicaban más y participaban con mayor frecuencia en las actividades. Como muestra gráficamente la figura 5, también dormían mejor por las noches, debido al incremento en la actividad diaria y a la adecuada iluminación por la tarde.

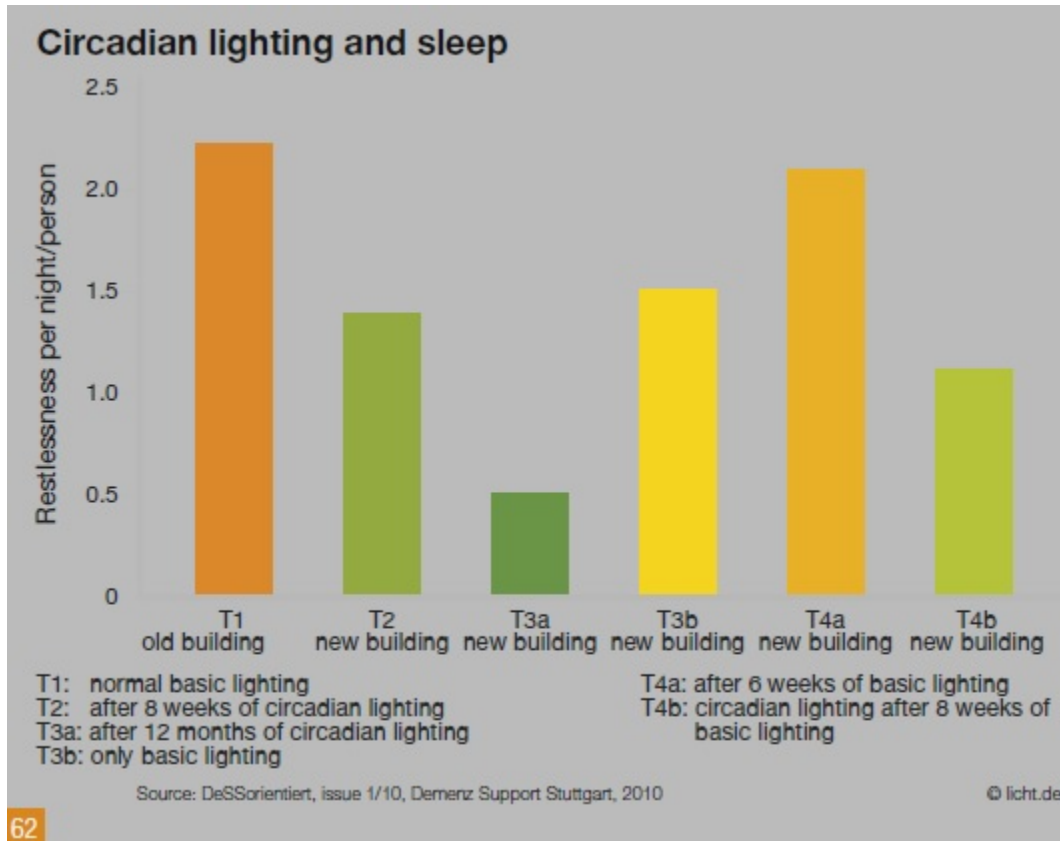


Fig 5. Horas en vela según iluminación. (rfw. kommunikation, n.d.)

2. Estado del arte

El sistema DALI es bastante reciente, teniendo sus orígenes comerciales en 1998. Su desarrollo está siendo rápido y actualmente se encuentran numerosos sistemas de iluminación controlados mediante protocolo DALI. Los estudios al respecto son de carácter descriptivo en su mayoría, ya que la tecnología es aplicable.

Respecto a la iluminación biológica, como aplicación concreta mediante el protocolo DALI, también son varias las instituciones que ya la han implantado en sus instalaciones. No obstante, en este campo, aún queda mucho recorrido. En la bibliografía se recogen algunos ejemplos como el del hospital *Razavi*³ en Viena.

Sobre la regulación de la iluminación, de manera general se puede hacer un recorrido por los distintos tipos. En primer lugar, la regulación ON-OFF, que consiste en regular con varios circuitos de encendido, según precisen las circunstancias. En segundo lugar, el sistema 1-10 V, que se trata de un sistema de control de ilumina-

³ (Sust et al., 2012)

ción analógico de baja tensión que emplea balastos analógicos conectados en paralelo y controlados de manera simultánea a través de la variación del voltaje desde los 0 V hasta 10 V. Los balastos no son direccionables ni se pueden controlar individualmente. (Ribarich & Contenti, 2002). Permite la regulación del flujo luminoso en un rango comprendido entre el 1% y el 100% a través de una señal analógica. Los hilos de control están polarizados; el sistema es unidireccional, es decir, no se genera feedback; el encendido y apagado del sistema debe realizarse de manera independiente a la regulación, mediante un interruptor en conexión con la alimentación; la longitud del cableado queda limitada por la caída de tensión en la línea. En tercer lugar, se encuentra la regulación mediante pulsador Touch Control. Es una manera sencilla y económica que controla a través de la tensión de red, aplicándola a través de un pulsador. En función de la duración de la pulsación, es posible encender, apagar y regular. También es unidireccional. Por último, el sistema con protocolo DALI, cuyas características se desarrollan más detalladamente en los sucesivos apartados.

3. Protocolo DALI

El sistema DALI no se trata de una interfaz complementaria a la tecnología de control analógico 1 – 10 V, sino que se prevé que sustituirá progresivamente a esta última. Ello se debe a sus indiscutibles ventajas, entre las que se encuentra principalmente la flexibilidad y sencillez de instalación en un amplio rango de aplicaciones.

1. ¿Qué es DALI?

DALI es el acrónimo de *digital addressable lighting interface*; el término *interface* se refiere al balasto. El protocolo DALI es un método de control de la iluminación que puede abarcar desde espacios individuales hasta edificios enteros. Define una interfaz estándar para balastos digitales que hace posible crear un sistema de iluminación descentralizado, flexible y eficaz en costes. Solo interacciona con componentes del sistema de iluminación, lo cual simplifica la planificación y la instalación. El objetivo del protocolo DALI reside en desarrollar un sistema de iluminación con componentes baratos que sea sencillo de manejar. A diferencia con el control 1- 10 V, permite el control individual de luminarias, hasta un máximo de 64 unidades (direcciones individuales), agrupables hasta en 16 conjuntos.

En 1990, los fabricantes de balastos europeos (Philips, Osram, Tridonic, Huco, Trilux, Vossloh-Schwabe) comenzaron a investigar sobre nuevos balastos que pudieran comunicarse individualmente con la unidad de control. Esta empresa estaba motivada por la búsqueda de sistemas de control más flexibles que el de 0 – 10 V. La IEC⁴ creó el estándar 60929 que, en el anexo E, establece los requerimientos para los nuevos balastos DALI.⁵ La importancia de esta norma reside en que establece unas obligaciones mínimas que permiten que los componentes sean intercambiables. El desarrollo comercial de productos DALI comenzó en 1998, sujetándose a dichos re-

⁴ Comisión electrotécnica internacional. (www.iec.ch, n.d.)

⁵ IEC standard 60929, annex E: Control Interface for Controllable Ballast (IEC, 2006)

querimientos para poder ser designados como balastos DALI. Los equipos complementarios, como las unidades de control, no están definidas por el protocolo DALI; simplemente necesitan ser capaces de comunicarse con los balastos DALI para contar con la etiqueta. Aunque los balastos estén fabricados por distintas compañías, es posible trabajar con ellos. Esto permite la competencia de precios en beneficio del usuario. (Meyer, 2007)

2. Características y ventajas

El protocolo DALI permite y facilita la regulación de la iluminación. Se puede establecer una precarga de forma individual o por grupos, lo cual conlleva ahorro de tiempo y flexibilidad para el usuario, adaptándose a las distintas situaciones que puedan darse en el espacio correspondiente. La regulación es logarítmica, permitiendo grandes incrementos en niveles de luz altos y pequeñas variaciones en los niveles más bajos. El resultado de esta regulación, según (Ribarich & Contenti, 2002), es lineal en la apariencia para el ojo humano. Se muestra la gráfica en la figura 6.

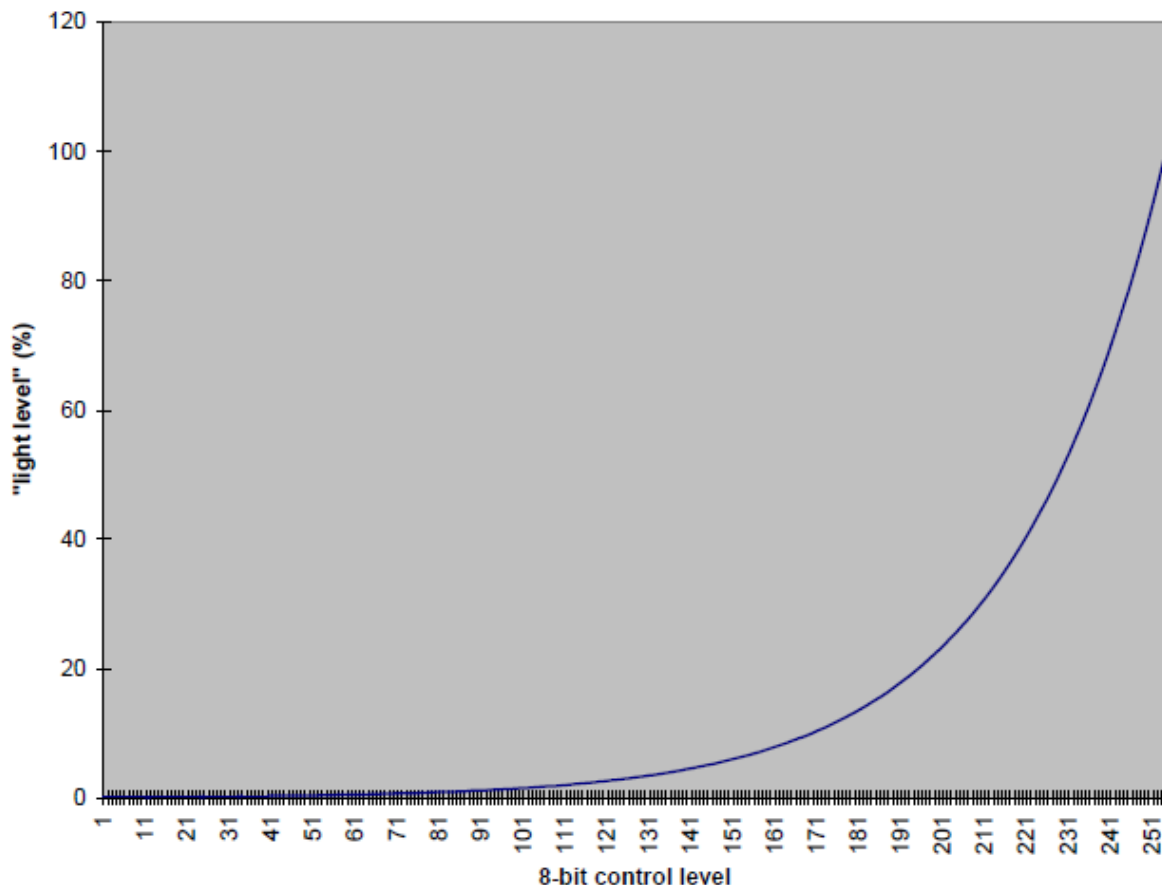


Fig 6. Curva logarítmica de regulación (Mikroe, 2000)

La diferencia principal con cualquier otro sistema de regulación es que el sistema de control DALI permite el direccionamiento individual, haciendo más flexible el ajuste a las necesidades e incrementando el confort gracias a la regulación logarítmica.

Otra ventaja importante es la referida al ahorro de energía. El control de la iluminación, según refiere (DiLouie, 2006), significa un importante ahorro al apagar automáticamente las luces al finalizar la jornada (5 – 10 %), desconectar la iluminación de ciertas zonas durante la carga los picos de demanda (5 – 15 %) y regular según horarios (2 – 10 %). Un sistema DALI tiene la capacidad de realizar estas funciones. Puede programarse el encendido y apagado de la iluminación, permite establecer escenas y ajustar niveles. A mayores, la posibilidad de iluminar complementando la luz natural puede suponer ahorros energéticos de entre el 30 y el 60 %.

Gracias al direccionamiento individual, el espacio puede ser iluminado de manera flexible, adaptándolo a las diversas circunstancias. También facilita las modificaciones que puedan ser necesarias al cambiar la distribución de una sala. Es posible desde controlar las luminosidades de los diferentes dispositivos de forma individual y en tiempo real (subir y bajar la intensidad con un botón) hasta programar intervalos horarios con diferentes luminosidades o temperaturas de color en diferentes grupos de luminarias.

El sistema de control DALI tiene bajos costes de mantenimiento, ya que el software desde el que se controla la instalación no sólo manda instrucciones, sino que también recibe información sobre el estado de los balastos. De esta manera, las averías son localizadas de manera inmediata. Otra serie de ventajas, y un resumen de las anteriores, se recogen a continuación:

- Cableado simple de las líneas de control (ni agrupación, ni polaridad).
- Posibilidad de control simultáneo de todas las unidades a través del direccionamiento de difusión.
- Robustez. Simplicidad de la estructura de datos, evitando la posibilidad de interferencias en la comunicación de datos.
- Mensajes de estado del dispositivo de control.
- Búsqueda automática de dispositivos de control.
- Simplicidad de formación de grupos de iluminación a través de lámparas intermitentes.
- Regulación automática y simultánea de todas las unidades al seleccionar una escena.
- Regulación con comportamiento logarítmico, igualando la sensibilidad ocular.
- Posibilidad de almacenar tolerancias de operación como valores por defecto, interesantes de cara al ahorro energético.
- Ajuste de la velocidad de regulación.
- Compatible para sistemas de iluminación de emergencia.
- No precisa encendido ni apagado externo para la alimentación principal; se realiza electrónicamente

- Coste menor y mayor número de funciones, en comparación con los sistemas 1 – 10 V.

3. Requerimientos

El equipamiento básico para desarrollar un sistema de control de iluminación DALI consta de un balasto DALI, una unidad de control DALI, una fuente de alimentación DALI y cables de baja tensión para conectar los dispositivos. Se va a emplear, como unidad de control DALI, una placa de desarrollo de microchip mediante una tarjeta de adaptación (DALI click). Ello permitirá, en futuras prácticas del departamento, ampliar la aplicación que ya se hace de las citadas placas. Dicho equipo actuará sobre una malla de leds RGB. En apartados posteriores se describe el hardware mencionado.

De cara al diseño de la iluminación de instalaciones, existen múltiples equipos adicionales, como detectores de presencia, foto-sensores, routers y unidades de control adicionales. Estos dispositivos permiten al sistema realizar funciones globales y de mayor alcance.

4. Funcionamiento

El cableado de un sistema DALI es realmente sencillo, como se observa en la figura 7. Queda limitado una distancia máxima entre dispositivos de 300 m (la limitación real corresponde a 2 V de caída de tensión). El direccionamiento de los balastos puede realizarse antes o después de la instalación del sistema; cada balasto debe tener una dirección única. La asignación de grupos y escenas (máximo 16) depende del fabricante. Una vez definidos los grupos, las escenas se almacenan en la unidad de control. Los balastos pueden almacenar información en su memoria (intensidad luminosa, fallos, estado de la alimentación, su dirección, tiempos, grupos a los que pertenece). Esto permite que la comunicación entre la unidad de control y el balasto sea bidireccional.

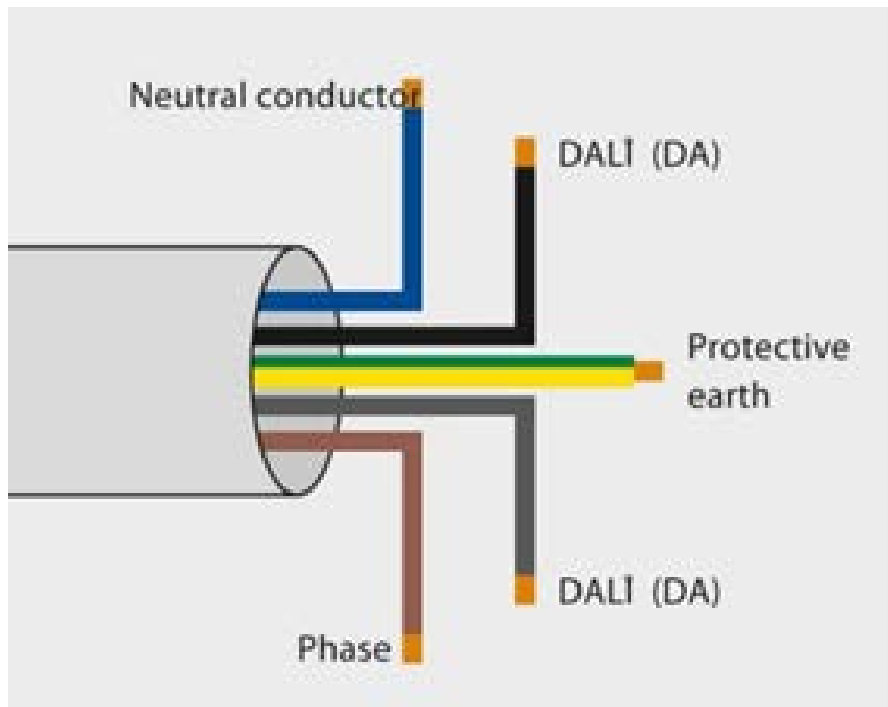


Fig 7. Cableado (Morato Arribas, 2015)

Al hablar sobre dirección, referido al sistema DALI, se trata de una serie de 8 bits de datos que es única para cada balasto. Esta dirección sirve para identificar cada balasto al enviar mensajes desde la unidad de control. (Zhang, Zhou, & Wu, 2006). La unidad de control es el cerebro del sistema; es responsable de indicar a los balastos su función y de solicitarles información. Los mensajes de transmisión de datos están compuestos por un bit de comienzo, los 8 bits de dirección, 8 bits de datos y 2 bits de parada. Si el mensaje es de respuesta, contiene el bit de comienzo, los 8 bits de datos y los 2 bits de parada. Esta comunicación se realiza con codificación Manchester, que se explica con detalle en apartados posteriores.

El sistema DALI trabaja con una velocidad de transferencia de datos de 1200 bits/s. La codificación Manchester, permite detectar errores de transmisión. El rango de tensión, como se muestra en la figura 8, debe estar entre 9,5 V y 22,5 V para alto nivel, y entre - 6,5 V y + 6,5 V para bajo nivel; Entre ambos niveles, queda indefinido. Las señales son reversibles. El cable de control es de 2 hilos. No hacen falta resistencias de terminación. El rango de regulación es 0.1 – 100 %. Los tiempos de regulación son programables. Permite el almacenamiento de escenas de iluminación. No hay requerimientos para los cables de conexión. Existen dos posibles conexiones entre actuadores, unidades de control y balastos: operaciones con una única unidad de control que actúa como máster y operaciones con varias unidades de control (multi-master), que exigen menos cableado. Cada balasto tiene su propia dirección.

