



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN POR
MEDIO DEL PROTOCOLO DALI Y UNA INTERFÁZ GRÁFICA
MÓVIL**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO
PRESENTAN:**

**HANS JOSEPH DEVILBISS HERNÁNDEZ
ENRICO JAVIER MONTAÑO REYNOSO**

**DIRECTOR DE TESIS:
M.I. ULISES M. PEÑUELAS RIVAS**

MÉXICO, D. F. ABRIL 2013





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos.

Quiero agradecer especialmente a mi madre que en todo momento me brindó su apoyo y me enseñó que siempre es mejor solucionar los problemas con una actitud positiva y una sonrisa. Sería difícil imaginarme realizando esta tesis sin su consejo y guía que en muchas ocasiones me brindaron el empuje necesario para no rendirme. Por tantos años he vivido con su ejemplo y estoy orgulloso de que gran parte de lo que soy sea gracias a ella. Muchas gracias ma.

También quiero agradecer a mis hermanos John, Moni y Vane porque a pesar de siempre estar tan lejos, encuentran las palabras sinceras y exactas para compartir lo que ellos son. Los admiro en cada paso que dan en su vida y son perfecto ejemplo de lo que quiero lograr en la mía.

Le agradezco a Enrico por todo su esfuerzo y entrega para lograr, tanto el proyecto de tesis, como todos los demás realizados a lo largo de la carrera. Formamos un gran equipo.

Existen muchos familiares y amigos que han estado siempre ahí, preguntando, alentando e interesándose por lo que hago. A todos ellos también les agradezco mucho.

Siempre estaré agradecido con la Universidad Nacional Autónoma de México por ofrecerme una formación profesional de calidad y cinco años universitarios de aprendizaje integral.

-Hans Joseph DeVilbiss Hernández-

Le agradezco a mi papá por su caballo blanco, la cera criolla y... entre tú y tú y tú, dámela tú. Por motivarme a siempre tener objetivos y algún día lograr tener mi "ranchito". A mi mamá por enseñarme que hay que vivir el presente y disfrutar de él, el saber que no hay obstáculo que no se pueda superar y que la felicidad no se encuentra sino que más bien se busca.

A mi hermano Franco que siempre tiene algo que lo motiva y busca algo nuevo cada día. A mi hermano Diego, que fue mi primer amigo, y a su felicidad contagiosa.

A Javier, Mariano, Silvia, Brenda, Sofía, Gianluca, Nicolás y Andrés; mi familia gil de goma.

A Guillermo y Ale que me recuerdan la sencillez que tanto disfruto.

A Roberto quien me hizo ser "más musical", con quien crecí y sigo creciendo.

A Victor con quien he vivido las mejores experiencias y a su familia que tanto aprecio.

A Hans con quien no sólo compartí la ingeniería, sino también una gran amistad.

A la UNAM por ser una gran institución y forjar el futuro de México.

-Enrico Javier Montaña Reynoso-

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Antecedentes	2
1.1 Domótica	2
1.2 Iluminación	5
1.3 Protocolos de comunicación para el control de iluminación	12
Capítulo 2. Sistema de iluminación DALI	19
2.1 Características	20
2.2 Estructura del protocolo	23
2.3 Especificaciones eléctricas	30
2.4 Comandos	33
Capítulo 3. Desarrollo del sistema	36
3.1 Controlador principal	37
3.2 ECG	52
3.3 Fuente de interfaz DALI	61
3.4 Interfaz gráfica	64
3.5 Prototipo final	67
Capítulo 4. Pruebas	73
4.1 Ciclo de trabajo de los ECGs	73
4.2 Niveles de voltaje y forma de los bits en la interfaz DALI	76
4.3 Tiempo de levantamiento y tiempo de caída	77
4.4 Duración de un periodo de un código bifase	78
4.5 Tiempo de trama de respuesta	81
4.5 Tiempo entre tramas	81
4.7 Corriente de la fuente DALI	83
4.8 Compatibilidad	83
Conclusiones y trabajo a futuro	84
Referencias	87

Anexo A / Tablas	90
Anexo B / Comandos	94
Anexo C / Diagramas de flujo	105
Anexo D / Código	115

Introducción

El presente trabajo comprende la elaboración de un sistema de iluminación regido principalmente por el protocolo de comunicación DALI (*Digital Addressing Lighting Interface*). En él se describen las especificaciones inherentes al protocolo y la forma en la que se decide satisfacerlas.

A lo largo de este trabajo se llevará al lector, primeramente, a conocer la importancia de los controles de iluminación así como los diferentes tipos de protocolos que existen para su implementación. Posteriormente se explicará en que consiste el protocolo DALI y se definirán sus características y sus especificaciones. Se procederá a mostrar el desarrollo del sistema implementado para concluir con las pruebas técnicas y eléctricas que muestran la fidelidad del trabajo propuesto.

Objetivo

Implementar un sistema de iluminación bajo el protocolo de comunicación DALI utilizando como principal componente un microcontrolador fungiendo como controlador principal, receptor y controlador de lámparas LED operado a partir de dispositivo móvil mediante el sistema operativo Android ®.

Esta tesis se realiza con la finalidad de aplicar algunos conocimientos adquiridos a lo largo de los estudios profesionales de licenciatura a problemas prácticos y de importancia mundial en el ámbito de la iluminación

Capítulo 1

Antecedentes

1.1 Domótica

La domótica es también conocida como “casa inteligente” o “automatización del hogar” y éste último nombre es a la vez una sencilla pero concreta definición. Se encarga de integrar todos los componentes eléctricos, electrónicos, robóticos e informáticos de un hogar para que funcionen de manera organizada y crear una experiencia habitacional más sencilla, confortable, segura y eficiente. “Vivienda domótica es aquella que permite una mayor calidad de vida a través de la tecnología, ofreciendo una reducción del trabajo doméstico, un aumento del bienestar y de la seguridad de sus habitantes, y una racionalización de los distintos consumos” [1].

La domótica tiene 4 pilares fundamentales:

Seguridad. Mantiene al usuario bajo protección tanto personal como de bienes (figura 1.1).

Intrusión: El sistema cuenta con detectores de presencia dentro de la casa, una vez especificado que no debe registrarse alguna. Se puede detectar si una ventana o puerta fue abierta indebidamente o se trató de forzar alguna de éstas.

Detección de incendios: Cuando se detecta un incendio el sistema puede avisar dentro de la casa por medio de una alarma, localizar a las autoridades correspondientes y avisar al usuario del siniestro, puede actuar para sofocar el fuego así como cortar suministros de gas para evitar mayor afectación.

Simulación de presencia: Cuando uno no está en casa o sale de vacaciones se puede simular el que alguien este habitando la casa (por ejemplo apagando y prendiendo las luces) para que así se reduzca la posibilidad de robo.



Fig. 1.1 Ejemplo de distribución de componentes de seguridad. [2]

Comunicación. Se encarga de mantener todo integrado, tanto con el usuario como entre los equipos. Todas las actividades pueden ser controladas y monitoreadas dentro de un mismo panel (figura 1.2) además de poder recibir notificaciones como cuando uno está fuera de casa y se detecta una fuga de gas. Los equipos pueden estar interconectados de tal manera que juntos resuelvan una misma función.



Fig. 1.2 Panel de control en un dispositivo móvil. [3]

Ahorro de Energía/Recursos. Vivimos en una época en la que el ahorro de recursos es fundamental. Ahora se piensa “verde” y se trata de aprovechar los recursos naturales sin dañar abruptamente nuestro ecosistema. La vivienda interactúa con el medio de tal manera que se reduzcan los gastos innecesarios de energía eléctrica.

Climatización: La distribución de la casa puede tener aulas en las que nunca incide la luz del sol, así como unas en las que el calor del sol eleva su temperatura a ciertas horas del día. El sistema se encargaría de homogenizar la temperatura de la casa a un nivel deseado tomando en cuenta estos factores.

Consumo eléctrico: Si queremos limitar el consumo eléctrico de nuestra vivienda para que no sobrepase un cierto valor, el sistema puede desconectar aparatos eléctricos no prioritarios como lo es el aire acondicionado y la calefacción.

Control de iluminación: La regulación de iluminación es muy importante para el ahorro de energía. Se adapta el nivel de iluminación en función a la variación de luz solar (la intensidad de luz del jardín puede ir aumentando conforme se da la noche), la zona de la casa así como la presencia de personas.

Es común que uno deje encendido la luz del cuarto o del baño, si no se detecta presencia alguna, la luz se apagará hasta percibir a alguien nuevamente.

Ahorro de agua: Se cuenta con detectores de fuga para poder, tanto avisar al usuario, como cortar el suministro. El sistema de riego puede reducir el consumo de agua al sensar la humedad del suelo y así determinar la cantidad de agua necesaria.

Confort. Uno de los principales objetivos de la domótica es hacernos sentir confortables al facilitar nuestras tareas en el hogar así como el hacernos sentir más cómodos al habitar nuestra casa (figura 1.3).