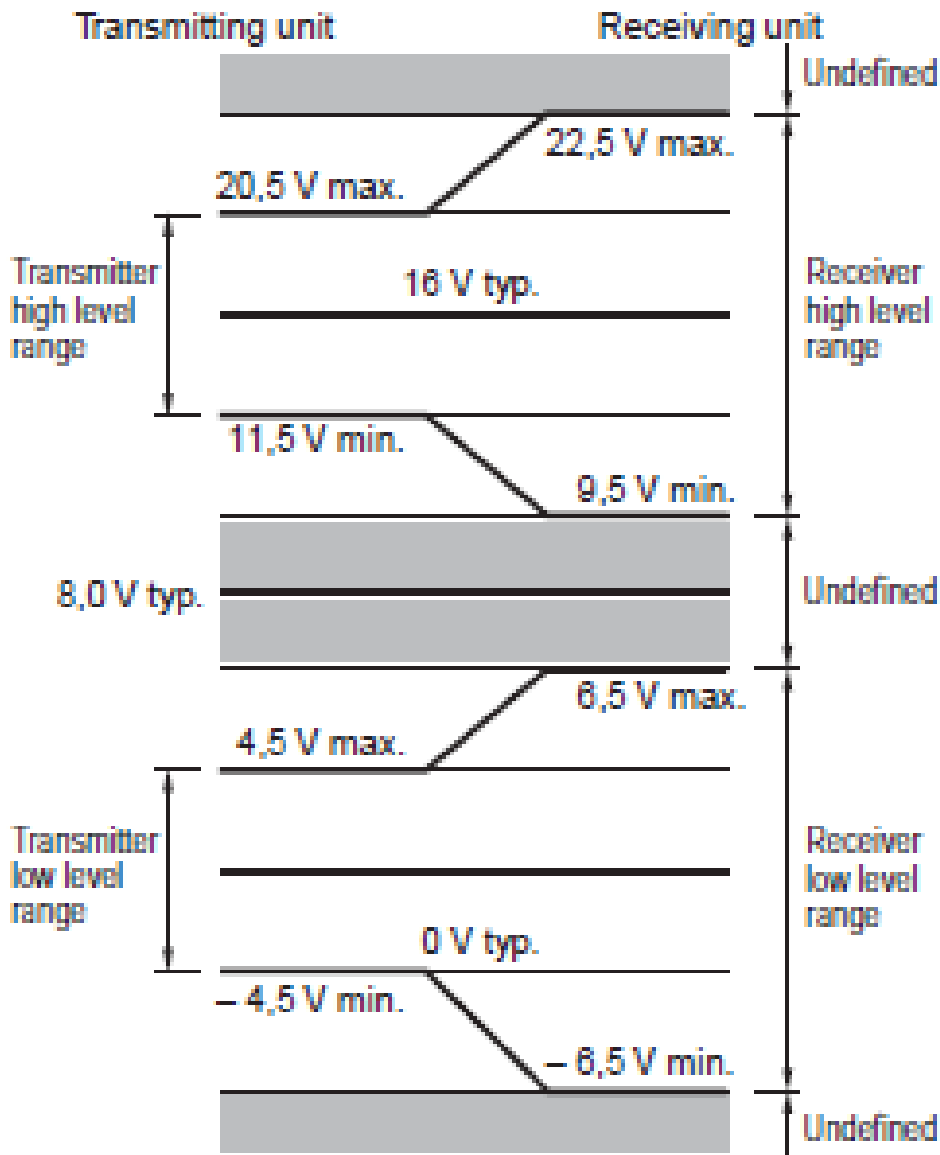


Fig 8. Valores de voltaje (Dali, 2001)

En el anexo 1 se incluyen los comandos específicos necesarios para la comunicación con el balasto mediante protocolo DALI, incluidos en el anexo E de la norma UNE-EN 60929 del año 2011, equivalente a la norma internacional IEC 60929, del mismo año.

Como se ha mencionado anteriormente, el protocolo DALI permite mejorar la eficiencia energética de la iluminación. Se incluyen en el anexo 2 los aspectos más relevantes de la normativa relativa a la eficiencia energética, abarcando tanto una visión panorámica de la normativa vigente como una breve reseña histórica del camino recorrido.

PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

Se planteó desarrollar el sistema en un entorno Linux mediante una raspberry pi. La ausencia de software para trabajar mediante el protocolo DALI supuso un redireccionamiento práctico hacia las tarjetas de microchip, que tienen la ventaja añadida de ser las que se emplean en las sesiones de laboratorio del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Valladolid. En concreto, se optó por la tarjeta de desarrollo EasyPIC Pro v7 que se muestra en la figura 9. Es una placa de desarrollo con funciones completas para microprocesadores PIC de 8 bits con alto número de pines. Contiene numerosos módulos que se pueden emplear en diversas aplicaciones (gráficos, Ethernet, USB y medición de temperatura, entre otros). Lo módulos empleados se describen a continuación. En el anexo 3 se incluye un esquema. (Mikroe, n.d.-c)

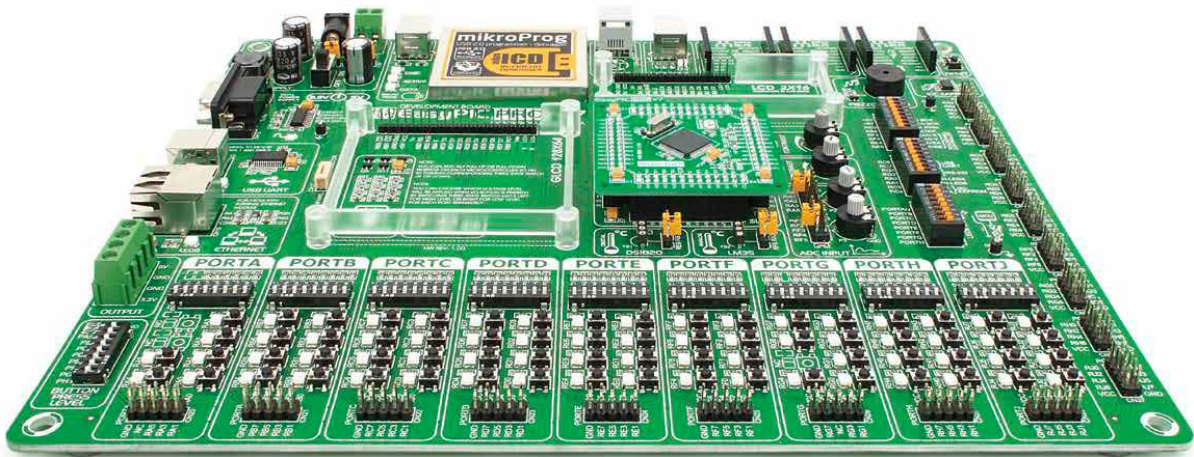


Fig 9. Tarjeta EasyPIC Pro v7 (Mikroe, n.d.-b)

1. Grupo entrada/salida

Uno de los elementos más característicos de esta tarjeta es el grupo de entrada/salida que se observa en la figura 10. Incrementa el potencial de la placa gracias a los interruptores tri-estado que permiten la conexión de la resistencia al estado de pull-up en la posición superior, al de pull-down en la posición inferior y la deshabilitación de ambas en la posición intermedia. Incluye headers, botones y LEDs en un espacio reducido y bien organizado. En el lateral de la placa de desarrollo se incluyen headers adicionales que también permiten acceder a los puertos. Son compatibles con multitud de accesorios y facilitan una conexión sencilla.

El estado lógico de las entradas se modifica a través de los botones en función del estado seleccionado a través del interruptor. Si se posiciona, por ejemplo, en la posición Vcc, al presionar se aplicará un 1 lógico. En los LEDs, la corriente varía entre los 0.2 mA y 20 mA, en función del tipo de LED y del fabricante. La tarjeta EasyPIC Pro v7 utiliza LEDs de baja corriente, con valores típicos entre 0.2 mA y 0.3 mA, dependiendo de la tensión seleccionada. La placa contiene 69 LEDs que se pueden em-

Control de luminarias LED

plear como indicadores visuales del estado lógico de un puerto. Si el LED está encendido representará un nivel alto de tensión (1). Para habilitarlos es necesario activar el correspondiente interruptor (SW 6). En el anexo 4 se incluye un esquema.

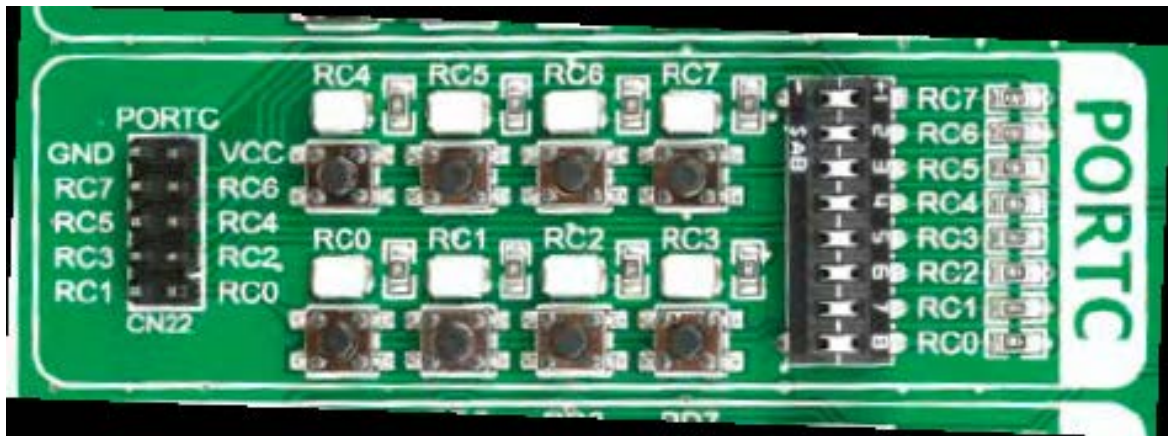


Fig 10. Grupo entrada/salida (Mikroe, n.d.-b)

2. Microcontrolador PIC18F87K22

La tarjeta MCU que viene con la EasyPIC Pro v7 se muestra en la figura 11. Tiene 80 pins. Contiene un PIC18F87K22 integrado que tiene, 128K bytes de memoria para líneas de programa, 3896 bytes de memoria para líneas de datos y un amplio rango de valores de tensión que va desde los 1.8V hasta los 5V. La tarjeta MCU prueba y construye el código final. Entre otras cosas, cuenta también con un oscilador de cristal de 16 MHz, que puede utilizarse directamente o con múltiplos y divisores para crear distintos valores de reloj, y líneas de comunicación USB. En el anexo 5 se incluye un esquema.

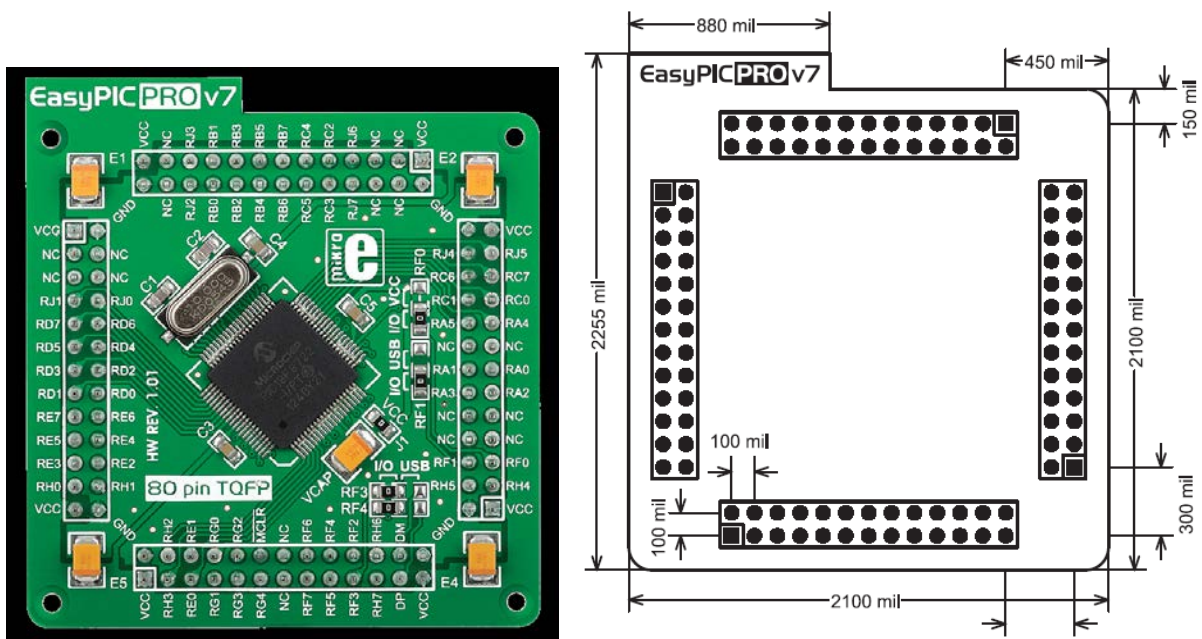


Fig 11. Tarjeta MCU; PIC78F87K22 (Mikroe, n.d.-d)

3. Programador y depurador mikroProg

El programador y depurador mikroProg™ integrado soporta más de 155 microcontroladores PIC. Se trata de un programador USB 2.0 que cuenta con indicadores LED para las específicas operaciones de programación (“link” cuando existe conexión con el PC, “active” cuando el programador está activo y “data” cuando se están transfiriendo datos).

4. Tarjeta DALI click

La necesidad de una conectividad sencilla con una configuración simple también se satisface con las líneas de pines de salida que eliminan la necesidad de hardware adicional. La tarjeta cuenta con 3 de estos conectores, cada uno de los cuales consiste en 8 headers hembra que se suelen emplear con tarjetas accesorias. Hay tres grupos de pines de comunicación: SPI, UART y I²C.

En el presente trabajo se ha empleado una tarjeta adicional, en concreto la DALI click que se muestra en la figura 12. No utiliza comunicación serie, ya que el protocolo DALI trabaja con codificación Manchester y es necesario generar el código asignando a registros, cuidando los intervalos de tiempo. En el anexo 6 se incluye un esquema.

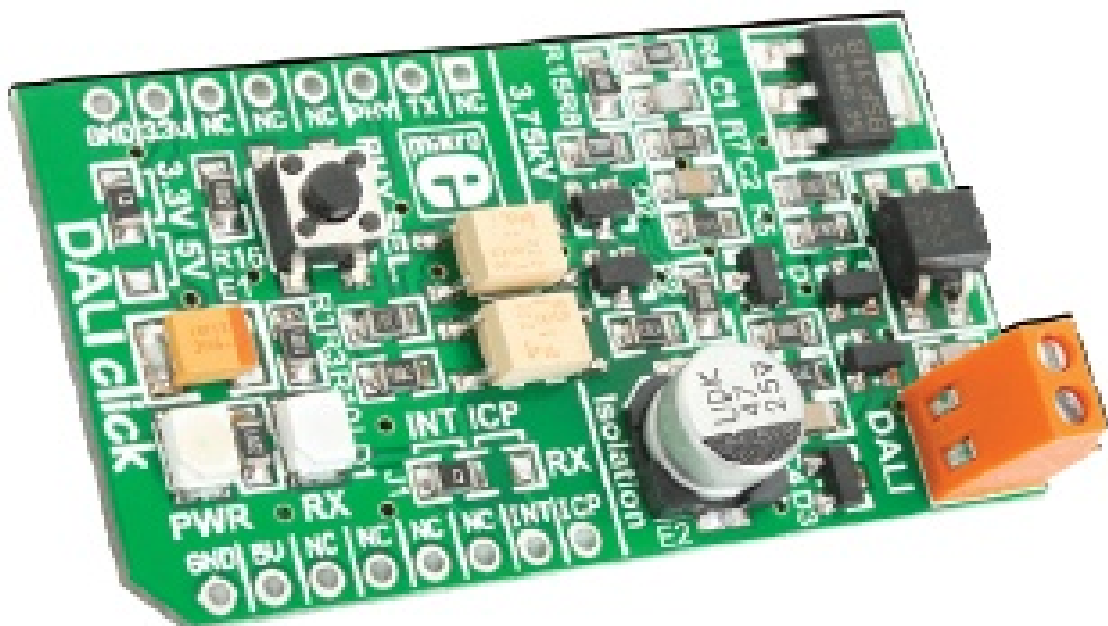


Fig 12. Tarjeta DALI click (Mikroe, n.d.-a)

5. Balasto y bus DALI

Además, para controlar la iluminación se adquirieron un balasto, un bus DALI, un transformador y tiras de LED RGB. Las conexiones del equipo siguen las que se muestran en la figura 13.

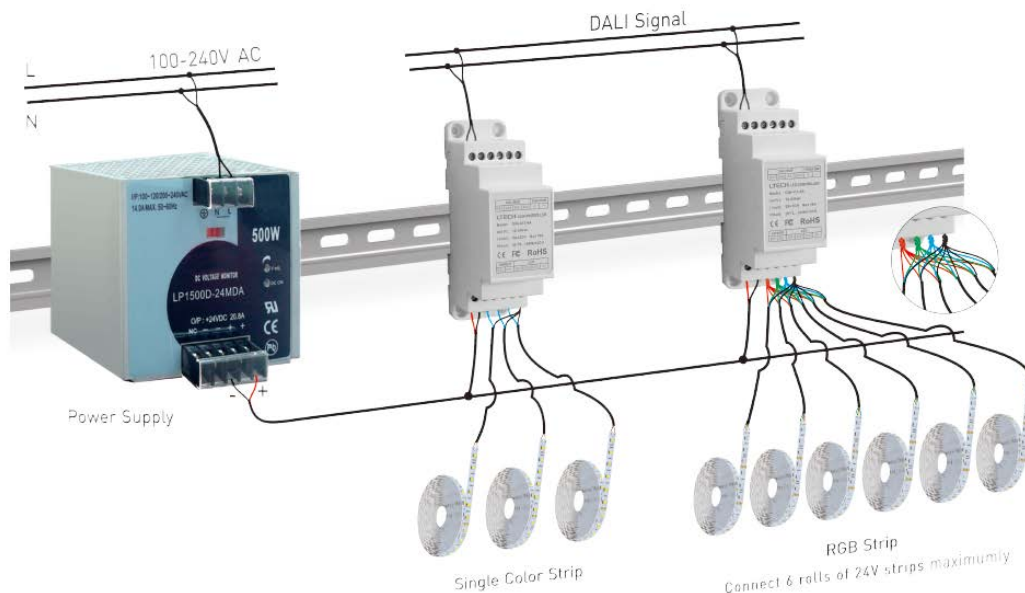


Fig 13. Esquema de las conexiones

El balasto está conectado a la tarjeta DALI click a través de 2 hilos, según el protocolo; también se llevan cables al bus. De él salen los cables que conectan con las tiras de LEDs; cada línea corresponde a un color y tiene su propia dirección. En el anexo 7 se muestra la hoja de características (LTECH, n.d.-b), que además de una imagen incluye un esquema con las entradas y salidas y las características principales de este elemento. Asimismo, en el anexo 8 se incluyen esquemas y características del bus (LTECH, n.d.-a), proporcionadas por el fabricante. En la figura 14 se incluye una imagen del montaje real.

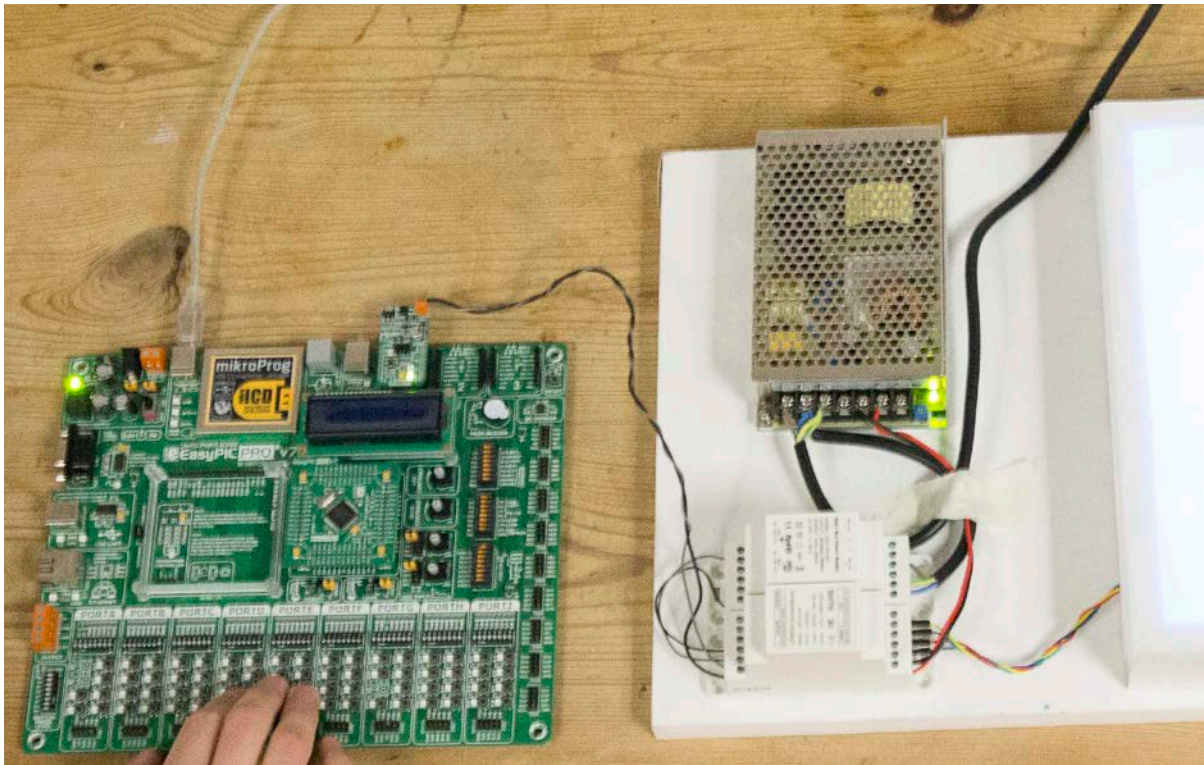


Fig 14. Imagen de las conexiones

DESARROLLO DEL SOFTWARE Y RESULTADOS

El código a implementar ha sido generado desde cero. La bibliografía disponible es muy escasa y ello se ha reflejado en que no ha sido posible alcanzar los ambiciosos objetivos que se habían planteado originalmente. Aun así, se ha desarrollado el software necesario para comprobar el funcionamiento adecuado del equipo de prácticas; también es cierto que, con las pruebas realizadas, las grandes ventajas del control mediante protocolo DALI se ponen de manifiesto, quedando más que incoda la tarea de una futura implantación en lugares de trabajo, espacios lúdicos, ambientes relajados, hogares, residencias para la tercera edad y otras múltiples aplicaciones que tiene el presente trabajo. Todo ello de una manera económica, sin necesidad de grandes inversiones, como se puede observar en el presupuesto empleado. Otra gran ventaja es que estos proyectos se pueden desarrollar en el ámbito universitario, como una aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en el aula, ya que la tarjeta de desarrollo empleada es la misma que se utiliza en las clases prácticas de algunas asignaturas y está disponible en el laboratorio del departamento.

1. Programación del sistema

El primer paso es crear el código para la comunicación Manchester. Esta codificación implementa un 1 como flanco de subida y un 0 como flanco descendiente. La figura 15 resulta explicativa al respecto. Todo ello va de la mano de unos intervalos temporales de transmisión y recepción. El ámbito de programación MikroC PRO for PIC cuenta con una librería para codificación Manchester, pero son precisamente los intervalos de tiempo los que impiden que sea empleada. Se ha tenido que trabajar asignando directamente a los registros los valores lógicos correspondientes marcando los tiempos de manera directa en el código.

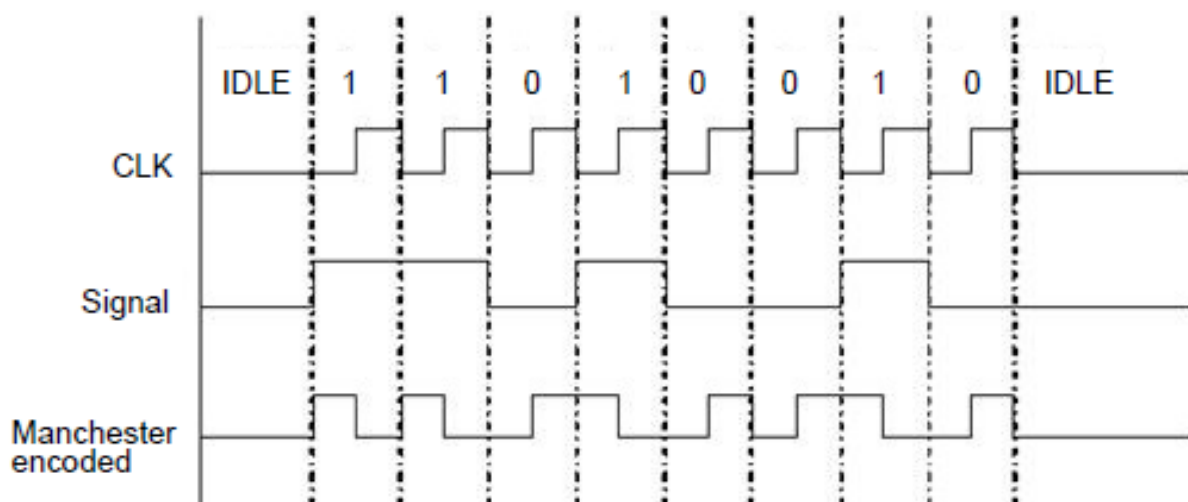


Fig 15. Codificación Manchester (Husain, 2012)

El tiempo anterior y posterior a cada flanco debe ser de $416 \mu\text{s}$, con un margen del 10 %. Ello se concluye de la velocidad de transmisión (1.200 baudios). Un dia-

grama de tiempos se muestra en la figura 16, donde T_e corresponde a los $416,67 \mu s$ de 'medio bit'.

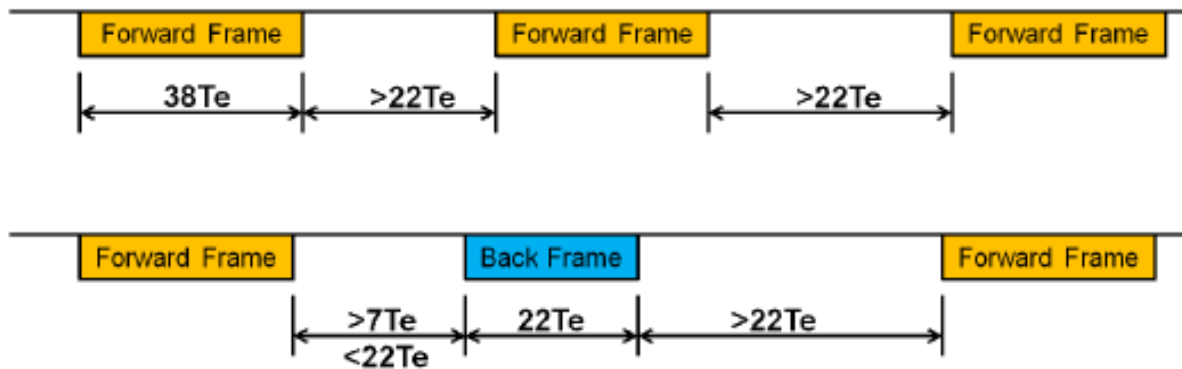


Fig 16. Tiempos de programación (Husain, 2012)

La transmisión DALI se realiza mediante el envío de 19 bits: 1 bit de comienzo, 1 byte de dirección, 1 byte de datos y 2 bits de parada. Los bits de parada, en lugar de flancos de subida, deben ser un nivel alto mantenido durante al menos $1.666 \mu s$. Posteriormente hay que permanecer un tiempo a la espera por si el sistema responde; en caso contrario se pueden producir solapamientos. La recepción de datos consiste en 11 bits, a saber: 1 bit de comienzo, 1 byte de datos y 2 bits de parada (con la misma peculiaridad que al transmitir). En la figura 17 se incluye un esquema de lo que se acaba de explicar.

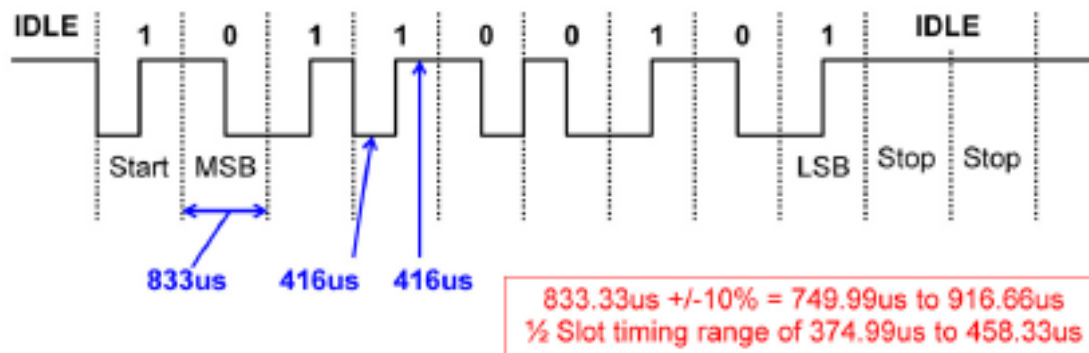


Fig 17. Transmisión DALI (Husain, 2012)

Simultáneamente, para comprobar que el sistema reaccionaba a las instrucciones que se le iban mandando con codificación Manchester, se programó un código de broadcast de manera que se simplemente se encendieran todas las luces. Es una manera de cerciorarse de que el hardware está bien implementado. Para la comunicación:

- Los puertos de entrada/salida deben estar puestos a la tensión V_{cc} mediante el correspondiente interruptor.
- El bit 1 del puerto B debe estar conectado a la resistencia de pull-down, ya que se utilizará como botón para iniciar la ejecución del código. Esto

se lleva a cabo empleando la función `Button`, de la librería, que permite detectar flancos en los puertos.

- La tarjeta LCD debe estar deshabilitada mediante los interruptores correspondientes, ya que trabaja con el puerto B y la recepción de los mensajes emitidos por el balasto llega por el bit 0 del puerto B, al estar la tarjeta DALI click conectada al mikro bus 1.
- Conectar la tarjeta DALI click al mikro bus 1; los mensajes se transmiten por el bit 0 del puerto C.

El siguiente paso consiste en inicializar el balasto. Para ello se mandan una serie de comandos, ajustando los tiempos, entre los cuales está la asignación aleatoria de direcciones. Estas direcciones son de 3 bytes e inicialmente desconocidas, por lo que —en un plazo de 15 minutos— hay que encontrarlas y asignarles una dirección corta con la que se trabajará en adelante. Esta dirección corta se conserva hasta que se vuelva a inicializar el balasto con los comandos mencionados, por lo que sólo es necesario asignarla una vez. Para encontrarlas, se utiliza una dirección de búsqueda y un comando de comparación; el balasto responde con un “YES” (0xFF) en caso de que la dirección de búsqueda sea menor o igual que la dirección generada aleatoriamente. Para detectar esta respuesta se han utilizado una interrupción (Microchip, 2011), en concreto la número 0 que está asociada al mismo pin por el que se reciben los mensajes del balasto (RB0). El diagrama de flujo que se muestra a continuación en las figuras 18 y 19 explica mejor este proceso. Las direcciones cortas que se asignaron a cada dirección —correspondiendo cada una a un color primario del modelo RGB— son: para el verde, la trama 000001; para el rojo, 000010; y para el azul, 000011.