Automatización de tareas: Se pueden pre establecer tareas para facilitar nuestro día a día como puede ser regar el jardín cada vez que el sistema lo considere necesario, así uno no tiene que estar pendiente de él.

Ocio: Se encarga del entretenimiento. Se puede reproducir música dentro de toda la casa y elegir en que sectores se quiere escuchar así como el nivel de volumen.

Iluminación: Además de poder controlar la iluminación para el ahorro de energía, el usuario puede tener control de ésta para adaptarla a sus gustos y crear atmósferas específicas, además, se da la posibilidad de tener un control a distancia dentro de una misma interfaz. Debido a que este proyecto se basa en el manejo y control de iluminación el tema es desarrollado a continuación.



Fig. 1.3 Regulación de intensidad luminosa [4]

1.2 Iluminación

1.2.1 Fuentes de luz

Lámpara incandescente

Su principio de funcionamiento consiste en calentar, a un grado incandescente, un filamento de algún material (tungsteno principalmente) con punto de fusión elevado.

El filamento es una resistencia, por lo que la potencia eléctrica aplicada a él se convierte en calor. Debido a las altas temperaturas el material incandescente se evapora y puede provocar que ciertas partes del filamento se adelgacen.

A algunas lámparas se les agrega un gas noble que evita esta evaporación. Argón, Kriptón y Xenón son los más utilizados. En la figura 1.4 se pueden ver algunas de ellas.

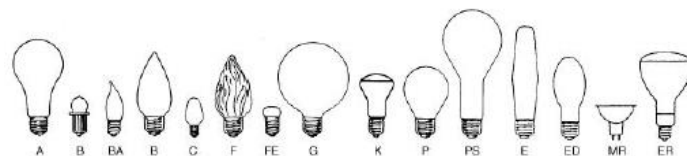


Fig. 1.4 Lámparas incandescentes. [5]

Lámparas de descarga de gas

Consiste en un tubo con dos electrodos (cátodo y ánodo) separados por una sección llena de gas y vapor de algún metal (figura 1.5). Los átomos del gas en el interior del

tubo son excitados, ionizados y disociados. Esta energía de excitación se puede transmitir como radiación electromagnética posteriormente. Cuando la lámpara está apagada, el gas se encuentra frío y su conductividad eléctrica es reducida. Al aplicar un voltaje elevado (del orden de decenas de kV) algunos electrones del cátodo son acelerados, creando así un arco entre los dos electrodos. Esta corriente generada calienta el material del interior del tubo y evapora el metal estabilizando así la conducción eléctrica de la lámpara. Una vez alcanzado este punto es posible reducir el voltaje aplicado y la lámpara seguirá encendida. Las lámparas fluorescentes, de sodio a baja presión y de alta presión (mercurio, sodio o halogenuros metálicos) pertenecen a este grupo de lámparas y su funcionamiento es similar.

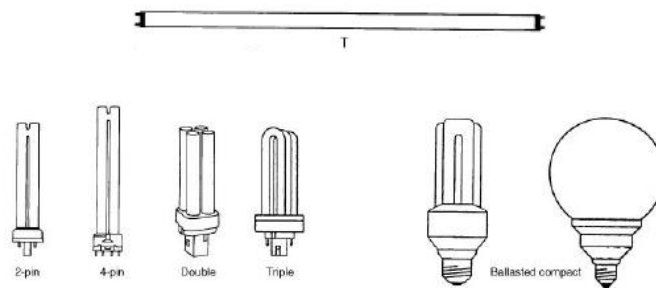


Fig. 1.5 Lámparas fluorescentes. [5]

Lámparas LED

Son dispositivos que utilizan LEDs (*Light Emitting Diode*) como fuente de luz. Los LEDs son dispositivos semiconductores que al ser polarizados de forma directa emiten luz con una longitud de onda monocromática específica bastante bien definida. Su efecto electroluminiscente se debe a la energía que se genera cuando los electrones del material de tipo N (comúnmente un cristal de silicio dopado con un elemento con 5 electrones en su capa de valencia) saltan de la banda de conducción al material de tipo P (dopado con material con 3 electrones en su capa de valencia). Para lograrlo se necesita aportar energía eléctrica a través de la conducción de corriente eléctrica. [6]

Existen dispositivos LED cuya potencia de disipación no rebasa los 10 mW , sin embargo, la cantidad de luz que emiten es escasa por lo que sus aplicaciones se limitan a la señalización. Para iluminación se utilizan dispositivos LED de 1 W de potencia o más (35 W , 65 W , 100 W , entre otros). Dicho lo anterior, es indispensable tener un método de disipación de calor eficiente evitando así su degradación.

La tecnología LED se diferencia de los otros tipos de lámparas principalmente por las siguientes características:

Direccionamiento de luz. Existen muchas aplicaciones en donde es preciso mantener iluminada una zona o espacio. Con las lámparas incandescentes o de descarga se suele iluminar en todas direcciones desperdiciando una gran cantidad de luz generada. Las lámparas LED, por su parte, generan luz de forma hemisférica (figura 1.6), la cual permite enfocar la luz a donde sea más conveniente. A pesar de que con las otras tecnologías se pueden utilizar reflectores para redireccionar la luz, siempre habrá un costo referente a eficiencia energética.

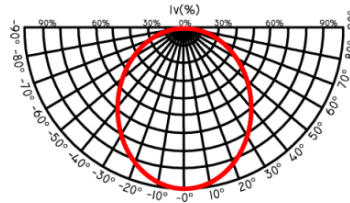


Fig. 1.6 Curva de distribución luminosa. [7]

Tamaño compacto. Su tamaño los hace aptos para un gran número de aplicaciones compactas, potentes, flexibles y adaptables, no obstante, requiere de un buen diseño y planeación ya que al ser dispositivos de potencia pueden degradarse o dañarse permanentemente si no se toman las medidas necesarias para disipar el calor. En la figura 1.7 podemos observar las dimensiones del LED.

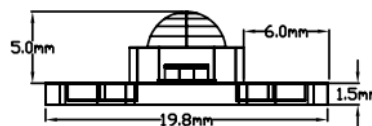


Fig. 1.7 Dimensiones de un LED de 1 Watt. [7]

Resistentes. Son muy resistentes a vibraciones ya que no cuentan con filamentos, secciones quebradizas de cristal ni cualquier otra pieza móvil o frágil. Esta característica los hace ideales en aplicaciones industriales y vehiculares.

Encendido inmediato. A diferencia de las lámparas de descarga, los LEDs no requieren de etapa de arranque disponiendo inmediatamente de luz al momento de encender.

Conmutación rápida. Por su rápido encendido y su nulo desgaste por rápidos ciclos de encendido y apagado son una buena opción en aplicaciones regulables o cualquier sistema que implique intermitencias como lo son sensores de ocupación e indicadores de eventos.

Poca o nula emisión de ondas infrarrojas y ultravioleta. En comparación con otras fuentes de luz, los LEDs emiten prácticamente toda la radiación en el espectro de luz visible y en calor. A continuación se muestra una tabla comparativa sobre las emisiones respectivas a cada tipo de lámpara:

Tabla 1.1 Tabla comparativa de emisiones en diferentes tipos de lámparas

	Incandescencia (60W)	Fluorescencia (CFL)	Halogenuro Metálico	LED
Luz Visible	8%	21%	27%	20-40%
Emisión IR	73%	37%	17%	~0%
Emisión UV	0%	0%	19%	0%
Energía Radiante Total	81%	58%	63%	20-40%
Calor (Conducción + Convección)	19%	42%	37%	60-80%
Uso de Energía Total	100%	100%	100%	100%

1.2.2 Control de iluminación

Los controles de iluminación son pieza importante de un sistema de iluminación y particularmente útiles en el ahorro de energía (En 2010 la iluminación representó el 18% de la energía eléctrica total consumida en México) ya que al tener control sobre regiones independientes de una red de iluminación permite, si es necesario, suministrar energía sólo a los sectores en donde el funcionamiento del sistema es crítico, evitando así sobrecargas en la instalación. Todo esto de manera sencilla y remota.

Otro beneficio que nos ofrecen es la capacidad de alterar el espacio a través de la regulación y el cambio de color de la luz. Es decir, flexibilidad en la configuración luminaria para adaptar un espacio a distintos usos.

Existen dos tipos de control: manuales y automáticos.

Manuales

Son aquellos donde el comportamiento de los niveles de luz están completamente ligados a las decisiones y actos que realice el operador. Con frecuencia prenden o apagan los sistemas de iluminación o los regulan directamente en respuesta al ajuste manual. Este tipo de control incluye: paneles de control, interruptores y reguladores de estado sólido para control flexible de pequeños grupos de lámparas, interruptores de

activación por llave o código para aplicaciones donde la seguridad de la iluminación es importante.