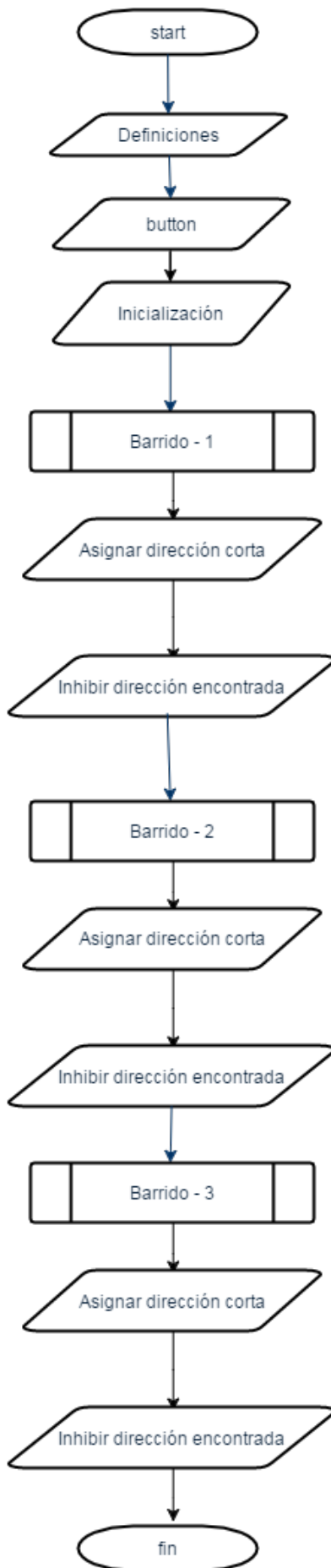


Fig 18. Diagrama de flujo de inicialización

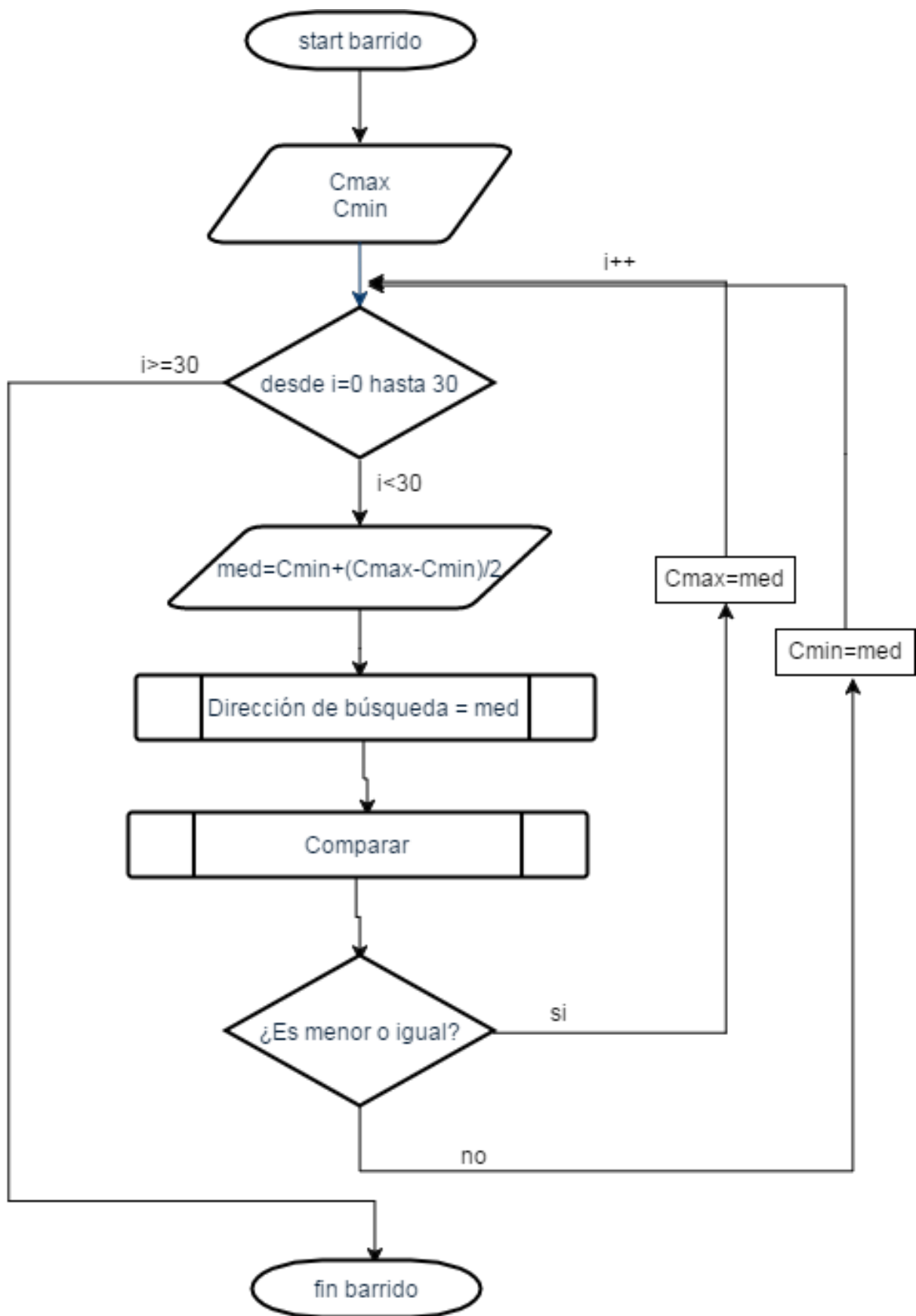


Fig 19. Diagrama de flujo del barrido de inicialización



Fig 20. Imagen de LED verde (000001) a máxima intensidad

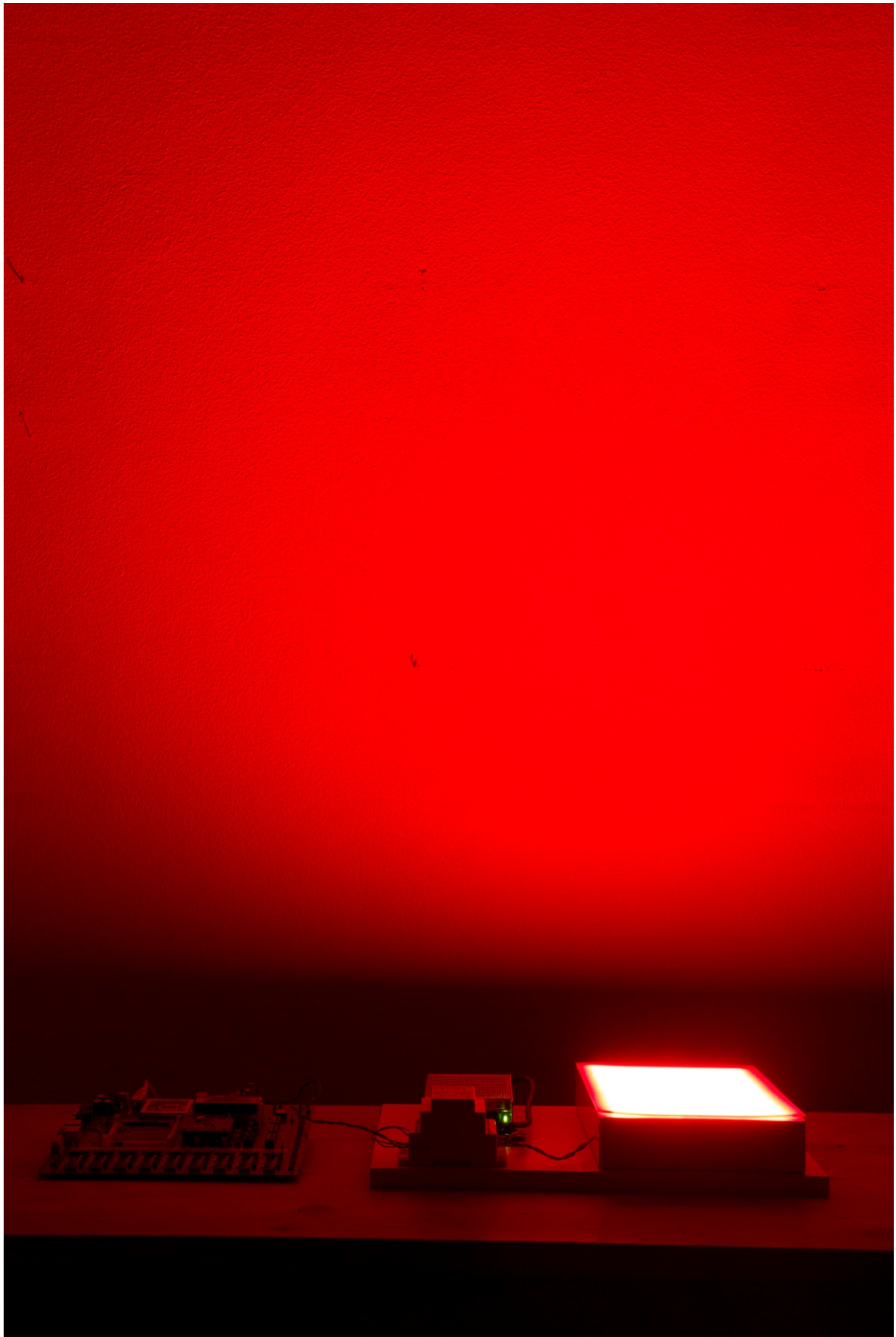


Fig 21. Imagen de LED rojo (000010) a máxima intensidad

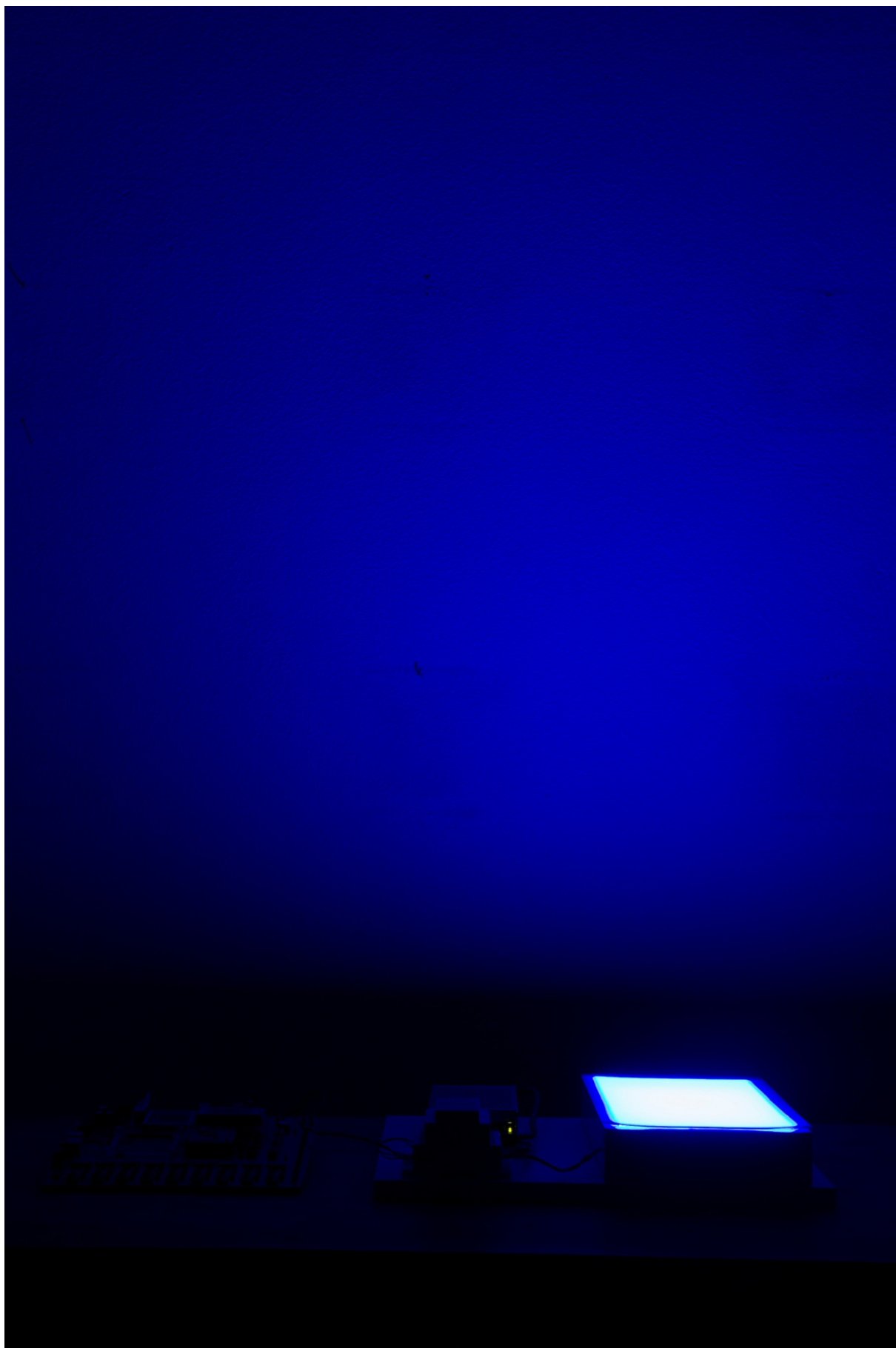


Fig 22. Imagen de LED azul (000011) a máxima intensidad

Una vez que se tienen listas las conexiones y el balasto se encuentra en condiciones de trabajar, se programa el código para aplicar la luminoterapia descrita al inicio del proyecto. Dadas las circunstancias del trabajo, en las que las fuentes que se han encontrado para trabajar han sido escasas, se ha desarrollado un programa que sirva para mostrar la capacidad del sistema. Consiste en seleccionar un modo de trabajo directo, en el que se van incrementando progresivamente intensidad y temperatura, o por escenas de iluminación, en las que se imita la luz natural en distintos momentos del día; por ejemplo, a mediodía, con una luz azulada e intensa, y al atardecer, con una luz más cálida y tenue. Ello se podría realizar también utilizando la pantalla táctil de la cual dispone la tarjeta EasyPIC Pro v7. Un posible esquema se representa en el diagrama de flujo de la figura 23. En el control por escenas, cada situación conllevaría una intensidad y una temperatura determinadas, de acuerdo con los requerimientos precisados. En la figura 24 se muestra otro diagrama más específico del código empleado. Se emplea la función de librería *button*, de manera que se puede seleccionar el control deseado a partir de los distintos botones del grupo entrada/salida de la tarjeta, cuya transición será detectada por esta función, dando paso al código específico que contenga. En cada subrutina se incluye una interrupción que anula las órdenes anteriores que haya recibido el balasto.

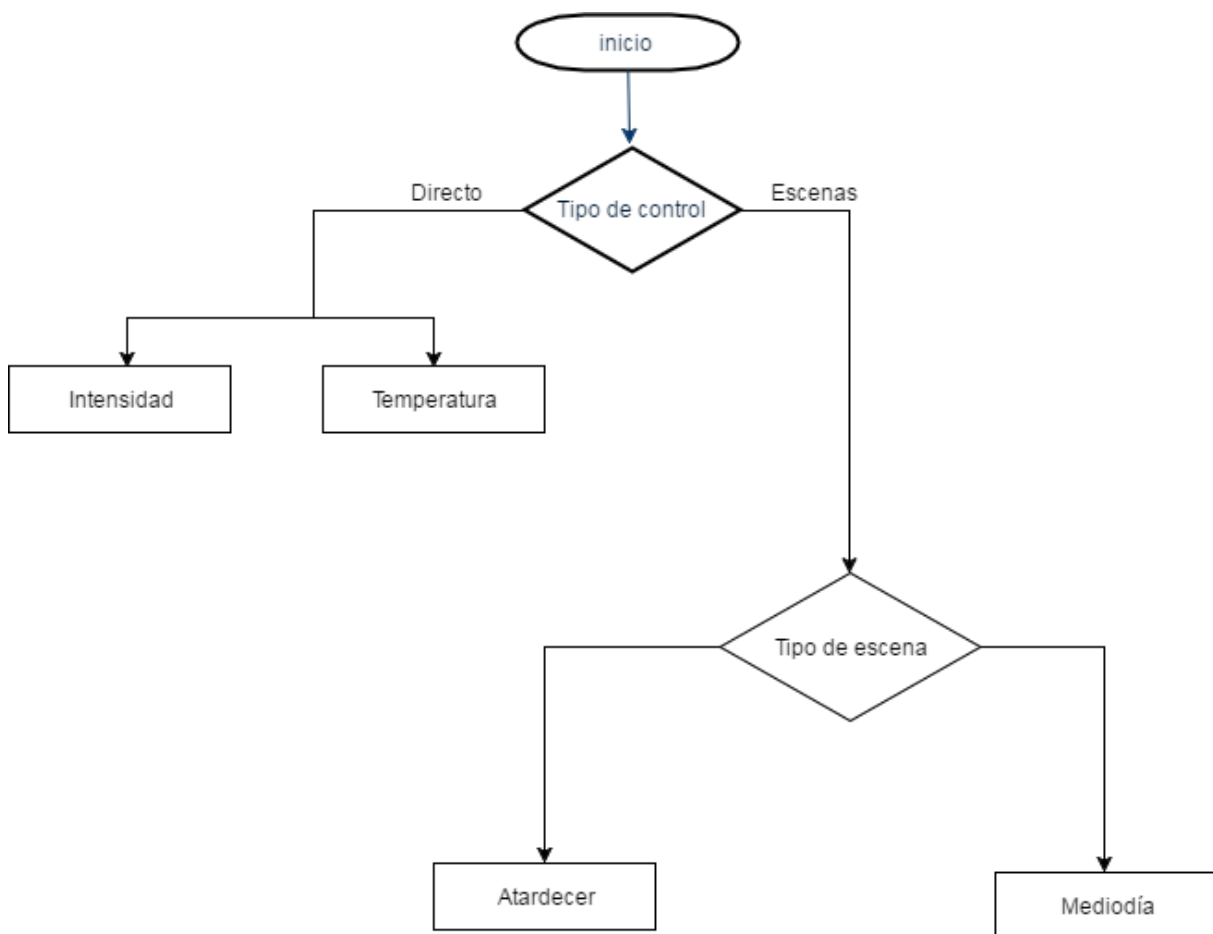


Fig 23. Diagrama de flujo de control de iluminación

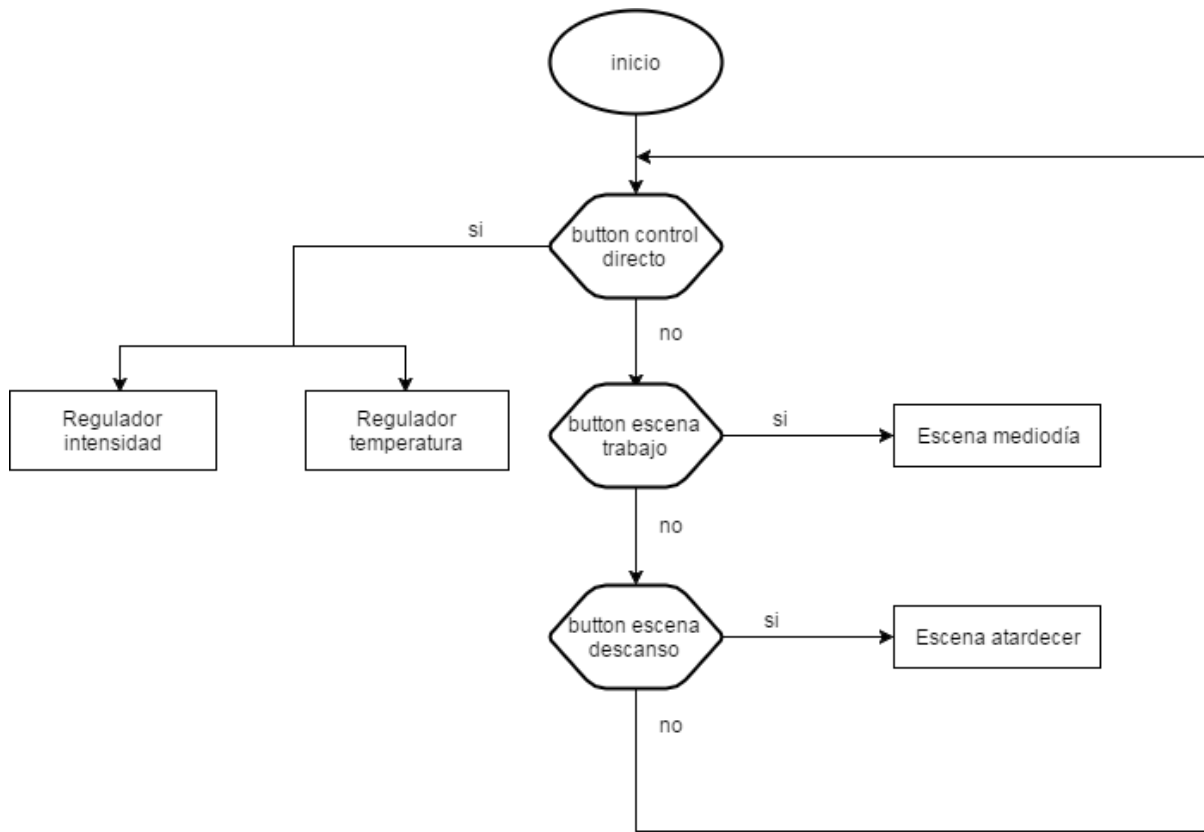


Fig 24. Diagrama de flujo de control

2. Resultados

Los resultados obtenidos en el presente proyecto son parciales. Ello se ha debido a la escasa documentación relacionada con el protocolo DALI para el desarrollo de código en general y en el ambiente de programación específico en que se ha trabajado, esto es, el lenguaje MikroC for PIC. No obstante se logró implementar el hardware necesario para la marcha del equipo y desarrollar programas básicos que han permitido comprobar el buen funcionamiento de este. Como se mostró en el apartado anterior, también se obtuvieron las direcciones del balasto, pudiendo de esta manera controlar el color de la luz emitida; sin ello sólo sería posible trabajar en modo *broadcast*. Posteriormente se realizaron una serie de pruebas con las que se pudieron obtener distintas escenas de iluminación. En la figura 25 se muestra un ejemplo de luz cálida y en la figura 26 otro de luz más azulada e intensa.

Con el trabajo realizado, se han podido observar las considerables ventajas de este protocolo en comparación con los ya existentes. También se ha obtenido un ámbito de realización de prácticas del Departamento de Tecnología Electrónica. Supone una nueva aplicación de la placa de desarrollo, que ya se empleaba para llevar a cabo otras actividades. Estos resultados aúpan la esperanza de realizar innovadores diseños en el futuro, programando, por ejemplo, un microcontrolador con el que se pueda interactuar desde una pantalla táctil, que signifique una herramienta de control de la iluminación sencilla y muy versátil.

El presente trabajo fin de máster supone sentar las bases de otros muchos posibles proyectos de fácil realización. Gracias al sistema implementado se podrá trabajar de manera económica con el protocolo DALI, tanto con fines didácticos como de investigación. De otra forma esto no sería posible, ya que el equipo a emplear representa una alta inversión económica.

Entre las líneas futuras destaca el desarrollo de una aplicación de control de la intensidad y la temperatura de la luz mediante protocolo DALI —como la realizada en este trabajo fin de máster— empleando la pantalla GLCD para monitorizar y controlar. A mayores, se plantea la posibilidad de implementar un instrumento más versátil que la tarjeta de desarrollo, que incorpore un microcontrolador y una pantalla táctil y permita el control del sistema de iluminación de manera inalámbrica.



Fig 25. Imagen de luz cálida



Fig 26. Imagen de luz azulada

CONCLUSIONES

Tras el estudio realizado sobre la luminoterapia y las experiencias desarrolladas con el protocolo DALI, se puede concluir:

- Que se ha logrado el objetivo concerniente al estudio sobre la luminoterapia, ahondando en los fundamentos físicos y las consecuencias positivas que tiene para la salud de las personas.
- Que se ha profundizado en la comprensión del protocolo DALI, en sus características y ventajas de eficiencia y regulación, y en la instalación del hardware y cableado necesarios, a nivel de prototipo.
- Que se ha alcanzado el objetivo de programar código a través de la tarjeta de desarrollo EasyPIC Pro v7, con el MCU PIC18F87K22, para establecer comunicación con un balasto mediante protocolo DALI, empleando la tarjeta DALI click.
- Que se ha desarrollado un entorno de prácticas con un potencial muy grande gracias a su pequeño coste económico, gran versatilidad y alto nivel de aplicación real en la industria. Asimismo, este entorno facilita la didáctica del control de la iluminación y posibilita la realización de posteriores proyectos de gran envergadura.

REFERENCIAS

- Adam, G. K., Kontaxis, P. A., Bouroussis, C. A., Ventzas, D. E., & Topalis, F. V. (2015). Embedded computer communication and control of DALI LED drivers.
- Dali. (2001). DALI manual.
- DiLouie, C. (2006). Emerging Trends in Building Lighting Control Systems. Retrieved from <http://ecmweb.com/content/emerging-trends-building-lighting-control-systems>
- Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética de los edificios. (n.d.).
- Directiva 2010/31/UE de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. (n.d.).
- Eléctrica, E. E. (2013). Control de los Equipos y Luminarias LED.
- Husain, S. (2012). AN1465.
- IEC. (2006). International Standard 60929.
- LTECH. (n.d.-a). DALI-PS-DIN.pdf.
- LTECH. (n.d.-b). DIN-413-6A LED Dimming Driver.
- Meyer, L. (2007). *An introduction to digital addressable lighting interface (DALI). Systems & study of a DALI daylighting application.*
- Microchip. (2011). *PIC18F87K22 Family Data Sheet.*
- Microchip. (2013). *Lighting Communications Development Platform.*
- Mikroe. (n.d.-a). DALI click manual.
- Mikroe. (n.d.-b). Manual EasyPIC PRO v7.
- Mikroe. (n.d.-c). Schematic EasyPIC Pro v7.
- Mikroe. (n.d.-d). Standard 80-pin TQFP card with PIC18F87K22 MCU.
- Mikroe. (2000). Explanatory notes. Annex E, IEC 60929, 1–28.
- Morato Arribas, S. (2015). *Mejora de la eficiencia energetica e implementacion de un control adaptativo del sistema de iluminacion de pasillos de consultas del HURH.*
- Osram. (2013). DALI PROFESSIONAL Controller.
- Phillips. (2002). Norma Europea sobre Iluminación para Interiores, 40–70.
- Razavi Hospital. (n.d.). *Razavi Hospital Lighting the way to better health and wellbeing.*
- RD 235/2013 de 5 de abril por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. (n.d.).
- RD 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el CTE. (n.d.).
- RD 47/2007 de 19 de enero mediante el que se aprobó un Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. (n.d.).

rftw. kommunikation. (n.d.). Impact of Light on Human Beings. *Licht.wissen*, 19, 56.

Ribarich, T., & Contenti, C. (2002). Analog and Digital Fluorescent Lighting Dimming Systems. *International Rectifier, Oct*, (Figure 1), 1–6. Retrieved from [https://initkms.ru/umk/etf/d/Analog_and_digital_fluorescent_lighting_dimming_systems_\(Ribarich_T.J.,_Contenti_C.\).pdf](https://initkms.ru/umk/etf/d/Analog_and_digital_fluorescent_lighting_dimming_systems_(Ribarich_T.J.,_Contenti_C.).pdf)

Simon. (n.d.). Retrieved from <http://www.simon.es/soluciones-y-aplicaciones/funciones/iluminacion>

Sust, C. A., Dehoff, P., Lang, D., & Lorenz, D. (2012). *Improved quality of life for resident dementia patients* @ : *St. Katharina research project in Vienna*

Texas Instruments. (2012). Digital Addressable Lighting Interface (DALI) Implementation Using MSP430 Value Line Microcontrollers, (October), 1–13.

Tridonic. (n.d.). Sistemas de gestión de la iluminación.

UNE-EN 12464-1. (2006), 0–2.

www.iec.ch. (n.d.). www.iec.ch.

Zhang, Y., Zhou, P., & Wu, M. (2006). Research on DALI and Development of Master-Slave module, *310027*, 1106–1110.

ANEXOS

1. Comandos DALI

Estructura de los comandos digitales

Todos los balastos deben ser capaces de tener una dirección corta, 16 direcciones de grupo y deben reaccionar a los comandos transmitidos.

Los balastos deben ser capaces de almacenar 16 escenarios, un ratio de desvanecimiento, un tiempo de desvanecimientos, así como indicadores de nivel para el MIN- (mínimo), MAX- (máximo), POWER-ON (testigo de encendido) y SYSTEM FAILURE (testigo de errores).

Deben ser capaces de devolver información cuando les sea requerida.

Tabla 1. Declaración de variables

VARIABLE	VALOR POR DEFECTO (de fábrica)	VALOR DE RE-SET	RANGO DE VALIDEZ	MEMORIA PERSISTENTE (tiempo infinito)
'nivel de dimensión actual'	???? ????	254	0, mín. - máx.,	---- (1 byte RAM)
*) 'NIVEL DE ENCENDIDO'	254	254	1 - 254,	1 byte
*) 'NIVEL DE ERROR DEL SISTEMA'	254	254	0 - 255 (‘MÁSCARA’)	1 byte
'NIVEL MÍNIMO'	'MÍNIMO NIVEL FÍSICO'	'mínimo nivel físico'	mínimo físico - nivel máximo	1 byte
'NIVEL MÁXIMO'	254	254	MIN LEVEL - 254	1 byte
'RATIO DE DESVANECIMIENTO'	7 (45 pasos/seg.)	7 (45 pasos/seg.)	1 - 15	1 byte
'TIEMPO DE DESVANECIMIENTO'	0 (sin desvanecimiento)	0 (sin desvanecimiento)	0 - 15	1 byte
'DIRECCIÓN CORTA'	255 ('máscara') sin dirección	sin cambios	0 - 63, 255 (‘máscara’),	1 byte
'BÚSQUEDA DE DIRECCIÓN'	FF FF FF	FF FF FF	00 00 00 - FF FF FF	---- (3 bytes RAM)
'DIRECCIÓN ALEATORIA'	FF FF FF	FF FF FF	00 00 00 - FF FF FF	3 bytes
'GRUPO 0-7'	0000 0000 (sin grupo)	0000 0000 (sin grupo)	0 - 255	1 byte
'Grupo 8-15'	0000 0000 (sin grupo)	0000 0000 (sin grupo)	0 - 255	1 byte

*) 'ESCENAS 0-15'	255 ('máscara')	255 ('máscara')	0 - 255 ('máscara')	16 bytes
'INFORMACIÓN DE ESTADO'	???? ????	0?100???	0 -- 255	---- (1 byte RAM)
'NÚMERO DE VERSIÓN' (Ver principio de este documento)	burn-in de fábrica	burn-in de fábrica	0 - 255	---- (1 byte ROM)
'PHYSICAL MIN. LEVEL'	factory burn-in	factory burn-in	1 - 254	---- (1 byte ROM)

? = *sin definir*

*) La potencia actual debe ser restringida por el nivel mínimo y máximo

Cada balasto estándar debe ser capaz de reaccionar a una dirección corta, 16 acciones de grupo y emitir. Deben utilizarse las direcciones siguientes:

Tipo de direcciones:	byte de la dirección:
Dirección corta o de grupo	YAAAAAAS
64 Direcciones cortas 0 - 63	0AAAAAAS
16 direcciones de grupo	0 - 15 100AAAAS
emisión	111111S

comandos especiales:	address byte:
parte de los comandos de dirección	101CCCC1
y	110CCCC1 (ver E3.3.3.4)

A: bit de dirección significativo

S: bit selector: S = '0' el nivel de potencia de arco S = '1' comando siguiente

C: bit de 'COMANDO DE DIRECCIÓN' significativo

Y: dirección/emisión corta o de grupo: Y = '0' dirección corta Y = '1': dirección de grupo o emisión

El octavo bit del primer byte debe ser usado como bit selector. Describe si el control del nivel de potencia de arco o el comando continúa en el segundo byte.

La extensión de futura del espacio de la dirección debe evitar los tres primeros bits significativos, 101 y 110. Estas combinaciones se utilizan para comandos especiales (ver E3.3.3.4).

Cuando el balasto es asociado a un sistema, aún tiene una dirección corta o reacciona solo a los comandos emitidos. La dirección corta es otorgada, bien por las

condiciones del hardware o bien utilizando los comandos definidos. Las direcciones de grupo deben ser programadas utilizando los comandos definidos.

Ajuste de los comandos

En los comandos siguientes 'X' susituye a '0' ó '1'. Los comentarios al respecto están escritos en cursiva>.

Cada nuevo comando debe ser procesado inmediatamente después de su recepción, excepto que se establezca lo contrario.

Comandos para control de la potencia

Comando para el control de la potencia directa: YAAA AAA0 XXXX XXXX

Ajustando el nivel de potencia de arco directamente con el tiempo de desvanecimiento actual, de acuerdo con la fórmula:

$$P_{XXXX XXXX} = 10^{\left(\frac{XXXX XXXX - 1}{253/3}\right)} * \frac{P_{100\%}}{1000}$$

El comando de control, más allá del 'NIVEL MÁXIMO' y 'NIVEL MÍNIMO' debe ser el resultado de ajustar la potencia a los respectivos niveles MAX y MIN. Si el testigo luminoso está apagado, debería encenderse con este comando.

Hay dos comandos de control directo con un significado especial:

- 0000 0000 el balasto se atenúa hasta el 'NIVEL MÍNIMO' , con el tiempo de desvanecimiento actual, y se apaga por completo.
- 1111 1111 significa 'MASK' o 'NO CAMBIE'; este valor deberá se ignorado más adelante, y entonces no será almacenado en una memoria.

Comandos de control indirecto de la potencia

Comando 0: YAAA AAA1 0000 0000 'APAGADO'

La lámpara se apaga inmediatamente, sin desvanecimiento

Comando 1: YAAA AAA1 0000 0001 'SUBIR'

Se enciende progresivamente 200 ms, utilizando el RATIO DE FUNDIDO seleccionado.

Sin cambios si la salida de potencia se encuentra en el 'NIVEL MÁXIMO'

Si este comando se recibe de nuevo mientras está siendo ejecutado, el comando se reiniciará (desde el principio).

Este comando sólo afectará a los balastos que tengan lámparas encendidas. Ninguna lámpara se encenderá con él.

Comando 2: YAAA AAA1 0000 0010 'BAJAR'

Se desvanece durante 200 ms utilizando el 'TIEMPO DE DESVANECIMIENTO' seleccionado.

No hay cambios si el nivel de potencia se encuentra en el 'NIVEL MÍNIMO'

Si este comando se recibe de nuevo mientras está siendo ejecutado, se reiniciará (desde el principio).

La lámpara no deberá apagarse utilizando este comando.

Comando 3: YAAA AAA1 0000 0011 'STEP UP'

Ajusta el nivel de potencia actual al paso inmediatamente superior, sin fundido.

No cambia si el nivel de potencia ya se encuentra en el 'NIVEL MÁXIMO'.

Este comando afectará únicamente a los balastos que tengan lámparas encendidas. Las lámparas no deberán encenderse con este comando.

Comando 4: YAAA AAA1 0000 0100 'STEP DOWN'

Ajusta el nivel de potencia actual al paso inmediatamente superior, sin fundido.

Las lámparas no deberán ser apagadas utilizando este comando.

No produce cambios si el nivel de potencia de salida ya se encuentra en el 'NIVEL MÍNIMO'.

Comando 5: YAAA AAA1 0000 0101 'VOLVER AL NIVEL MÁXIMO'

Ajusta la potencia actual al 'NIVEL MÁXIMO' sin desvanecimiento/fundido. Si la lámpara se encuentra apagada, deberá encenderse con este comando.

Comando 6: YAAA AAA1 0000 0110 'VOLVER AL NIVEL MÍNIMO'

Ajusta la potencia actual al 'NIVEL MÍNIMO' sin desvanecimiento. Si la lámpara está apagada, deberá encenderse con este comando.

Comando 7: YAAA AAA1 0000 0111 'BAJAR Y APAGAR'

Ajusta el nivel de potencia al nivel inmediatamente superior, sin fundido.

Si el nivel de potencia ya se encuentra en el 'NIVEL MÍNIMO' la lámpara deberá apagarse con este comando.

Comando 8: YAAA AAA1 0000 1000 'ENCENDER Y SUBIR'

Ajusta el nivel de potencia al nivel inmediatamente superior, sin fundido.

Si la lámpara se encuentra apagada, deberá encenderse con este comando, y deberá ser ajustada al 'NIVEL MÍNIMO'

Comandos 9 - 15: YAAA AAA1 0000 1XXX

Reservados para futuras necesidades.

Comandos 16 - 31: YAAA AAA1 0001 XXXX 'IR A LA ESCENA'

Ajusta el nivel de potencia al valor almacenado para la escena XXXX, utilizando el tiempo de fundido actual.

Si el balasto no pertenece a la escena XXXX, el nivel de potencia permanece inalterado.

Si la lámpara está apagada, deberá encenderse con este comando.

Comandos de configuración:

Los comandos de configuración (32-128) deberán ser recibidos una segunda vez en los siguientes 100 ms, antes de que sean ejecutados, para poder incrementar la probabilidad de una recepción apropiada. Ningún otro comando será direccionado al mismo balasto entre estos dos comandos, si no que estos comandos deben ignorarse y la secuencia de configuración respectiva debe ser abortada.

Los valores del DTR deben contrastarse con los valores mencionados en E3.3.1, RANGO DE VALIDACIÓN. Por ejemplo, el valor se ajustará al límite superior/inferior, si se encuentra por encima/por debajo del rango definido en E3.3.1.

Comandos de configuración general:

Comando 32: YAAA AAA1 0010 0000 'RESET'

Tras la segunda recepción del comando, las variables en la memoria persistente (ver tabla E3.3.1) deberán cambiar a sus valores de re-ajuste (reset). No está garantizado que los comandos son recibidos adecuadamente en los 300 ms posteriores.

Comando 33: YAAA AAA1 0010 0001 'ALMACENAR NIVEL ACTUAL EN EL DTR'

Almacena el nivel de potencia actual en el DTR, sin alterar la intensidad actual de la luz.

Comandos 34 - 41: YAAA AAA1 0010 XXXX

Reservados para necesidades futuras.

Ajuste de los parámetros de la potencia

Comando 42: YAAA AAA1 0010 1010 'ALMACENAR EL DTR COMO NIVEL MÁXIMO'

Almacena el valor en el 'Registro de transferencia de datos' como un nuevo 'NIVEL MÁXIMO'

Comando 43: YAAA AAA1 0010 1011 'ALMACENAR EL DTR COMO NIVEL MÍNIMO'

Almacena el valor en el 'Registro de transferencia de datos' como un nuevo 'NIVEL MÍNIMO'. Si el valor se encuentra por debajo del 'NIVEL FÍSICO MÍNIMO' del balasto, se almacena el 'NIVEL FÍSICO MÍNIMO' como 'NIVEL MÍNIMO'.

Comando 44: YAAA AAA1 0010 1100 'ALMACENAR EL DTR COMO NIVEL DE ERROR DEL SISTEMA'

Almacena el valor en el 'Registro de transferencia de datos' como nuevo 'NIVEL DE ERROR DEL SISTEMA'.

Comando 45: YAAA AAA1 0010 1101 'ALMACENA EL DTR COMO NIVEL DE ENCENDIDO'

Almacena el valor en el 'Registro de Transferencia de Datos' como 'NIVEL DE ENCENDIDO'.

Comando 46: YAAA AAA1 0010 1110 'ALMACENA EL DTR COMO TIEMPO DE FUNDIDO'

Ajusta el 'TIEMPO DE FUNDIDO' a un valor de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{1}{2} \sqrt{2^{XXXX}} \text{ sec} \quad \text{con } XXXX = 1 - 15,$$

los cuatro últimos bits significativos del registro del DTR: 0000 XXXX

(tolerancia: $\pm \frac{1}{2}$ paso; monótono). Ver apéndice: 'tiempo de fundido' y 'ratio de fundido'.

XXXX = 0 significa que no hay fundido (<0.7 seg.).

El tiempo de fundido especifica el tiempo que se utilizará para cambiar el nivel actual de potencia al nivel requerido. En caso de que la lámpara esté apagada, el tiempo de precalentado e ignición no está incluido en el tiempo de fundido.

El nuevo tiempo de fundido debe ser válido tras la recepción del siguiente comando de potencia. Si se recibe un nuevo tiempo de fundido mientras se está ejecutando un proceso de fundido, este proceso deberá ejecutarse hasta el final, antes de que sea utilizado un nuevo valor.

Comando 47 YAAA AAA1 0010 1111 'ALMACENAR EL DTR COMO RATIO DE FUNDIDO'

Ajusta el 'RATIO DE FUNDIDO' a un valor acorde a la siguiente fórmula:

$$F = \frac{506}{\sqrt{2^{XXXX}}} \text{ steps / sec} \quad \text{con } XXXX = 1 - 15, \text{ los cuatro últimos bits significativos del registro del DTR: } 0000 \text{ XXXX}$$

(tolerancia: $\pm \frac{1}{2}$ paso; monótono). Ver apéndice: 'tiempo de fundido' y 'ratio de fundido'.

El ratio de fundido especifica el ratio en pasos/seg. para cambiar el nivel de potencia.

El nuevo ratio de fundido debe ser válido tras la recepción del siguiente comando de potencia. Si se recibe un nuevo ratio de fundido durante un proceso de fundido, este debe terminar hasta que pueda utilizarse el nuevo valor.

Comando 48 - 63: YAAA AAA1 0011 XXXX

Reservado para necesidades futuras.

Comandos 64-79: YAAA AAA1 0100 XXXX 'ALMACENAR DTR COMO ESCENA'

Almacena el valor en el 'Registro de Transferencia de Datos' como un nuevo nivel de la escena XXXX.

Ajuste de los parámetros del sistema

Comandos 80- 95: YAAA AAA1 0101 XXXX 'ELIMINAR DE LA ESCENA'

Eliminar el balasto de la escena XXXX.

Eliminar el balasto de la escena XXXX significa almacenar 1111 1111 ('MÁSCARA' or 'NO CAMBIAR') en el registro de la escena XXXX.

Comandos 96 - 111: YAAA AAA1 0110 XXXX 'AÑADIR A GRUPO'

Añade el balasto al grupo XXXX.

Comandos 112 - 127: YAAA AAA1 0111 XXXX 'ELIMINAR DE GRUPO'

Elimina el balasto del grupo XXXX.

Eliminar el balasto del grupo XXXX significa almacenar el valor '0' en el registro de grupo.

Comando 128: YAAA AAA1 1000 0000 'ALMACENAR DTR COMO DIRECCIÓN CORTA'

Almacena el valor en el DTR como nueva dirección corta.

La estructura del DTR debe ser: XXXX XXXX = 0AAA AAA1 ó 1111 1111 ('MÁSCARA'). MÁSCARA deberá eliminar la dirección corta.

Comandos 129 - 143: YAAA AAA1 1000 XXXX

Reservados para necesidades futuras.

Comandos de consulta

Los comandos de consulta deberán asignarse a cada balasto individualmente. Si se asignan a grupos o bien a emisión, las respuestas deben disponerse de manera que todos los balastos asignados respondan.