Existen varias opciones cuando se trata de escoger un control de iluminación. A continuación se muestran las categorías principales en las que se dividen estos sistemas.

Interruptores. Se encargan de prender o apagar las luces primordialmente. Los más conocidos son los interruptores de pared. Comúnmente son el tipo de controles manuales que encontramos en la mayoría de las oficinas. Su ubicación es importante ya que deben encontrarse en lugares de fácil acceso y continuo tránsito para alentar el apagado de las lámparas cuando sea conveniente. De esta forma se reduce el desperdicio de energía eléctrica. Es posible agrupar las lámparas de tal forma que cada interruptor sea responsable de lámparas uniformemente distribuidas en el área de trabajo. Al accionar todos los interruptores se tendrá un 100% de iluminación. Si se desactiva alguno, en lugar de oscurecerse una sección del espacio, disminuirá el porcentaje de luz general.

Para manejar estas corrientes de alimentación suelen utilizarse arreglos de contactores o relevadores. Estos pueden ser activados mecánica o eléctricamente. Los contactores son utilizados para el control de circuitos de gran potencia mientras que los relevadores son de baja potencia y comúnmente forman parte de circuitos de control lógico (e.g. PLCs). [9]

Dimmers o reguladores. Utilizados para manipular el nivel de luz proveniente de las lámparas. La capacidad de regulación de luz en una lámpara depende de su principio de funcionamiento. Estos controles comúnmente utilizan reducción de voltaje, de corriente o manipulación de la forma de la señal para lograr la regulación. La reducción de voltaje se emplea para controlar la iluminación producida por lámparas incandescentes. Los reguladores de voltaje son capaces de manipular en un rango completo la iluminación con sólo disminuir el voltaje de alimentación, manteniendo prácticamente la misma forma de la señal de AC. A pesar de que es posible usar la reducción de voltaje con lámparas de descarga, su efectividad es limitada a menos que se utilicen balastos especiales para este tipo de regulación.

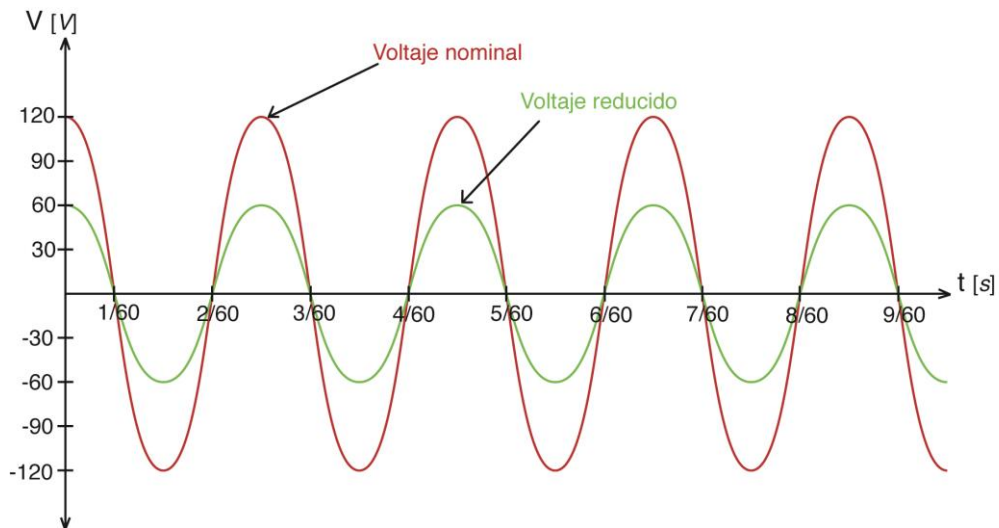


Fig. 1.8 Reducción de voltaje.

Los reguladores de corriente se emplean para manipular la iluminación de lámparas LED, sin embargo, no es recomendable utilizar este método cuando el color de las lámparas es importante debido a que puede variar cuando incrementa o decremента la corriente.

La regulación de lámparas LED más utilizada es por medio de PWM (*Pulse Width Modulation*). Consiste en activar y desactivar la corriente de los LEDs por cortos periodos de tiempo. La conmutación se debe hacer de tal forma que el ojo humano no perciba estos cambios. Generalmente se realiza con una frecuencia mayor a 200 Hz [10].

Otra manera de manipular la forma de la señal es eliminando una sección de cada semiciclo. Esto se observa en la figura 1.8. La cantidad de regulación alcanzada por este método es consecuencia de la cantidad eliminada de cada semiciclo. Los dispositivos que permiten esto logran una salida de luz del 25% a aproximadamente 100% de su intensidad nominal.

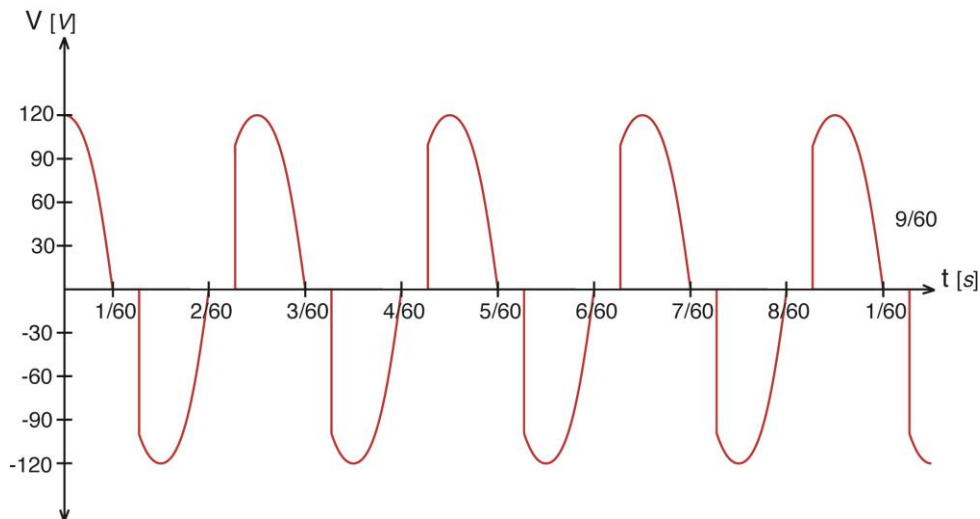


Fig. 1.9 Manipulación de la señal AC.

Automáticos

Los controles automáticos pueden tomar acciones dependiendo de una programación previa que determine el momento de llevar a cabo la acción o eventos que inicialicen la acción. Los controles programables a base de tiempo, fotoceldas y sensores de presencia o movimiento forman parte de este grupo de controles. Microcontroladores y redes son también empleados para constituir un sistema poderoso y flexible.

Los sistemas de iluminación automatizados pueden contener hasta siete funciones de control. Dichas funciones abarcan algunas de las funciones descritas anteriormente por sistemas independientes de control.

On/Off. Es la función de control básica. Hace que las lámparas se enciendan o apaguen. Esta función puede depender de otras funciones de control como reconocimiento de presencia o programación.

Reconocimiento de presencia. Se utiliza cuando el uso de iluminación es intermitente debido a la existencia o ausencia de personas en el espacio. Es necesario emplear un sensor que informe al controlador su estado para así poder determinar la acción a realizar.

Indicador de eventos cronológicos. El encendido, apagado y regulado de la luz es ajustado de acuerdo a un horario preestablecido. Al ser una función que depende del tiempo, se emplea cuando es requerido alcanzar distintos niveles de luz a distintas horas del día.

Puesta a punto. Está función es la encargada de establecer el nivel de intensidad de luz. Es posible poner a punto ya sea regulando o apagando ciertas lámparas y prendiendo otras en distintas configuraciones. Esta función puede representar un gran ahorro energético ya que permite iluminar espacios sin utilizar el 100% de la capacidad lumínica de los dispositivos.

Administración de luz natural. Consiste en sensar la cantidad de luz natural en un espacio determinado por medio de foto sensores y ajustar la luminosidad de las lámparas a un nivel deseado. Por lo general se emplea para mantener un nivel promedio de luz aprovechando la luz natural existente, sin embargo depende directamente de la actividad que se vaya a realizar.

Compensación de depreciación lumínica. La cantidad de luz que emiten los dispositivos luminosos decrece con el paso del tiempo. Dicho cambio se puede deber a distintos factores como son la acumulación de polvo o suciedad en las partes reflectivas de las lámparas o en paredes y otras superficies iluminadas. Para compensar este efecto es posible utilizar métodos que permitan mantener una luminosidad constante alterando la potencia de las lámparas según sea necesario.

Control de demanda. Demanda es la tasa a la cual la energía se consume en un edificio. Tanto la generación de energía como la distribución e instalación eléctrica se verían afectadas por esta demanda y en consecuencia, los costos. En ocasiones es importante no exceder esta tasa energética por lo que la función de “control de demanda” nos permite regular las lámparas cuyo desempeño no sea crucial para el desarrollo de las actividades en los momentos de mayor consumo. Una vez que vuelva a su valor nominal se pueden restablecer los niveles de funcionamiento de las lámparas.

1.3 Protocolos de comunicación para el control de iluminación

1.3.1 0-10 V

El protocolo de control 0-10 V es también conocido como control por voltaje DC. Su funcionamiento se encuentra especificado en el estándar 60929 Anexo E [12].

Es un protocolo de comunicación sencillo ya que trabaja únicamente con niveles de voltaje entre las dos terminales de control de la interfaz (figura 1.9). La potencia a la cual trabaja el balastro es controlado directamente por el voltaje de entrada.

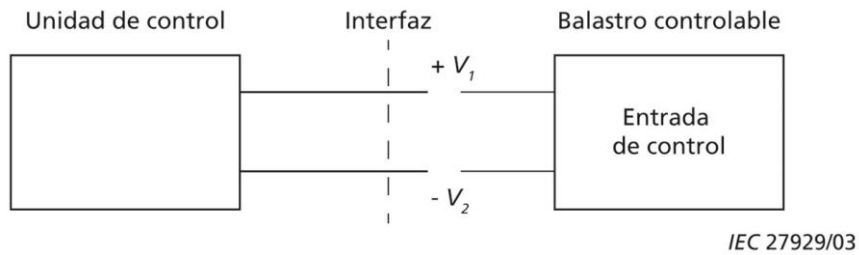


Fig. 1.10 Niveles de voltaje 0-10 V. [12]

Los niveles de voltaje en cuestión son los siguientes:

Tabla 1.2 Niveles de voltaje

Voltaje	Reacción del balastro controlable
Entre 10 V y 11 V	Nivel máximo de potencia
Entre 0 V y 1 V	Nivel mínimo de potencia
Entre 1 V y 10 V	Nivel correspondiente entre mínimo y máximo nivel
Entre 0 V y 11 V	Nivel de operación y luz de salida estables.

Actualmente existen dos protocolos bajo el mismo nombre aunque no son compatibles entre ellos.

El protocolo 0-10 V original fue creado en un inicio para controlar iluminación en teatros. La consola de control provee un canal distinto de control para cada grupo de lámparas que se desea controlar.

El segundo protocolo 0-10 V fue creado, y se utiliza, para controlar balastos regulables de lámparas fluorescentes.

El protocolo 0-10 V para lámparas regulables de teatro es del tipo *current source* mientras que el diseñado para controlar lámparas fluorescentes es del tipo *current sink*. Esto quiere decir que en el primero la corriente proviene del controlador y en el segundo proviene del balastro o balastos a controlar (figura 1.10).

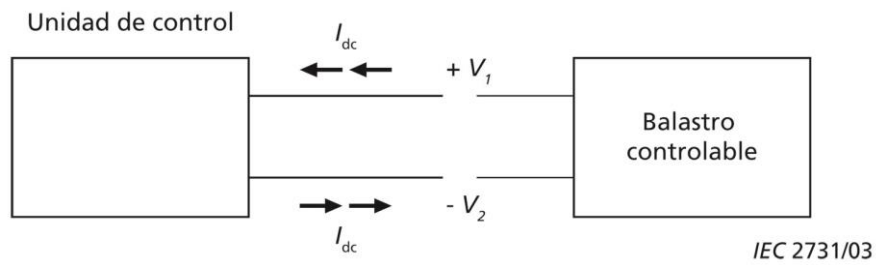


Fig. 1.11 Niveles de corriente 0-10 V. [12]

Los límites de corriente de entrada para el control 0-10 V van de $10 \mu A$ como mínimo a $2 mA$ como máximo. Esta información es indispensable para saber el número de balastos regulables que pueden ser conectados al sistema en un determinado momento.

1.3.2 DMX 512

Este protocolo, siglas provenientes de *Digital Multiplex*, fue creado por USITT (*United States Institute for Theatre Technology*) en 1986 con el fin de controlar remotamente reguladores de luz, así como proyectores de cabeza móvil. Fue hasta 1990 donde se consolidó como uno de los protocolos estándar.

DMX 512 es un protocolo asíncrono-serial-digital. El sistema DMX funciona por medio de un transmisor, el cual es la consola de control DMX, que contiene un puerto (conocido como el “universo”) por donde transmite 512 canales al decodificador. Éste puede ser desde un *dimmer* hasta una lámpara multifuncional (cuenta con cabeza giratoria, desplazamiento, variación de color, etc.) los cuales pueden manejar más de un canal ya que utilizan uno para cada tipo de función. Por ejemplo, una lámpara inteligente puede aceptar 3 canales, uno le indica la posición de giro del cabezal, otro le puede indicar un nivel de luminosidad y el último le indica la rapidez del efecto estroboscópico.

Cada canal contiene un mensaje de 1 byte (8 bits) y es labor del receptor “escuchar” los canales que se referencian a él para poder así reaccionar a la indicación dependiendo del valor de ese byte. Esto es ya que todos los canales son mandados continuamente, es decir, se manda desde el primero hasta el canal número 512 y es durante este proceso donde el receptor ubica los canales que son para él y los asimila. Los demás son ignorados.

Ujjal Kar¹ nos proporciona una analogía para comprender como funciona este sistema. Explica que se comporta como el sistema postal de una ciudad. Un cartero (el universo) tiene que entregar 512 cartas con un mensaje cada uno para 512 viviendas. Algunas viviendas son edificios por lo que dentro del mismo se encuentran varias viviendas (lo mismo pasa con lámparas inteligentes las cuales necesitan varios canales para efectuar diferentes actividades). El cartero va de casa en casa y entrega el correo en cada una. Cada habitante entonces toma una carta y deja las demás ya que su remitente no pertenece a ellos. Cuando el cartero llega a un edificio, entrega el correo de todos los departamentos y es el portero el que se encarga de distribuirlos por el edificio, así como pasa con una lámpara inteligente donde el controlador del receptor sabe el número de canales al que tiene que responder. Así hasta terminar de entregar todas las cartas.

Paquete

Los canales se mandan por paquete a una velocidad de 250 kHz, es decir cada bit tiene una duración de 4 microsegundos. El paquete (figura 1.11) consiste en lo siguiente:

Tabla 1.2 Paquete de datos DMX512

<i>Elemento</i>	<i>Descripción</i>	<i>Estado</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Duración</i>
Estado IDLE	En ausencia de cualquier tipo de mensaje.	Alto (1)		
Break	Indica la llegada de un nuevo paquete.	Bajo (0)	22-250 <i>kbits</i>	88 μs - 1 s
Start Code	Se trata de un byte de inicio donde, en la mayoría de la veces, su valor es cero.	Ambos	11 <i>bits</i>	44 μs
Mark After Break	Indica el fin del break y el inicio del start bit.	Alto (1)	2-250 <i>kbits</i>	8 μs - 1 s
Mark Time Between Frames	Espacio entre los 512 canales.	Alto (1)	0-250 <i>kbits</i>	Hasta 1 s
Channel Data	Datos que se quieren mandar.	Ambos	11 <i>bits</i>	44 μs
Mark Time Between Packets	Se utiliza para espaciar paquetes completos.	Alto (1)	0-250 <i>kbits</i>	Hasta 1 s

¹ Director general de *Standard Robotics*.



Fig. 1.12 Estructura del protocolo DMX512. [13]

Tanto el *start code* como cada canal consisten de 11 bits. El primero se le conoce como bit de inicio y se encuentra en estado bajo, los ocho siguientes son el contenido del mensaje (su valor va de 0 a 255) y los últimos dos se conocen como bits de paro, estos dos en estado alto.

Todo el paquete contiene aproximadamente 5700 bits y por lo tanto se podrían mandar hasta 44 paquetes cada segundo.

Los componentes se deben conectar en forma serial, en la que cada elemento tiene una entrada y una salida DMX. Del controlador sale una línea al primer receptor DMX, éste tiene una salida que se conecta a la entrada del siguiente componente y así sucesivamente. Al final se encuentra el terminador que es una resistencia de 120 Ω para evitar rebotes en la señal.

Cada aparato necesita tener una dirección establecida ya que la comunicación es unidireccional, es decir, solo el emisor habla y nadie responde.

DMX512-RDM

RDM (*Remote Device Management*) es un complemento al protocolo DMX. Como se explicó anteriormente el sistema DMX es unidireccional por lo que equipos no pueden responder a las indicaciones del controlador. Se decidió mejorar esta comunicación de tal forma que no se tuviera que incluir la dirección en cada equipo y se pudiera hacer desde la consola. Además, se puede monitorear cada sistema y saber en qué nivel se encuentra cada elemento conectado. Para no afectar de manera abrupta el protocolo que utiliza DMX se decidió agregar información en los espacios que existen entre cada canal tanto para preguntar como para responder.

1.3.3 X-10

Es un protocolo de automatización que se caracteriza por ser una transmisión mediante la línea de corriente eléctrica por lo que sus módulos no necesitan de cableado adicional, reduce mucho los costos de instalación. Sólo es necesario conectarlos a la toma de corriente.