Los comandos de consulta deben ajustarse de modo que puedan responder con 'sí', 'no' o una información en 8 bits. Las respuestas deben ser codificadas en bi-fase, excepto para la respuesta 'no':

- 'Sí': 1111 1111
- 'No' : El balasto no reaccionará
- Información en 8-bits: XXXX XXXX

Consultas relacionadas con la información de estado

Si los parámetros listados en E3.3.3 tienen sus valores de reset, los balastos deberán estar en 'ESTADO DE RESET':

Comando 144: YAAA AAA1 1001 0000 'ESTADO DE CONSULTA'

La respuesta son los siguientes bytes de 'INFORMACIÓN DE ESTADO':

bit 0 Estado del balasto; '0' = OK

bit 1 Fallo de lámpara; '0' = OK

- bit 2 Lámpara encendida; '0' = OFF
- bit 3 Consulta: Límite de error; '0' = La última potencia requerida se encuentra entre el NIVEL MÍNIMO, el NIVEL MÁXIMO o APAGADO.
- bit 4 Fundido preparado; '0' = el fundido está listo; '1' = el fundido se está ejecutando.
- bit 5 Consulta: 'RESETEAR ESTADO'? '0' = 'No'
- bit 6 Consulta: ¿Se ha perdido la dirección abreviada? '0' = 'No'
- bit 7 Consulta: 'FALLO DE ENCENDIDO'? '0' = 'No'; 'RESET' o el comando de control de potencia ha sido recibido tras el último encendido.

La 'INFORMACIÓN DE ESTADO' debe estar disponible en la memoria RAM del balasto y deberá ser actualizada regularmente por el balasto, de acuerdo con la situación en curso.

Comando 145:YAAA AAA1 1001 0001 'CONSULTAR BALASTO'

Pregunta si hay un balasto con la dirección indicada que esté listo para comunicarse. La respuesta debe ser 'sí' o 'no'.

Comando 146:YAAA AAA1 1001 0010 'BUSCAR FALLO DE LÁMPARA'

Pregunta si existe un problema con la lámpara en la dirección indicada. La respuesta debe ser 'sí' o 'no'.

Comando 147:YAAA AAA1 1001 0011 'BUSCAR LÁMPARA ENCENDIDA'

Pregunta si hay una lámpara encendida en la dirección indicada. La respuesta debe ser 'sí' o 'no'.

Comando 148:YAAA AAA1 1001 0100 'BUSCAR ERROR DE LÍMITE'

Pregunta si no se puede averiguar el nivel de potencia solicitado, en la dirección correspondiente, porque se encuentre por encima del NIVEL MÁXIMO, o bien por debajo del NIVEL MÍNIMO. La respuesta debe ser 'sí' o 'no'.

Comando 149:YAAA AAA1 1001 0101 'RESTAURAR ESTADO DE CONSULTA'

Pregunta el balasto está en estado de RESET. La respuesta debe ser 'sí' o 'no'.

Comando 150:YAAA AAA1 1001 0110 'CONSULTAR DIRECCIÓN ABREVIADA PERDIDA'

Pregunta si el balasto no poses dirección abreviada. La respuesta debe ser 'sí' o 'no'.

La respuesta será 'sí', si el balasto no tiene dirección abreviada.

Comando 151:YAAA AAA1 1001 0111 'CONSULTAR NÚMERO DE VERSIÓN'

Pregunta por el número de versión del según el estándar IEC del software y el hardware del balasto. El 'NÚMERO DE VERSIÓN' deberá almacenarse en una ROM. La respuesta debe ser el 'NÚMERO DE VERSIÓN' como un número de 8 bits. Los primeros 4 bits representan la versión más alta; los siguientes 4 bits, la más baja. Como, por ejemplo, versión 3.5.

El 'NÚMERO DE VERSIÓN' actual es 0000 0000.

Comando 152:YAAA AAA1 1001 1000 'CONSULTAR CONTENIDO DEL DTR'

La respuesta deberá ser el contenido del DTR como un número de 8 bits.

Comando 153:YAAA AAA1 1001 1001 'CONSULTAR TIPO DE DISPOSITIVO'

La respuesta debe ser un número de 8 bits (x=0, hasta 255). El tipo de dispositivo estándar devolverá 0 como respuesta (este tipo de dispositivo no reaccionará con los comandos extendidos de aplicación 224 hasta 255).

Para conocer la lista de tipos de dispositivo, ver comando 272.

Comando 154:YAAA AAA1 1001 1010 'consultar nivel físico mínimo'

La respuesta debe ser el 'NIVEL FÍSICO MÍNIMO' como un número de 8 bits. El NIVEL FÍSICO MÍNIMO se almacenará en una ROM.

Comando 155:YAAA AAA1 1001 1011 'CONSULTAR FALLO DE POTENCIA'

La respuesta deberá ser 'sí', si el balasto no ha recibido un RESET, o bien uno de los comandos de control de potencia, desde el último encendido: 'CONTROL DE POTENCIA DIRECTA'; 'APAGADO'; 'RESTAURAR NIVEL MÁXIMO'; 'RESTAURAR NIVEL MÍNIMO'; 'DESCENDER Y APAGAR'; 'ENCENDER Y ASCENDER'; 'IR A LA ESCENA'.

Comando 156 – 159: YAAA AAAA 1001 11XX

Reservado para necesidades futuras.

Consultas relacionadas con el ajuste de los parámetros de potencia

Comando 160: YAAA AAA1 1010 0000 'CONSULTAR NIVEL ACTUAL'

La respuesta debe ser este nivel, como un número de 8 bits.

Comando 161: YAAA AAA1 1010 0001 'CONSULTAR NIVEL MÁXIMO'

La respuesta debe ser este nivel, como un número de 8 bits.

Comando 162: YAAA AAA1 1010 0010 'CONSULTAR NIVEL MÍNIMO'

La respuesta debe ser este nivel, como un número de 8 bits.

Comando 163: YAAA AAA1 1010 0011 'CONSULTAR NIVEL DE ENCENDIDO'

La respuesta debe ser este nivel, como un número de 8 bits.

Comando 164: YAAA AAA1 1010 0100 'CONSULTAR NIVEL DE ERROR DEL SISTEMA'

La respuesta debe ser este nivel, como un número de 8 bits.

Comando 165: YAAA AAA1 1010 0101 'CONSULTAR TIEMPO DE FUNDIDO / RATIO DE FUNDIDO'

La respuesta debe ser XXXX YYYY, donde XXXX corresponde al número del comando 46; y donde YYYY corresponde al número del comando 47.

Comandos 166-175: YAAA AAA1 1010 XXXX

Reservado para futuras necesidades.

Consultas relacionadas con el ajuste de los parámetros del sistema

Comando 176-191: YAAA AAA1 1011 XXXX 'CONSULTAR NIVEL DE ESCENA (ESCENAS 0 A 15)'

La respuesta debe ser el nivel de potencia de la escena XXXX, como un número de 8 bits.

Comando 192: YAAA AAA1 1100 0000 'CONSULTAR GRUPOS 0-7'

Un bit por cada grupo en el byte de soporte del canal. Lsb=grupo 0.

'0' = no pertenece a ningún grupo. '1' = pertenece a un grupo.

Comando 193: YAAA AAA1 1100 0001 'CONSULTAR GRUPOS 8-15'

Un bit por cada grupo en el byte de soporte del canal. Lsb = grupo 8.

'0' = no pertenece a ningún grupo. '1' = pertenece a un grupo.

Comando 194: YAAA AAA1 1100 0010 'CONSULTAR DIRECCIÓN ALEATORIA (H)'

Los 8 bits superiores de la dirección aleatoria.

Comando 195: YAAA AAA1 1100 0011 'CONSULTAR DIRECCIÓN ALEATORIA (M)'

Los 8 bits centrales de la dirección aleatoria.

Comando 196 YAAA AAA1 1100 0100 'CONSULTAR DIRECCIÓN ALEATORIA (L)'

Los 8 bits inferiores de la dirección aleatoria.

Comandos 197-223: YAAA AAA1 110X XXXX

Reservados para futuras necesidades.

Comandos extendidos de aplicación

Comandos 224-255: YAAA AAA1 11XX XXXX 'CONSULTAR COMANDOS EXTENDIDOS DE APLICACIÓN'

Estos comandos deberán definirse en los anexos de los dispositivos especiales afectados. Para más comentarios, ver comando 272.

Para los dispositivos estándar tipo 0, estos comandos no son utilizados.

Comandos especiales

Los comandos especiales deben emitirse a todos los balastos y ser recibidos por todos ellos. Esto significa que la dirección principal deberá ser: 101C CCC1. ó 110C CCC1. C es el bit significativo del 'COMANDO ESPECIAL'.

Procesos especiales de suspensión

Comando 256:1010 0001 0000 0000 'SUSPENDER'

Todos los procesos especiales deben se suspenderán.

Descarga de información al DTR

Comando 257:1010 0011 XXXX XXXX 'REGISTRO DE TRANSFERENCIA DE DATOS (DTR)'

Almacena un valor de 8 bits XXXX XXXX en el DTR.

Comandos de dirección

El rango de direcciones debe ser ajustado a un máximo de 24 bits (3 bytes) que conduce a 16.777.216 direcciones diferentes.

Existen Comandos de Dirección en los que el balasto debe responder como si se tratara de un Comando de Consulta.

Comando 258:1010 0101 XXXX XXXX 'INICIAR'

Este comando será enviado por segunda vez en los 100 ms siguiente. No deberá enviarse ningún comando entre estos dos, si no se desea que el otro comando y el comando 258 sea ignorado.

El comando se iniciará o reiniciará un cronómetro durante 15 minutos; los comandos direccionados ente el 259 y el 270 pueden procesarse en este período. *Los otros comandos pueden aún procesarse durante este período.*

Este período de tiempo se abortará con el comando 'SUSPENDER'.

La reacción de los balastos que reciban este comando depende del contenido del 2º byte:

XXXX XXXX = 0000 0000 Todos los balastos deberán reaccionar

XXXX XXXX = 0AAA AAA1 Los balastos con dirección AAA AAA deberán reaccionar.

XXXX XXXX = 1111 1111 Los balastos sin dirección abreviada reaccionarán.

Comando 259:1010 0111 0000 0000 'ALEATORIO'

Este comando se enviará una segunda vez en los 100 ms siguientes. No se ejecutarán otros comandos entre estos dos, si no se desea que sean ignorados.

El balasto generará una dirección aleatoria nueva al introducirle este comando.

La nueva dirección aleatoria estará disponible en un período de 100 ms.

Comando 260:1010 1001 0000 0000 'COMPARAR'

El balasto comparará su dirección aleatoria con la búsqueda combinada de dirección almacenada en SEARCHADDRH, SEARCHADDRM y SEARCHADDRL. Si su dirección aleatoria es menor o igual que la dirección combinada de búsqueda almacenada en SEARCHADDRH, SEARCHADDRM y SEARCHADDR, entonces el balasto generará una consulta 'sí'.

Comando 261:1010 1011 0000 0000 'CANCELAR'

El balasto cuya dirección aleatoria es igual a la búsqueda combinada almacenada en SEARCHADDRH, SEARCHADDRM y SEARCHADDRL será excluida del proceso de comparación. Este balasto no será separado del proceso de inicio.

Comando 262:1010 1101 0000 0000

Reservado para necesidades futuras

Comando 263:1010 1111 0000 0000

Reservado para necesidades futuras

Comando 264 1011 0001 HHHH HHHH 'SEARCHADDRH'

Los 8 bits superiores de la dirección de búsqueda.

Comando 265 1011 0011 MMMM MMMM 'SEARCHADDRM'

Los 8 bits centrales de la dirección de búsqueda.

Comando 266 1011 0101 LLLL LLLL 'SEARCHADDRL'

Los 8 bits inferiores de la dirección de búsqueda

La combinación de tres direcciones suadas entre los comandos 264 y 266 representarán los 24 bits de la dirección de búsqueda HHHHHHHHHMMMMMMMMLLLLLLLLL.

Comando 267:1011 0111 0AAA AAA1 'PROGRAMAR DIRECCIÓN BREVE'

Si se encuentra 'seleccionado', el balasto almacenará las direcciones de 6 bits recibidas como su correspondiente dirección abreviada:

'Seleccionado' significa:

- La dirección aleatoria del balasto debe ser igual a la búsqueda combinada, almacenada en SEARCHADDRH, SEARCHADDRM y SEARCHADDRL.
- La selección física del direccionamiento individual del balasto. La selección física será detectada por el balasto si la lámpara está eléctricamente desconectada del balasto tras la recepción del Comando 270.

La dirección abreviada se eliminará completando el comando 267 del modo: 1011 0111 1111 1111 **'eliminar dirección abreviada'**

Comando 268:1011 1001 0AAA AAA1 'VERIFICAR DIRECCIÓN BREVE'

El balasto responderá 'sí' si la dirección abreviada recibida es igual a su propia dirección abreviada.

Comando 269:1011 1011 0000 0000 'CONSULTAR DIRECCIÓN BREVE'

El balasto enviará la dirección abreviada si la dirección aleatoria es la misma que la buscada, o si el balasto está físicamente seleccionado.

Comando 270:1011 1101 0000 0000 'SELECCIÓN FÍSICA'

Si un balasto recibe este comando, cancelará su selección física y ajustará el balasto a "Modo de selección física". En este modo, la comparación de BÚSQUEDA y DIRECCIÓN ALEATORIA deberá ser desactivada.

Comando 271:1011 1111 XXXX XXXX

Reservado para necesidades futuras

Comando 272: 1100 0001 XXXX XXXX 'HABILITAR DISPOSITIVO TIPO X'

X = 0 a 255.

Este comando se enviará antes de una emisión o un comando de grupo, si dicho comando es un comando de aplicación extendida (224-255) y hay más de un tipo de dispositivo en la interfaz. Si se utiliza una dirección corta, este comando no será necesario para acceder a cualquiera de los comandos extendidos de aplicación.

Este comando puede ser procesado sin el uso del comando 'INICIAR'.

Este comando no se utilizará para dispositivos tipo 0, ya que los comandos extendidos de aplicación 224-255 no son usados para este tipo de aparatos.

Lista de dispositivos tipo x:

x = 0 dispositivo estándar

x = 1 dispositivo para iluminación de emergencia.

- x = 2 dispositivo para lámpara HID
- x = 3 dispositivo para lámparas halógenas de bajo voltaje
- x = 4 dispositivo para atenuación de lámparas incandescentes
- x = 5....255 reservados para otros tipos de dispositivos futuros

Restricciones:

- Un dispositivo no puede reacc a comandos que pertenezcan a comandos de aplicación extendidos de otros dispositivos.
- Todos los dispositivos serán capaces de responder de manera adecuada al rango estándar de comandos.
- Las unidades de control serán capaces de identificar dispositivos individuales y almacenar la relación entre las direcciones individuales de los dispositivos y los distintos tipos de dispositivo en una memoria persistente.

Comandos 273-287 110x xxx1 xxxx xxxx

Reservado para comandos especiales futuros.

Se recoge a continuación un resumen de los comandos específicos con el nombre original según se recoge en la IEC 60929.

Tabla 2. Resumen de los comandos

Cmd n	Command Code	Command Name
-	YAAA AAA0 XXXX XXXX	DIRECT ARC POWER CONTROL
0	YAAA AAA1 0000 0000	OFF
1	YAAA AAA1 0000 0001	UP
2	YAAA AAA1 0000 0010	DOWN
3	YAAA AAA1 0000 0011	STEP UP
4	YAAA AAA1 0000 0100	STEP DOWN
5	YAAA AAA1 0000 0101	RECALL MAX LEVEL
6	YAAA AAA1 0000 0110	RECALL MIN LEVEL
7	YAAA AAA1 0000 0111	STEP DOWN AND OFF
8	YAAA AAA1 0000 1000	ON AND STEP UP
9-15	YAAA AAA1 0000 1XXX	RESERVED
16 - 31	YAAA AAA1 0001 XXXX	GO TO SCENE
32	YAAA AAA1 0010 0000	RESET
33	YAAA AAA1 0010 0001	STORE ACTUAL LEVEL IN THE DTR
34 - 41	YAAA AAA1 0010 XXXX	RESERVED
42	YAAA AAA1 0010 1010	STORE THE DTR AS MAX LEVEL
43	YAAA AAA1 0010 1011	STORE THE DTR AS MIN LEVEL
44	YAAA AAA1 0010 1100	STORE THE DTR AS SYSTEM FAILURE LEVEL
45	YAAA AAA1 0010 1101	STORE THE DTR AS POWER ON LEVEL
46	YAAA AAA1 0010 1110	STORE THE DTR AS FADE TIME
47	YAAA AAA1 0010 1111	STORE THE DTR AS FADE RATE
48 - 63	YAAA AAA1 0011 XXXX	RESERVED

Cmd n	Command Code	Command Name
64 - 79	YAAA AAA1 0100 XXXX	STORE THE DTR AS SCENE
80 - 95	YAAA AAA1 0101 XXXX	REMOVE FROM SCENE
96 - 111	YAAA AAA1 0110 XXXX	ADD TO GROUP
112 -127	YAAA AAA1 0111 XXXX	REMOVE FROM GROUP
128	YAAA AAA1 1000 0000	STORE DTR AS SHORT ADDRESS
129 -143	YAAA AAA1 1000 XXXX	RESERVED
144	YAAA AAA1 1001 0000	QUERY STATUS
145	YAAA AAA1 1001 0001	QUERY BALLAST
146	YAAA AAA1 1001 0010	QUERY LAMP FAILURE
147	YAAA AAA1 1001 0011	QUERY LAMP POWER ON
148	YAAA AAA1 1001 0100	QUERY LIMIT ERROR
149	YAAA AAA1 1001 0101	QUERY RESET state
150	YAAA AAA1 1001 0110	QUERY MISSING SHORT ADDRESS
151	YAAA AAA1 1001 0111	QUERY VERSION NUMBER
152	YAAA AAA1 1001 1000	QUERY CONTENT DTR
153	YAAA AAA1 1001 1001	Query device type
154	YAAA AAA1 1001 1010	Query physical minimum level
155	YAAA AAA1 1001 1011	QUERY Power failure
156 - 159	YAAA AAA1 1001 11XX	RESERVED
160	YAAA AAA1 1010 0000	QUERY ACTUAL LEVEL
161	YAAA AAA1 1010 0001	QUERY MAX LEVEL
162	YAAA AAA1 1010 0010	QUERY MIN LEVEL
163	YAAA AAA1 1010 0011	QUERY POWER ON LEVEL
164	YAAA AAA1 1010 0100	QUERY SYSTEM FAILURE LEVEL
165	YAAA AAA1 1010 0101	QUERY FADE TIME / FADE RATE
166 - 175	YAAA AAA1 1010 XXXX	RESERVED
176 - 191	YAAA AAA1 1011 XXXX	QUERY SCENE LEVEL (SCENES 0-15)
192	YAAA AAA1 1100 0000	QUERY GROUPS 0-7
193	YAAA AAA1 1100 0001	QUERY GROUPS 8-15
194	YAAA AAA1 1100 0010	QUERY RANDOM ADDRESS (H)
195	YAAA AAA1 1100 0011	QUERY RANDOM ADDRESS (M)
196	YAAA AAA1 1100 0100	QUERY RANDOM ADDRESS (L)
197 - 223	YAAA AAA1 110X XXXX	RESERVED
224 - 255	YAAA AAA1 11XX XXXX	QUERY APPLICATION EXTEND. COMMANDS
256	1010 0001 0000 0000	TERMINATE
257	1010 0011 XXXX XXXX	DATA TRANSFER REGISTER (DTR)
258	1010 0101 XXXX XXXX	INITIALISE
259	1010 0111 0000 0000	RANDOMISE
260	1010 1001 0000 0000	COMPARE
261	1010 1011 0000 0000	WITHDRAW
262	1010 1101 0000 0000	RESERVED
263	1010 1111 0000 0000	RESERVED
264	1011 0001 HHHH HHHH	SEARCHADDRH
265	1011 0011 MMMM MMMM	SEARCHADDRM
266	1011 0101 LLLL LLLL	SEARCHADDRL
267	1011 0111 0AAA AAA1	PROGRAM SHORT ADDRESS
268	1011 1001 0AAA AAA1	VERIFY SHORT ADDRESS

Cmd n	Command Code	Command Name
269	1011 1011 0000 0000	QUERY SHORT ADDRESS
270	1011 1101 0000 0000	PHYSICAL SELECTION
271	1011 1111 XXXX XXXX	RESERVED
272	1100 0001 XXXX XXXX	ENABLE DEVICE TYPE X
273 - 287	110X xxx1 xxxx xxxx	RESERVED

2. Normativa relativa a la eficiencia energética

El Ordenamiento Jurídico contempla una abundante y muy dispersa normativa relativa a la eficiencia energética y sobre instalaciones de iluminación. Siendo el aspecto lumínico uno de los elementos fundamentales de la eficiencia energética de los edificios y su confort, se hace necesario un estudio sobre sus aspectos esenciales en la legislación.