La transmisión de datos es sincronizada con los pasos por cero de la onda sinusoidal de 60 Hz (en el caso de México) de la línea de corriente eléctrica. Es en este punto (con una diferencia máxima de 200 ms desde haber pasado por el cero) se inserta una ráfaga de pulsos de radiofrecuencia a 120 kHz durante un milisegundo. La interpretación de un 0 o uno 1 binario dependerá en que parte se encuentran insertados estos pulsos; un ciclo de la señal sinusoidal pasa dos veces por el cero. Si los pulsos se encuentran en la primera parte del ciclo y no en al punto medio se considera como un uno binario, en cambio, si al principio del ciclo hay ausencia de pulsos y al punto medio se detectan, se considera como un cero binario (figura 1.12). El inicio del ciclo se puede representar tanto empezando la parte negativa de la onda como empezando la positiva.

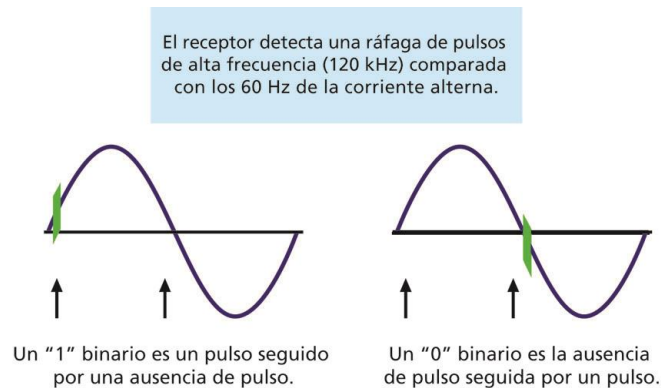


Fig. 1.13 Cero y uno binarios. [14]

Así como el DMX, el X-10 es un protocolo asíncrono, por lo que se le debe comunicar al receptor cuando se está listo para mandar información. En este caso se hace dejando primero 6 pasos por cero libres para luego continuar mandando el *start code* que se compone de tres bits con un uno seguido por sólo uno en cero (1110). A diferencia de los bits explicados anteriormente, los bits del *start code* se caracterizan por la presencia o ausencia de pulso únicamente, si se encuentra en el cruce a cero se considera un uno lógico, si no un cero (figura 1.13).

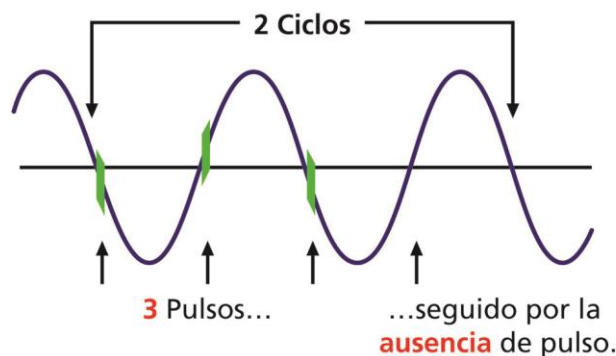


Fig. 1.14 Ejemplo de *start code*. [14]

Siguiendo al *start code* le siguen dos *nibbles* y un bit de función. Al primero se le conoce como código de letra que indica a que módulo le estás hablando, puede haber un total de 16. El siguiente *nibble* se encarga de designar un valor o un tipo de comando (apagar una luz, *dimmer*, etc). Esto es definido por el bit de función. Si el bit de función es uno, se refiere a que el *nibble* representa un comando.

Este paquete completo se transmite siempre dos veces con el propósito de evitar redundancia y obtener fiabilidad. Lo anterior se demuestra en la figura 1.14.

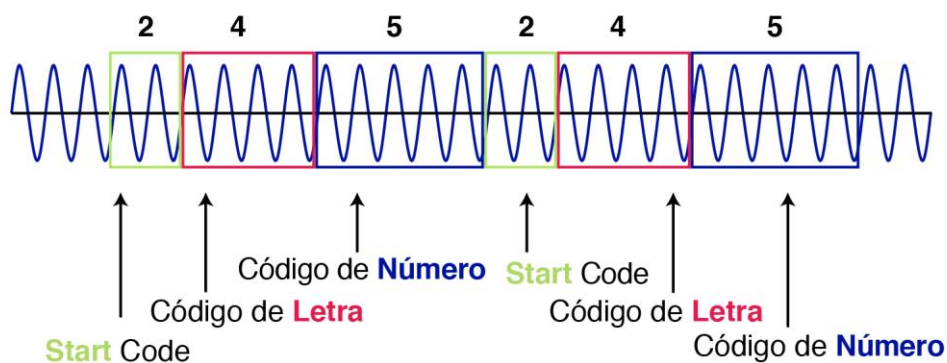


Fig 1.15 Estructura del protocolo X-10. [14]

Capítulo 2

Sistema de iluminación DALI

En 1991 Tridonic publicó el primer protocolo digital de comunicación para el control de iluminación llamado DSI (*Digital Signal Interface*). Este protocolo era único de Tridonic por lo que otras empresas no podían utilizarlo. Además no contaba con la función de controlar una lámpara individualmente. A finales de la década de 1990, basándose en este protocolo, las empresas líderes en iluminación como lo son Osram y Tridonic se asociaron para crear un protocolo universal que fungiera como base del control de iluminación comercial. Había varios requerimientos a seguir:

1. Bajo costo y cableado sencillo.
2. Control individual de cada lámpara.
3. Retroalimentación de cada lámpara.
4. La habilidad de incluir otros tipos de equipamiento como lo son los sensores.

Fue hasta 2001 cuando DALI fue publicado y ha sido adoptado por varias marcas.

[15]

¿Qué es DALI?

El nombre es un acrónimo de lo que en inglés se llama *Digital Addressable Lighting Interface* que podría definirse como Interfaz Digital Direccional de Iluminación.

Es un protocolo que se sirve como medio de comunicación entre un controlador y los ECGs (Electronic Control Gear) de iluminación, los cuales controlan la luminosidad de una lámpara. El controlador se encarga de mandarle un mensaje a los ECGs y estos se encargan de descifrar este mensaje y reaccionar a esa orden. Por ejemplo, el controlador le ordena al ECG 3 que tiene que apagarse, al recibir el mensaje, éste lo hará. En comparación con otros protocolos, DALI es un sistema bidireccional, esto

significa que el ECG puede responder al mensaje que el controlador le mandó, de esa forma se logra una retroalimentación.

2.1 Características

Cableado. En otros sistemas de control (0-10 V), es común que los grupos de ECGs se cableen físicamente en paralelo para que respondan de igual forma, por lo que si se quiere agregar algún elemento, la estructura de la instalación tendría que ser modificada. Cuando uno maneja más de un grupo se tiene una instalación eléctrica independiente para cada uno de éstos (figura 2.1).

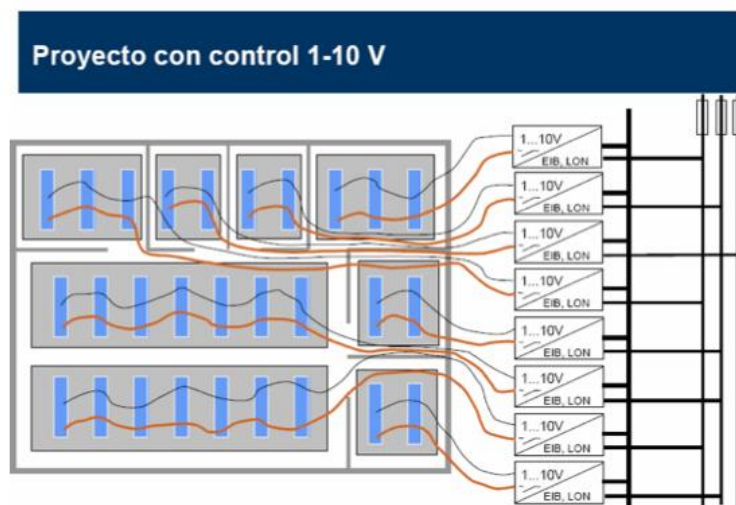


Fig. 2.1 Instalación con tecnología 1-10V. [17]

En el caso de DALI todas las luminarias de una habitación están conectadas a la fuente de energía más cercana y a un único cable de control de dos hilos que se encargan de la comunicación con el controlador (figura 2.2).

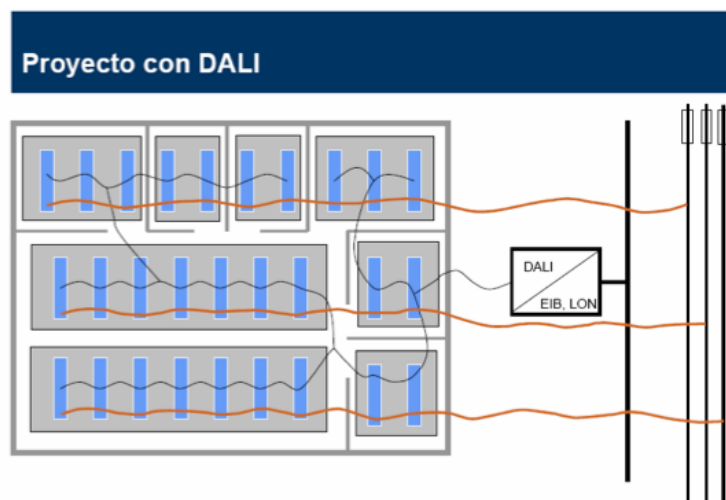


Fig. 2.2 Instalación DALI. [17]

En total, un sistema DALI completo cuenta sólo con 5 cables (figura 2.3):

- Dos que se encargan de la comunicación (sin polaridad)
- Fase
- Neutral
- Tierra

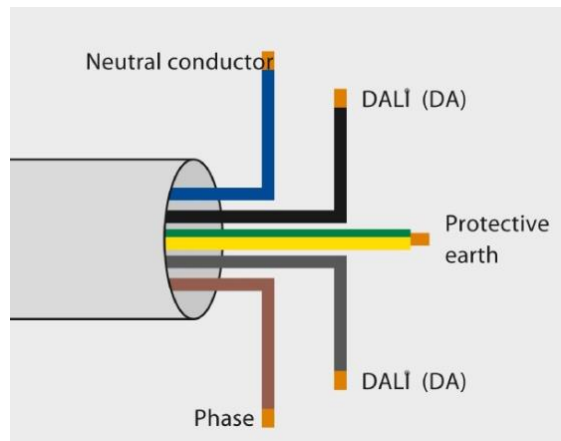


Fig. 2.3 Cableado. [18]

La comunicación DALI (DA) es de no polaridad, por lo que hace mucho más sencilla la instalación ya que los cables no necesitan de identificación alguna.

DALI permite todo tipo de topologías excepto la de anillo, esto nos da una gran amplitud de opciones para una instalación óptima. En la figura 2.4 se muestran dos tipos de topologías posibles.

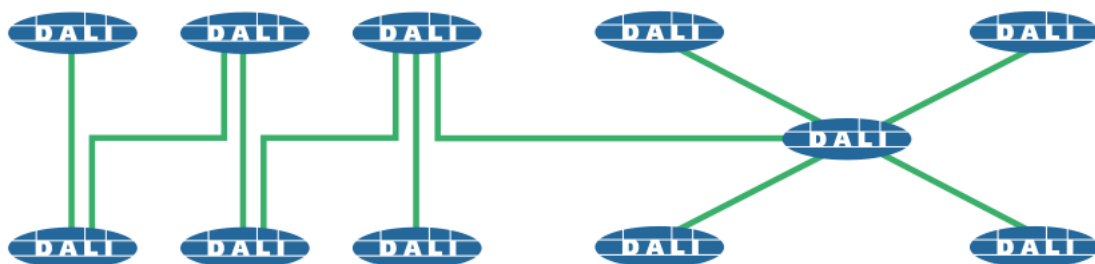


Fig. 2.4 Topología combinada (serial y estrella). [19]

La distancia entre la fuente de energía y el dispositivo DALI mas lejano no deber sobrepasar los 300 metros [13] [14].

Ya que la velocidad de transmisión es baja (1200 baudios) no es necesario ningún tipo de cable especial, como lo es el trenzado o el coaxial, los cuales evitan interferencia externa.

Control de ECGs. DALI puede controlar hasta 64 ECGs individualmente por lo que existen 64 direcciones (0-63) para cada uno. Maneja 16 tiempos y tasas de desvanecimiento (figura 2.5). Cada ECG puede ser asignado a un total de 16 grupos distintos y puede tener hasta 16 escenas programadas. Es posible de igual manera controlar a todos los ECGs al mismo tiempo.

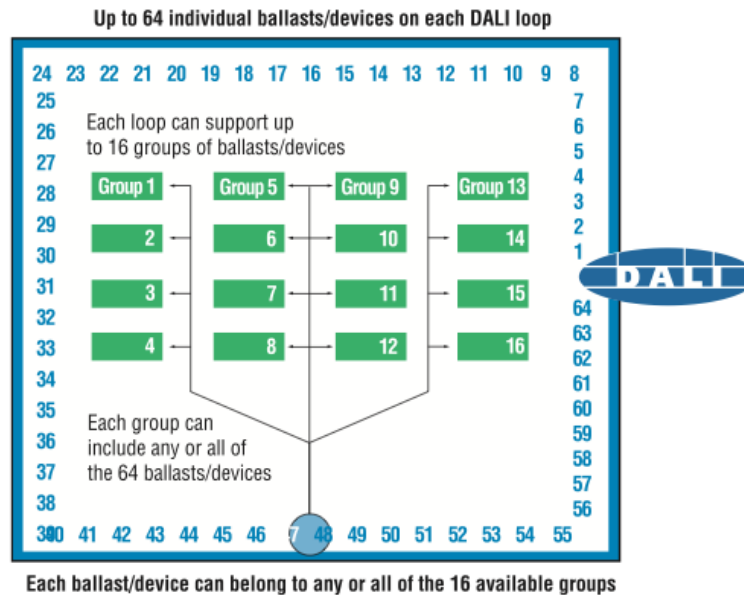


Fig. 2.5 Direcciones y Grupos. [19]

Control de iluminación. Las luminarias tienen control ON/OFF así como regulación de intensidad de luz (*dimming*).

Sencilla modificación. Si se requieren cambiar las características de la red de ECGs, como el introducir un ECG más a un grupo, no es necesario modificar nada físicamente, se hace fácilmente mediante software.

Bajo costo de mantenimiento. Ya que cuenta con un sistema de diagnóstico y de fallos no es necesario que un técnico este revisando constantemente el estado de las lámparas.

Ahorro de energía. Por medio de sensado se puede regular la luz en respuesta al cambio de luz natural además de identificar presencia de personas en el cuarto para mantener la luz apagada o encendida.

Luz comfortable. La regulación de la luz no se da de manera lineal sino logarítmica, adaptándose a la sensibilidad del ojo humano.

Versatilidad. DALI puede manejar una gran variedad luminarias como: halógenas, fluorescentes, incandescentes, LED, entre otras.

Los componentes principales de DALI son:

- Controlador
- ECGs (luminarias)
- Fuente para interfaz DALI
- Cableado

2.2 Estructura del protocolo

Se encuentra descrita en estándar internacional IEC 62386-102 [24].

2.2.1 Transmisión de datos

El protocolo DALI transmite datos por medio del código bifase, también conocido como código Manchester diferencial. Consiste en sincronizar los pulsos de un reloj junto con los datos que se necesitan transmitir de tal manera que un bit lógico se compone tanto de un estado bajo como un estado alto.

Como se observa en la figura 2.6, un uno lógico es la transición entre un estado bajo a uno alto, de lo contrario se considera un cero lógico.



Fig. 2.6 1 y 0 en código bifase. [24]

Trama de envío

Consta de 19 bits:

- 1 *start bit*.
- 1 byte de dirección: YAAA AAAS.
- 1 byte de datos: XXXX XXXX.
- 2 *stop bits*.

Start bit. Representa un uno lógico en código bifase.

Byte de dirección. Determina a quien se le está hablando. El bit más significativo define si se le habla a un ECG individual o a un grupo. En cuanto que el menos significativo, llamado bit selector, define si el byte de datos representa un nivel de intensidad de luz o un comando. El hablarle a todos los dispositivos conectados se le conoce como *broadcast*.

Tipo de Dirección

Byte

64 direcciones individuales (0-63)	0AAA AAAS
16 direcciones de grupo (0-15)	100A AAAS
<i>Broadcast</i> (todos los receptores)	1111 111S
Comandos Especiales	1010 0000 a 1111 1101

Y - Dirección grupal / individual / *broadcast* .

Y = 0: dirección individual.

Y = 1: dirección grupal o *broadcast*.

A – Dirección a la que se está hablando.

S – Bit selector.

S = 0: byte de datos = nivel de intensidad de luz.

S = 1: byte de datos = comando.

Cuando se trata de un comando especial el byte representa un valor en específico por lo que Y, A y S no se toman en consideración.

Byte de datos. Representa la información que se le quiere comunicar al ECG/grupo elegido. Se interpreta dependiendo del bit selector contenido en el byte de dirección.

Stop bits. Se mantiene el nivel en estado inactivo el tiempo equivalente a 2 bits.

Trama de respuesta

Se da únicamente cuando el controlador requiera de alguna información.

Consta de 11 bits:

- 1 *start bit*.
- 1 byte de datos: XXXX XXXX.
- 2 *stop bits*.

Esta trama puede responder al controlador con un “sí”, “no” o con la información requerida.