El primer elemento destacable es que nos encontramos ante normativa de fuerte impulso europeo, realizado a través de directivas comunitarias que, por tanto, han necesitado de trasposición al Ordenamiento Jurídico español, cuestión que no siempre ha resultado pacífica, especialmente en relación con la certificación energética de edificios ya existentes.

Haciendo un breve recorrido por la legislación, el primer hito destacable fue la armonización de las “Normas básicas para la edificación”, un conjunto disperso de disposiciones legales que dieron lugar al Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la edificación. Este Código provocó la derogación de las Normas Básicas para la Edificación y ha supuesto una mejora para el ahorro y la eficiencia en la edificación.

Dado que el protocolo DALI permite una mejor regulación de la iluminación consistente en una reducción energética y un mayor confort lumínico, se entiende que estos dos factores son los más relevantes jurídicamente para encuadrar dicho protocolo en la legislación. Por tanto, y dado que el Código Técnico consta de distintos documentos básicos, los más relevantes a efectos de este trabajo son los siguientes: en primer lugar, el Documento Básico HE, relativo a las limitaciones en materia energética, donde en su sección tercera (HE 3) se refiere explícitamente a la eficiencia energética en materia de iluminación; y en segundo lugar, la sección SUA 4, relativa a la seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada, ya sea en zonas de circulación o de emergencia.

Sin embargo, aunque esta normativa comienza a acercarse a los fines perseguidos por el protocolo DALI, será con el impulso europeo, y dentro del marco de la regulación de la eficiencia energética donde se consigan estos objetivos.

Gracias a la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética de los edificios, de obligado cumplimiento para España como país miembro de la UE, se propulsó una mejora en todas las áreas energéticas de los edificios, incluyendo la iluminación. Consecuentemente, abrazó medidas de ahorro y recuperación energética buscando energías respetuosas con el medio ambiente, que redujeran los consumos de energía hasta un 22%.

Al mismo tiempo, esta nueva Directiva convergía con la necesidad de satisfacer las exigencias de calidad del mercado en materia lumínica. Por ello, no se trata solo de reducir el consumo, sino de parametrizar la luz con el objeto de generar ambientes gratos y confortables, especialmente en los lugares de trabajo. Supone el germen, en el fondo, de la UNE-EN 12464-1 relativa a “Iluminación de los lugares de trabajo en

interior”, norma que pretende garantizar no solo el aspecto cuantitativo, sino cualitativo, con dos parámetros claros: el confort visual, y el rendimiento de colores.

El confort visual relaciona la luz con las tareas que se estén desarrollando, evita el exceso de luz o deslumbramiento, y atenúa los devastadores efectos de las pantallas. Por otro lado, el rendimiento de colores supone una mejora mayor, en la medida en la que humaniza las estancias y las adecua a las circunstancias. Conseguir economizar estas dos funciones es uno de los aspectos clave de la entrada de estos nuevos usos en la sociedad. Es muy gratificante que la Comisión Europea de Normalización y las naciones de la Unión Europea hayan apoyado los deseos de los usuarios de las instalaciones dando por satisfechas sus peticiones en cuanto al rendimiento de los colores y del confort visual. Resulta evidente la relación entre la regulación con protocolo DALI y la Directiva 2002/91/CE, dado que el primero es una concreción práctica de lo establecido genéricamente por la segunda.

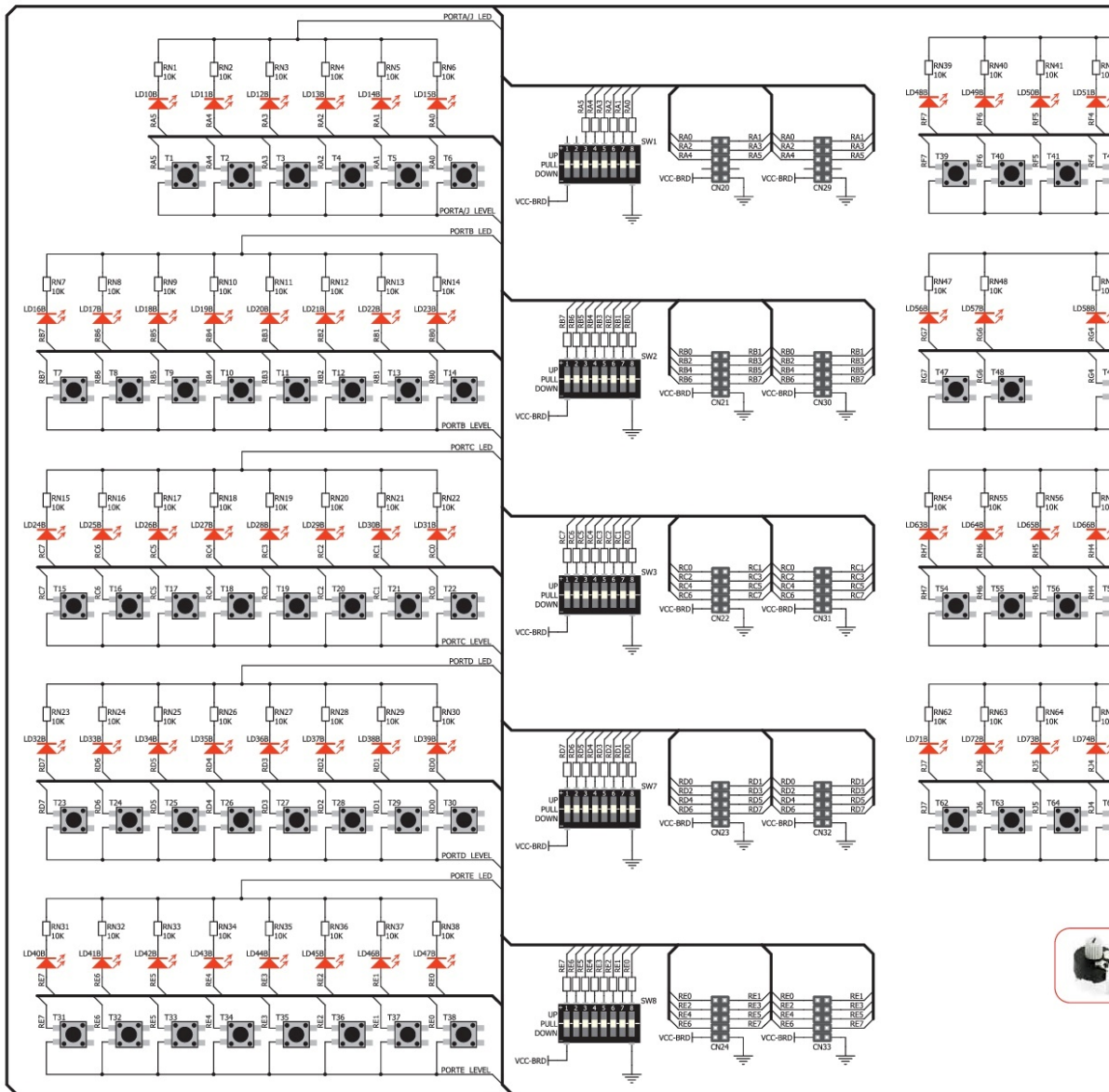
Esta directiva fue traspuesta de manera incompleta a nuestro Ordenamiento Jurídico por el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, mediante el que se aprobó un Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, quedando pendiente de regulación —mediante otra disposición complementaria— la certificación energética de los edificios existentes.

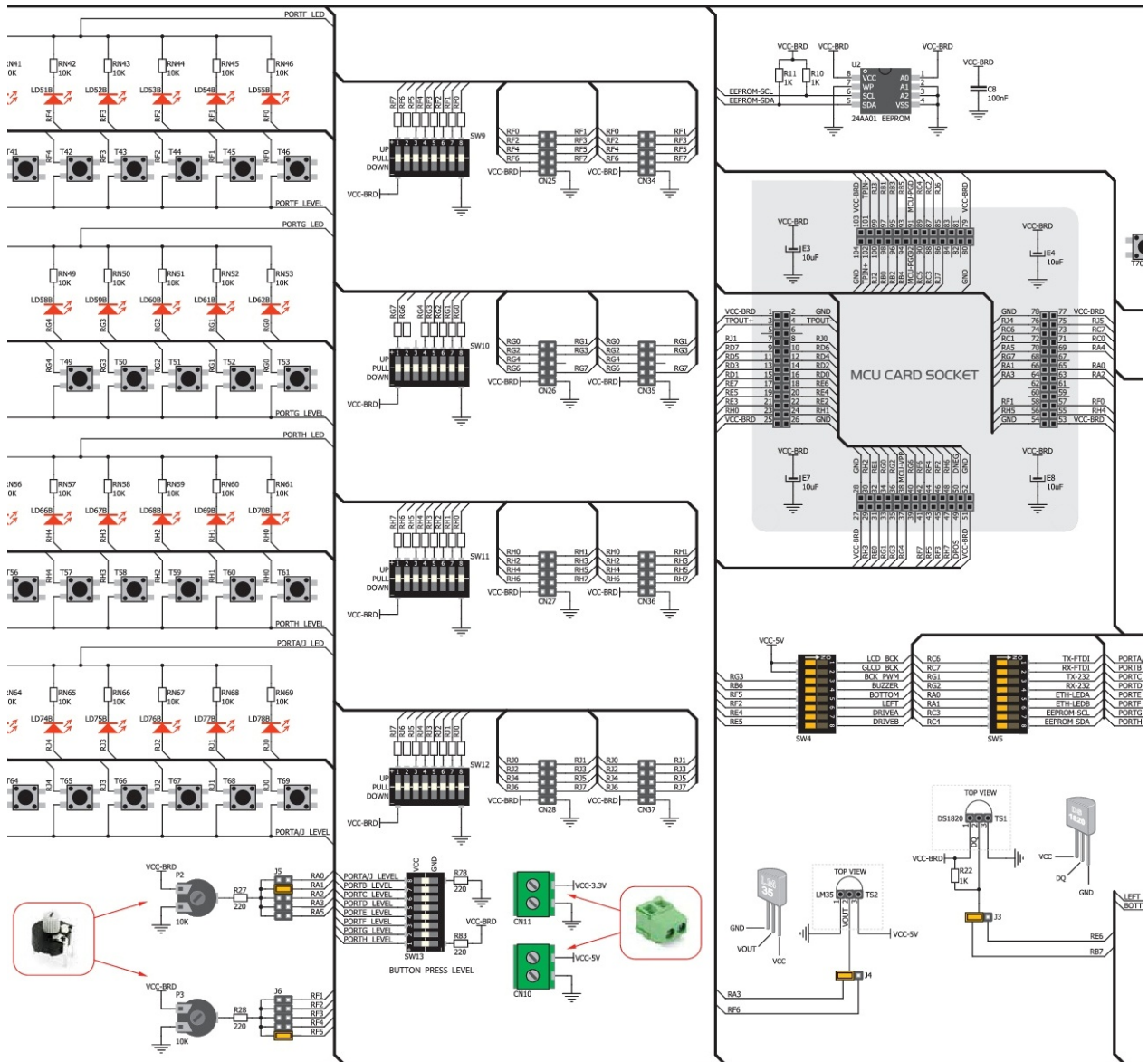
Con la Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, se modificaban algunos aspectos de la anterior, derogándola. En su introducción se establece que “la eficiencia energética de los edificios debe calcularse con una metodología que puede ser diferente a escala nacional y regional. En ella se incluyen no sólo las características térmicas, sino también otros factores que desempeñan un papel cada vez más importante, tales como las instalaciones de calefacción y aire acondicionado, la utilización de energía procedente de fuentes renovables, los elementos pasivos de calefacción y refrigeración, el sombreado, la calidad del aire interior, la adecuada iluminación natural y el diseño del edificio. La metodología de cálculo de la eficiencia energética debe basarse no sólo en las temporadas en que es necesario el uso de calefacción, sino que debe cubrir los resultados de eficiencia de un edificio a lo largo de año. Dicha metodología debe tener en cuenta las normas europeas actuales”. De la misma manera, en el artículo 2 de la Directiva se trata la iluminación dentro del concepto instalación técnica del edificio, de especial encuadre para el resto de la Directiva.

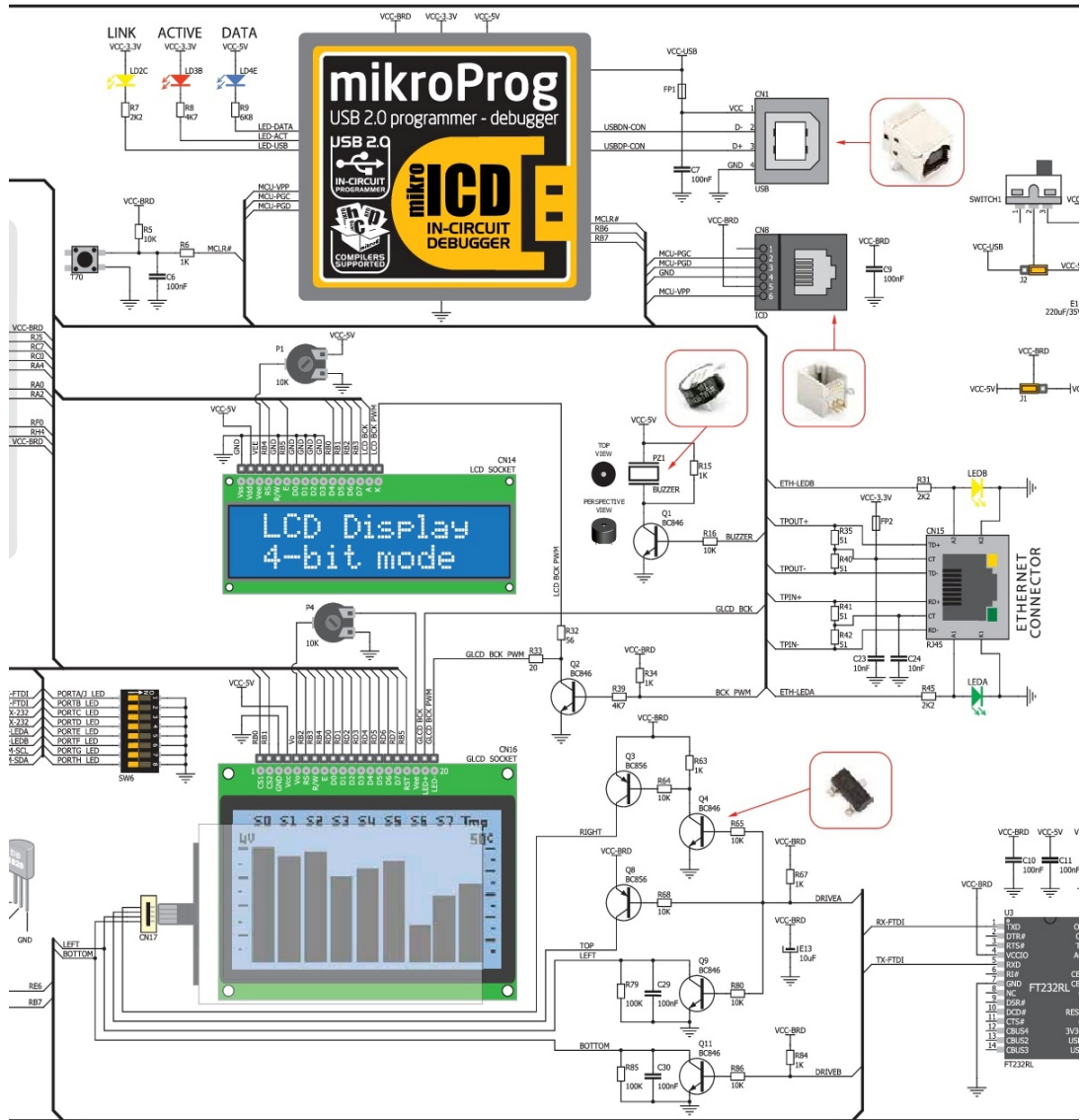
Paralelamente se promulgó el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. A fin de justificar este nuevo Real Decreto se señala en el Prólogo del mismo lo siguiente: “Si bien esta transposición podría realizarse mediante una nueva disposición que modificara el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, y que a la vez completara la transposición contemplando los edificios existentes, parece pertinente que, por economía administrativa, se realice mediante una única disposición que refundiendo lo válido de la norma de 2007, la derogue y complete, incorporando las novedades que incorpora la nueva directiva y amplíe su ámbito a todos los edificios, incluidos los existentes. En consecuencia, mediante este real decreto se transpone