“Sí”: 1111 1111. (MASK)

“No”: El receptor no debe reaccionar, es decir debe mantenerse en estado inactivo.

8 bits de información: XXXX XXXX.

2.2.2 Tiempo

Tiempo por bit

DALI trabaja a una velocidad de **1200 bits/s** por lo que:

$$T = \frac{1}{F} \quad (2.1)$$

$$T = \frac{1}{1200} = 833.33 \mu s$$

Como en este protocolo un bit esta compuesto por una parte en estado bajo y otra en alto, la duración de estos estados (medio bit) sería:

$$T_e = \frac{1}{2 \cdot 1200} = 416.67 \mu s$$

Según el protocolo se deben cumplir las siguientes condiciones (figura 2.7):

$$t_{MAX} < 500 \mu s \ \&\& \ t_{MIN} > 334 \mu s$$

7 V midiendo desde el transmisor y 8 V desde el receptor.

5 V midiendo desde el transmisor y 7 V desde el receptor.

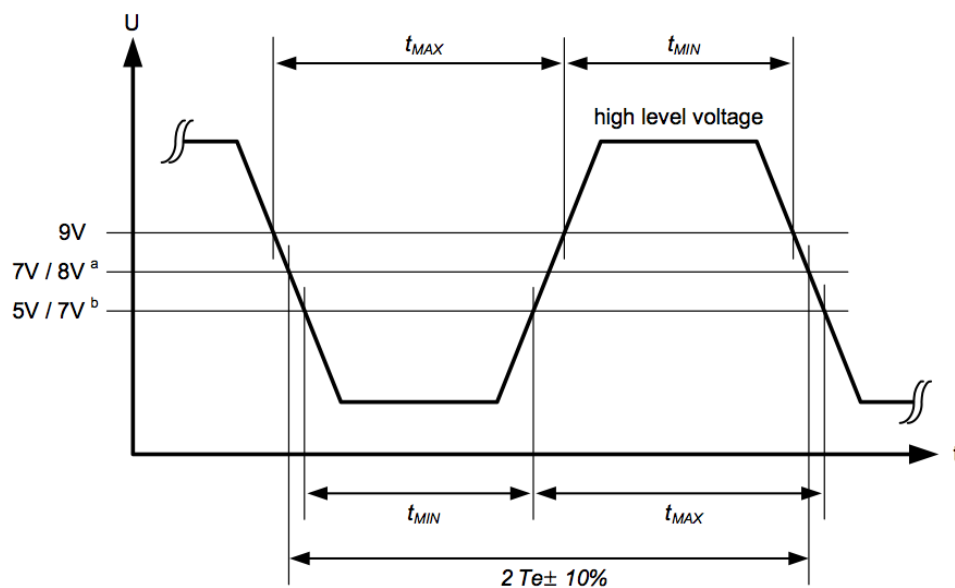


Fig. 2.7 "1" en código bifase. [24]

Tiempo de trama de envío y respuesta

Una trama de envío consta de 19 bits:

1 bit dura $2 * T_e$, por lo que 19 constarían de $38 * T_e$ (figuras 2.8, 2.9).

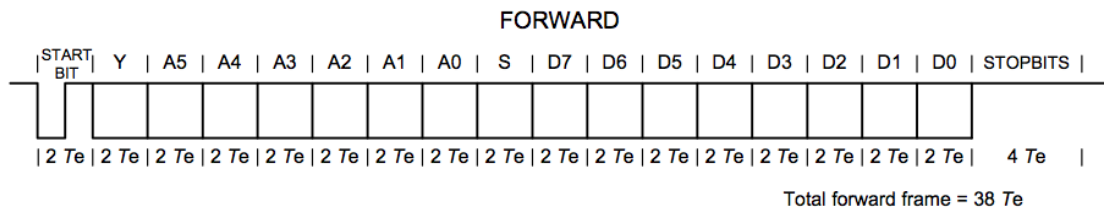


Fig. 2.8 Trama de envío. [24]

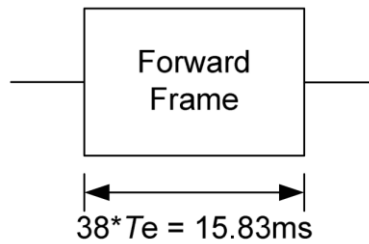


Fig. 2.9 Tiempo de trama de envío. [24]

Una trama de respuesta consta de 11 bits, por lo tanto toda la trama de respuesta dura 22 veces T_e (figuras 2.10, 2.11).

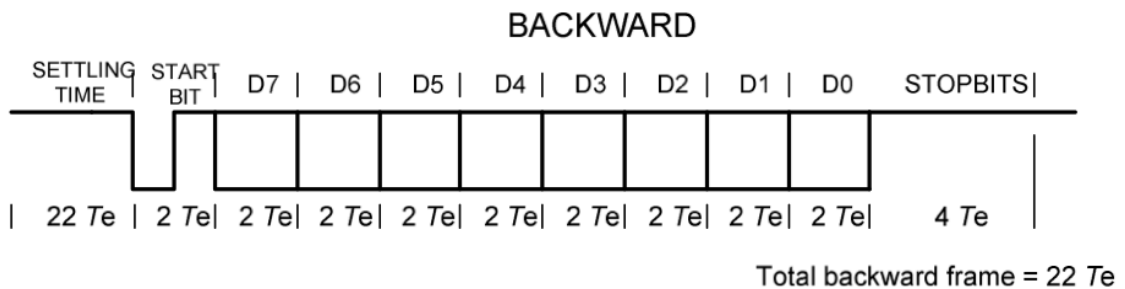


Fig. 2.10 Trama de respuesta. [24]

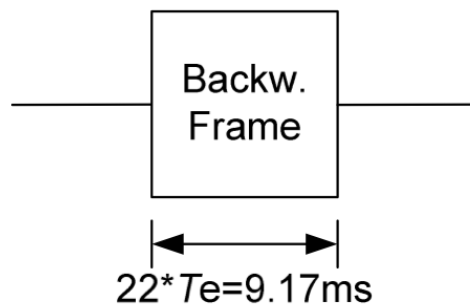


Fig. 2.11 Tiempo de trama de respuesta. [24]

Tiempo entre tramas

El tiempo entre tramas se considera a partir de los *stopbits* de una hasta el *start bit* del siguiente, considerando esto:

- El tiempo entre dos tramas de envío debe ser de por lo menos $22 T_e$.
- El tiempo entre una trama de envío y una de respuesta debe ser de $7 T_e$ a $22 T_e$.
- El tiempo entre una trama de respuesta y una de envío debe ser de por lo menos $22 T_e$.

A continuación, en la figura 2.12, se muestran estos tres puntos.

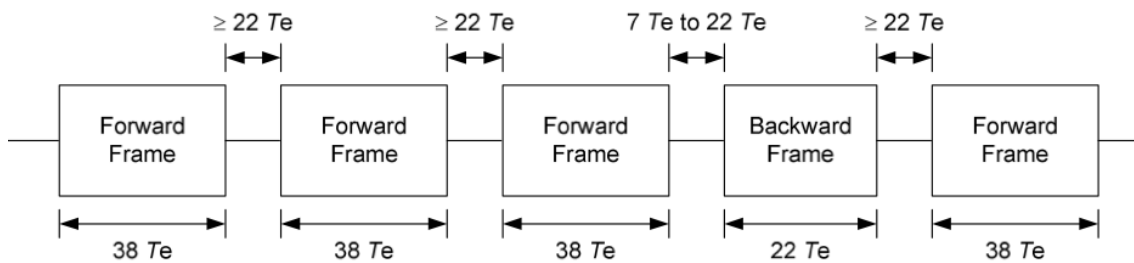


Fig. 2.12 Secuencia de tramas. [24]

Consideremos el tiempo de estabilización como el tiempo entre el último flanco de subida de una trama hasta el primer flanco de bajada de la siguiente. Se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- El tiempo de estabilización entre dos tramas de envío consecutivas deberá durar al menos $27 T_e$.
- El tiempo de estabilización entre una trama de envío y una de respuesta deberá durar de $11 T_e$ a $27 T_e$ (figura 2.13).
- El tiempo de estabilización entre una trama de respuesta y una de envío deberá durar por lo menos $27 T_e$ (figura 2.14).

El receptor deberá esperar entonces $27 T_e + 10\%$ por una respuesta, si no recibe nada, se tomará esto como un "no".