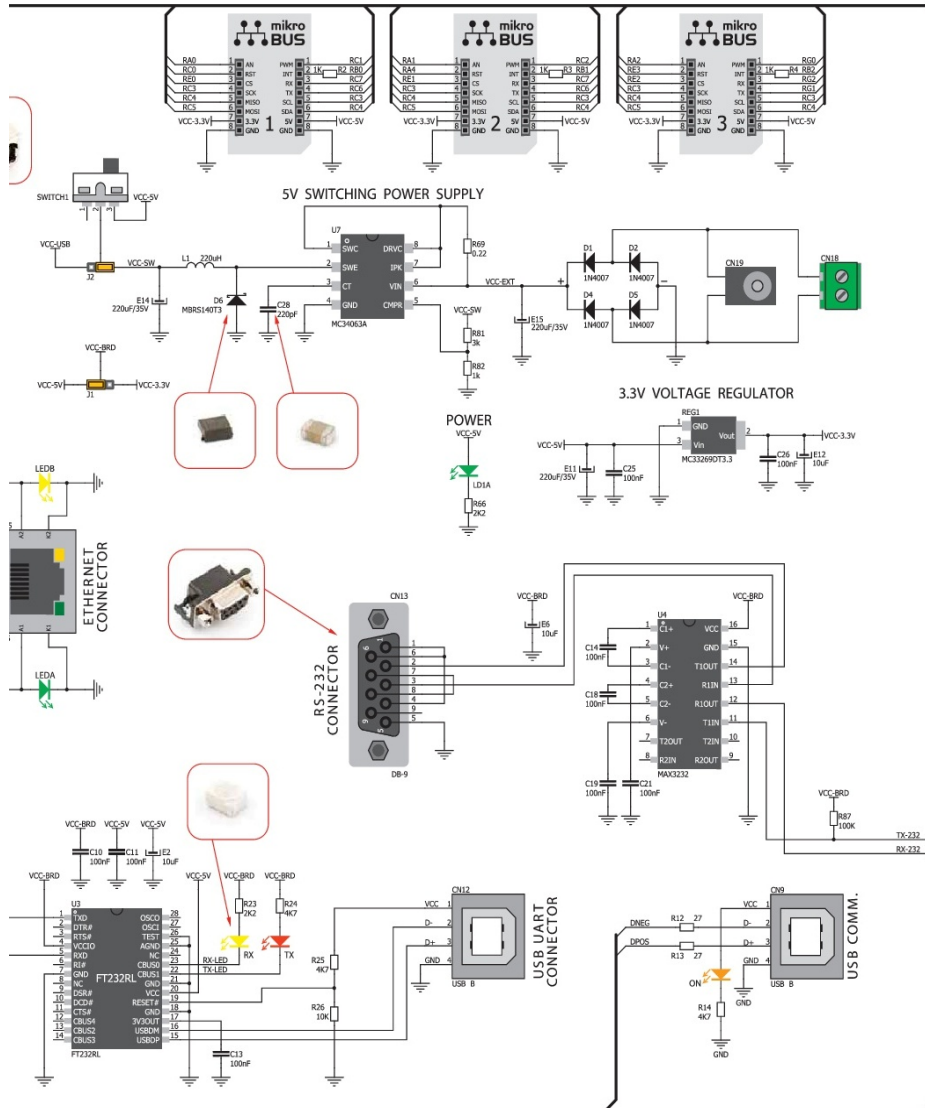
parcialmente la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, en lo relativo a la certificación de eficiencia energética de edificios, refundiendo el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, con la incorporación del Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes, teniendo en consideración además la experiencia de su aplicación en los últimos cinco años. El real decreto establece la obligación de poner a disposición de los compradores o usuarios de los edificios un certificado de eficiencia energética que deberá incluir información objetiva sobre la eficiencia energética de un edificio y valores de referencia tales como requisitos mínimos de eficiencia energética con el fin de que los propietarios o arrendatarios del edificio o de una unidad de éste puedan comparar y evaluar su eficiencia energética. Los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios o unidades de éste no se incluyen en este real decreto, ya que se establecen en el Código Técnico de la Edificación. De esta forma, valorando y comparando la eficiencia energética de los edificios, se favorecerá la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía. Además, este real decreto contribuye a informar de las emisiones de CO₂ por el uso de la energía proveniente de fuentes emisoras en el sector residencial, lo que facilitará la adopción de medidas para reducir las emisiones y mejorar la calificación energética de los edificios”.

3. Esquema de la tarjeta EasyPIC Pro v7

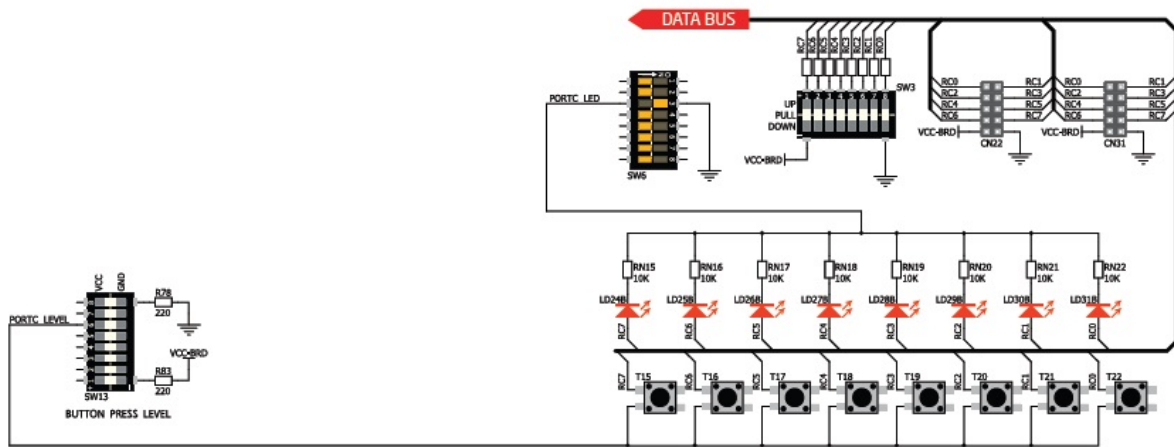




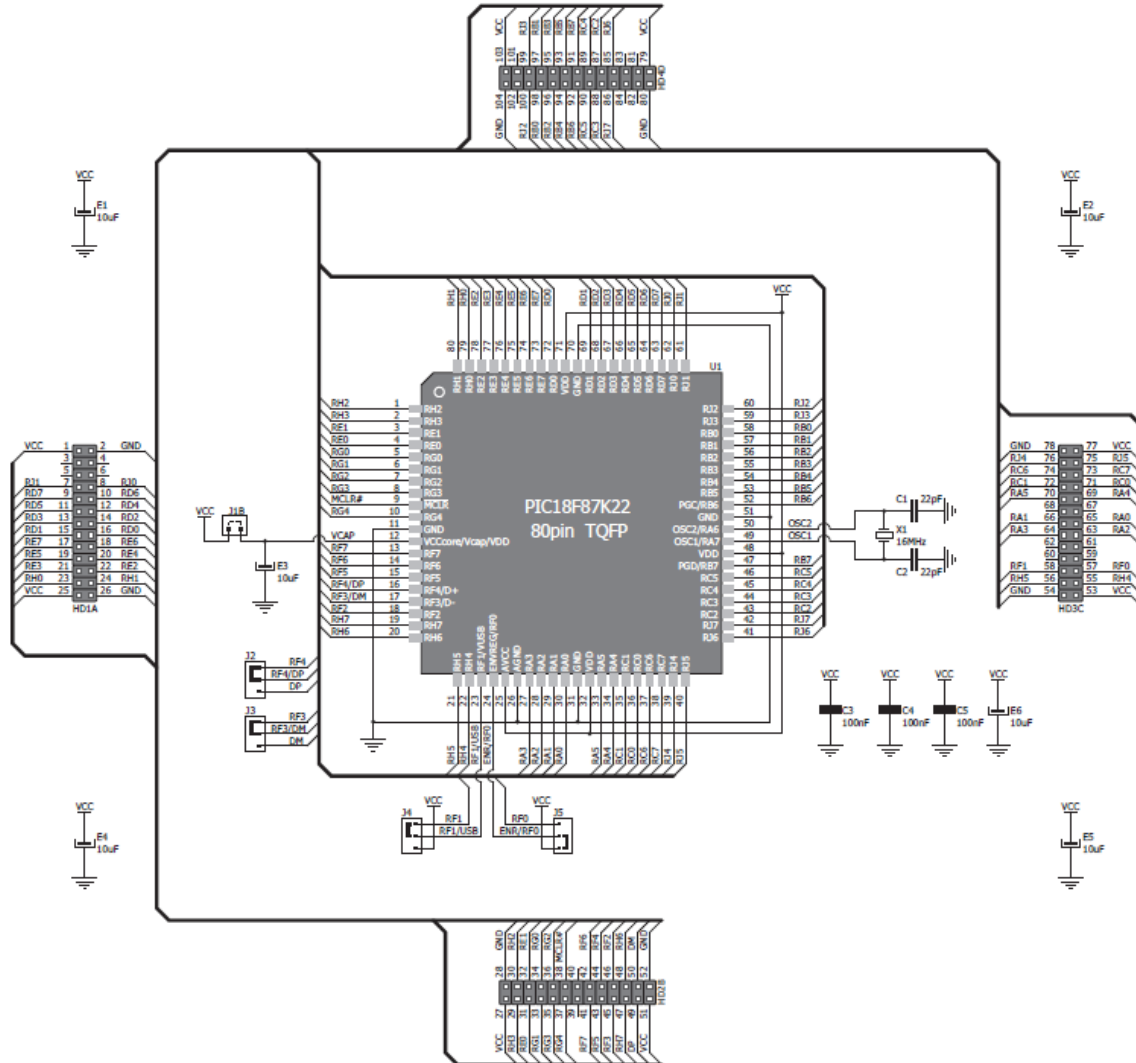




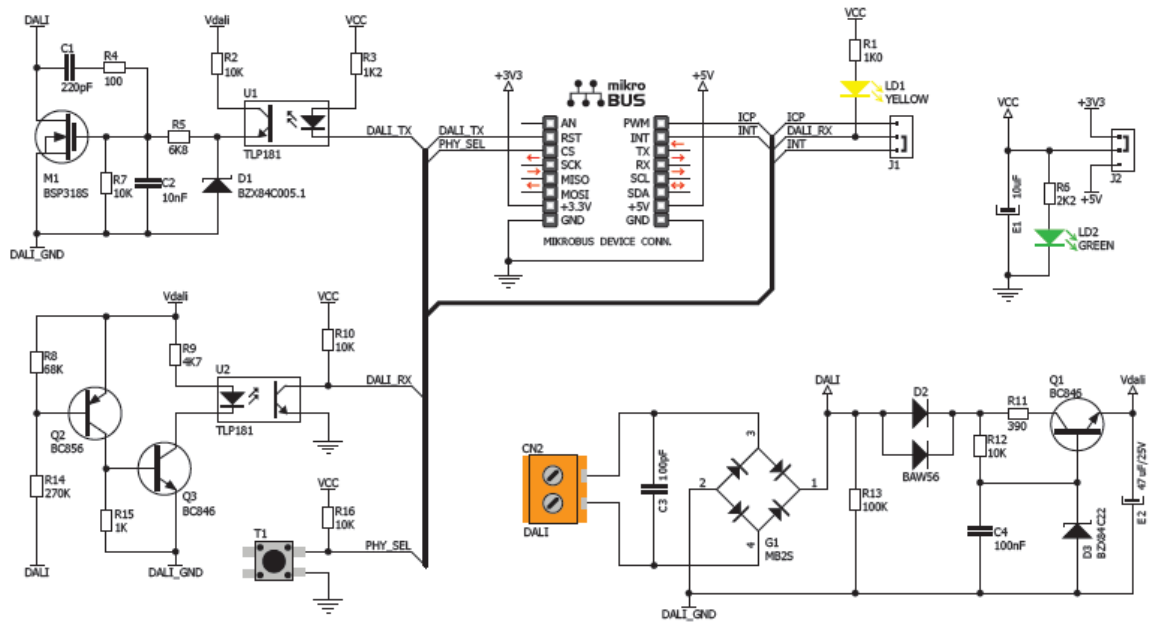
4. Esquema de un grupo entrada/salida



5. Esquema de la tarjeta MCU



6. Esquema de la tarjeta DALI click



7. Balasto DALI

DIN-413-6A

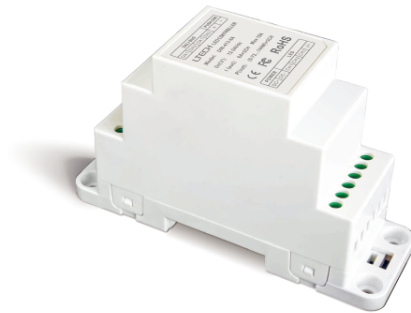
LTECH

DALI

DIN-Rail LED Dimming Driver

0-216...432W 6A × 3CH 12-24V

- Dimming interface: DALI, Push Dim.
- PWM digital dimming, standard DALI logarithmic dimming curve.
- Dimming range: 0-100%, LED start at 0.1% possible.
- Max. current output: 18A.
- Full protective plastic housing.
- DALI bus standard: IEC62386.
- Suitable for indoor environments.

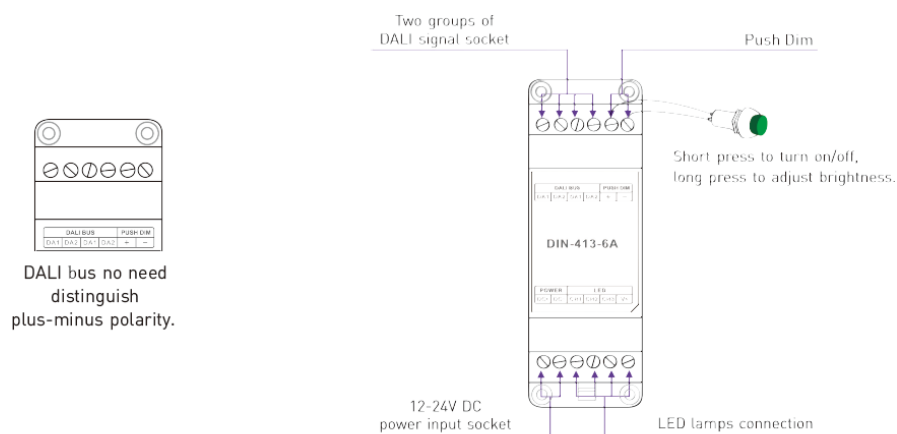


Main Characteristics

Dimming Interface:	DALI (IEC62386), Push Dim
Input Voltage:	12-24V DC
Output Voltage:	12-24V DC
Output Current	6A×3CH Max. 18A
Max. Output Power:	0-216W...432W
Dimming Range:	0-100%, LED start at 0.1% possible

Mounting:	DIN-Rail or Screw
Working Temperature:	-30°C-55°C
Product Size:	L112×W35×H67(mm)
Package Size:	L114×W37×H70(mm)
Weight[G.W.]:	135g

Conjunction Diagram



8. Bus DALI

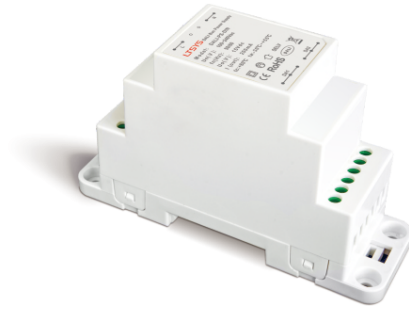
DALI-PS-DIN

LTSYS

DALI
Bus Power

DALI Bus Power Supply (DIN Rail)

- Short circuit / Over-temperature protection.
- Natural air cooling.
- Full protective plastic housing.
- Class 2 power supply.
- Compliant with Safety Extra Low Voltage standard
- Suitable for indoor environments.



Main Characteristics

Input Voltage Range:	100-240Vac
Frequency:	50/60Hz
AC Current (typ.):	115Vac/≤0.09A, 230Vac/≤0.05A
Inrush Current(typ.):	Cold start 10A at 230Vac (twidh=75µs measured at 50% Ipeak)
Leakage Current:	<0.5mA/230Vac
Rated Current:	200mA
Operating Voltage:	15V DC
Max. Rated Power:	3W
Ripple & Noise (max.):	0.5Vp-p (working voltage at full load)
No Load Output Voltage (max.):	≤17V DC
Setup Time:	115Vac<2500ms, 230Vac<1000ms at full load
Working Temp.:	-30°C ~ 55°C
Working Humidity:	20 ~ 95%RH, non-condensing

Storage Temp., Humidity:	-40 ~ 80°C, 10~95%RH
Temp. Coefficient:	±0.03%/°C(0-50°C)
Vibration:	10~500Hz, 2G 12min./1cycle, period for 72min. each along X, Y, Z axes

Protection

Short Circuit and Over-temperature: Auto recovery

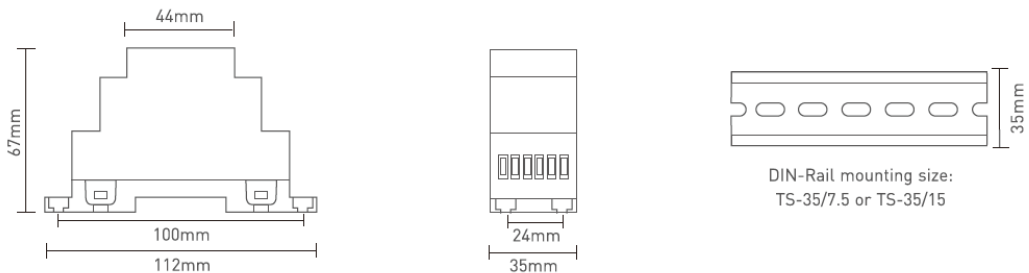
Safety & EMC

Isolation Resistance: I/P-O/P: 100MΩ/500VDC/25°C/70%RH

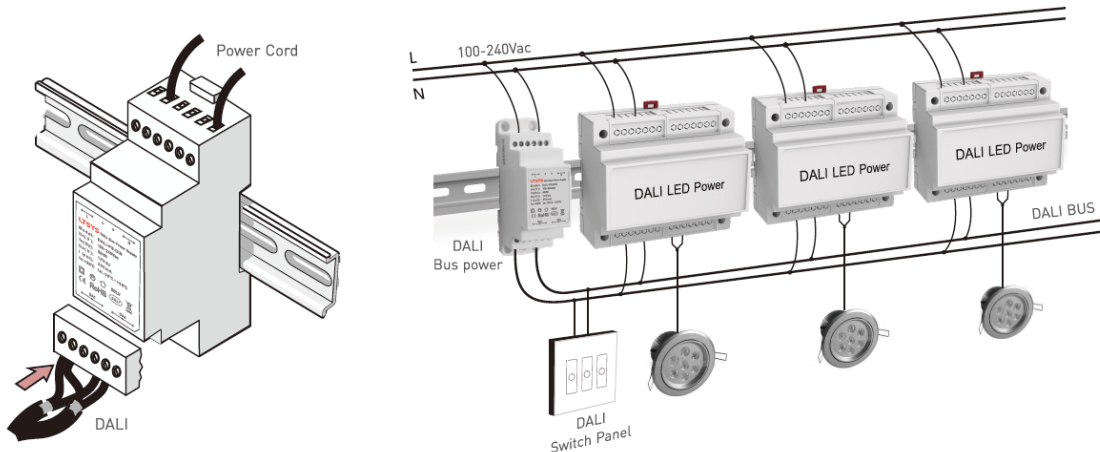
Packing Specification:

Dimension:	112×35×67mm[L×W×H]
Packing:	114×37×70mm[L×W×H]
Weight[G.W.]:	115g±10g

Dimensions:



Wiring Diagram:



9. Gastos

Componentes	Precio (€)
Balasto LTECH DIN 413-6A	34,72
Fuente de alimentación DALI-PS-DIN LTECH	30,51
5 m LED RGB, 60 led/m	27,38
Tarjeta DALI click	23,42