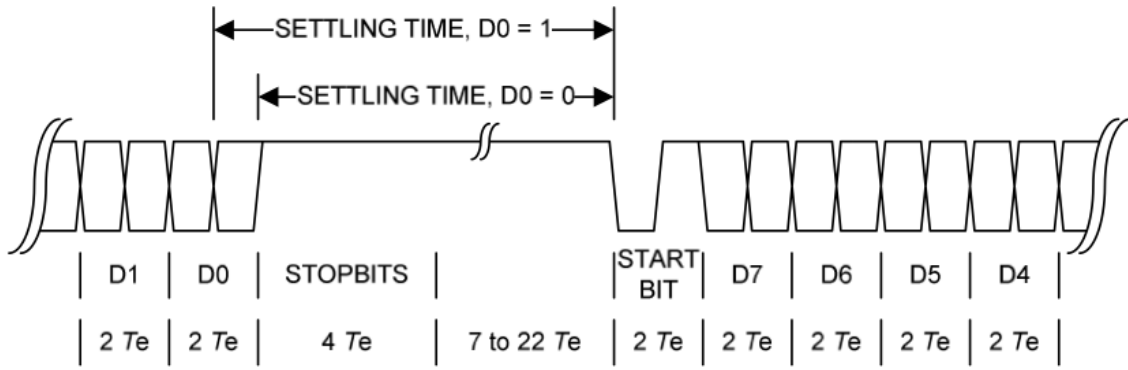


Fig. 2.13 Transición entre una trama de envío a una de respuesta. [24]

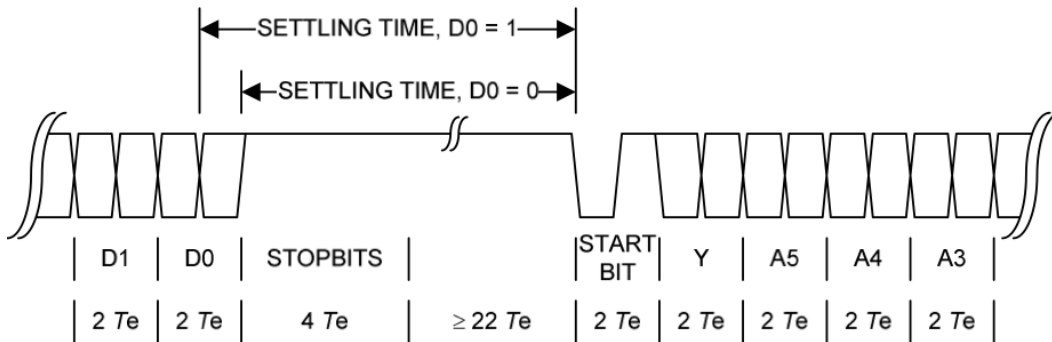


Fig. 2.14 Transición entre una trama de respuesta a una de envío. [24]

2.2.3 Método de operación

Curva logarítmica de regulación

DALI provee de 256 niveles distintos de luminosidad entre el apagado y el 100% representados de manera logarítmica. Esto provoca que los incrementos o decrementos de nivel más cercanos a la brillantez máxima sean grandes y los cercanos al estado de apagado sean chicos. Esto se implementó así de tal forma que el ojo humano percibiera un cambio lineal.

La curva logarítmica (figura 2.15) desde 0.1% hasta 100% se define mediante la siguiente fórmula:

$$X(n) = 10^{\frac{n-1}{253/3}-1} \quad (2.2)$$

$$\left| \frac{X(n)-X(n+1)}{X(n)} \right| = \text{constante} = 2.8\% \quad (2.3)$$

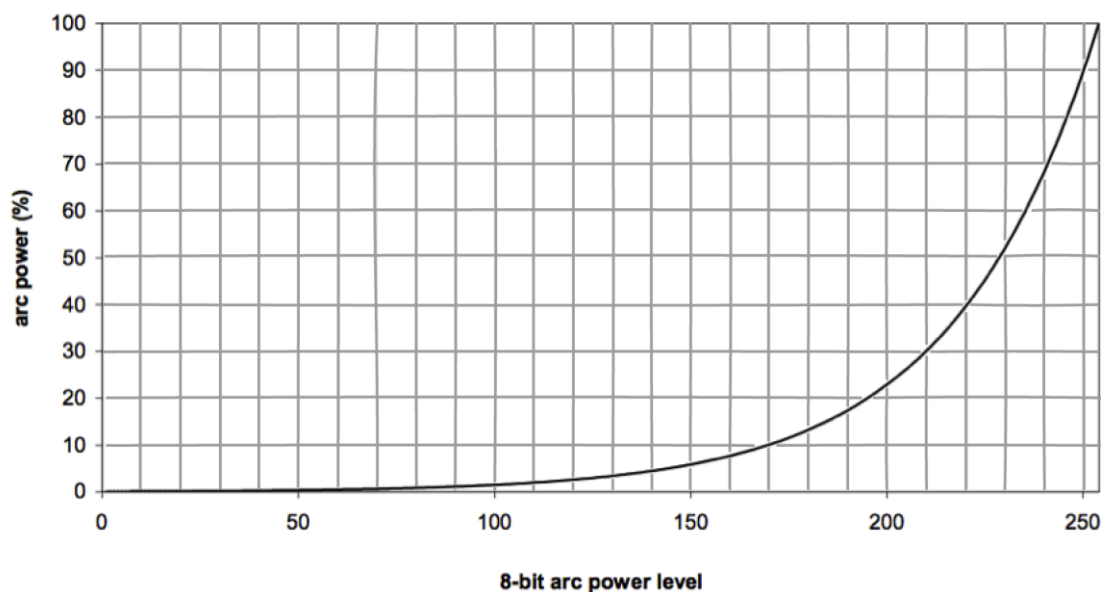


Fig. 2.15 Curva logarítmica de regulación de luz. [24]

La tabla 2.1 (anexo A) muestra el porcentaje de iluminación por cada nivel de intensidad.

Fallo de sistema

Si el sistema permanece en nivel bajo durante más de 500 *ms* se tendrá que leer el valor de la variable “SYSTEM FAILURE LEVEL”. Si contiene el valor de 255 (MASK) no deberá haber cambio, por el contrario, el nivel de intensidad deberá tomar este valor sin desvanecimiento.

Niveles máximo y mínimo de operación

DALI maneja un nivel máximo y mínimo de intensidad de luz a la que puede llegar el ECG, los cuales son programados por el usuario. Si se programa el nivel máximo por debajo o el nivel mínimo por arriba del nivel de intensidad de luz actual, el nivel actual tendrá que tomar el valor del nuevo nivel mínimo o máximo sin desvanecimiento.

Los niveles de 0 (apagado) y 255 (MASK) no se verán afectados por los niveles mínimo o máximo.

Tiempo y tasa de desvanecimiento

El tiempo de desvanecimiento es el tiempo en segundos que tomará en cambiar de un nivel de luminosidad a otro. Por ejemplo, si la lámpara se encuentra en el nivel 180 y se requiere cambiar a 100 con un factor de tiempo de desvanecimiento de 7, (consultar tabla 2.2, anexo A) le tomaría 5.7 segundos en llegar al nivel deseado. Si se quisiera cambiar del nivel 180 al 170 le tomaría el mismo tiempo alcanzar ese valor.

La tasa de desvanecimiento se refiere a la cantidad de pasos por segundo a la que cambia el nivel de luminosidad. Ésta se utiliza en comandos que requieren incrementar o decrementar la luminosidad sin especificar el nivel al que se quiere llegar. Consultar la tabla 2.1 anexo A y los comandos UP y DOWN del anexo B para mayor información.

Los comandos que se refieran al control de intensidad de luz y se reciban durante el proceso de desvanecimiento, deberán interrumpirlo y ejecutarse.

Si un ECG requiere ser apagada, los pasos ente el nivel mínimo y el nivel de apagado se tomarán en cuenta para el cálculo del tiempo de desvanecimiento.

2.3 Especificaciones eléctricas

La norma internacional IEC 62386-101 [25] describe las especificaciones eléctricas que los sistemas DALI deben seguir.

La interfaz DALI se compone de dos cables por los cuales se transmitirá toda la información entre el controlador y los ECGs. Todos los dispositivos que conforman el sistema deben de estar conectados por dos terminales a este bus de datos el cual puede estar alimentado por el controlador principal o por una fuente externa. La norma nos dice que todo elemento conectado a esta interfaz deberá de ser insensible a la polaridad lo que significa que el bus debe funcionar sin importar el orden en que se conecten los cables.

Para mantener la interfaz en estado inactivo (alto) el voltaje entre las dos terminales de la interfaz no debe ser menor a 9.5 V ni mayor a 22.5 V aunque el nivel de voltaje nominal en alto es de 16 V. Para el estado activo (bajo) el voltaje entre las dos terminales de la interfaz puede ir de -6.5 V a 6.5 V teniendo como voltaje nominal 0 V. Un voltaje entre 6.5 V y 9.5 V entre las terminales no está definido.

Los nivel antes mencionados son específicamente para poder considerar la condición del estado de la señal, sin embargo, el dispositivo que se encuentre transmitiendo datos debe de mantener el nivel activo entre -4.5 V y 4.5 V y el nivel inactivo entre 11.5 V y 20.5 V.

La razón de esta diferencia de niveles entre la transmisión y recepción de datos se debe a que en ocasiones, debido a la longitud del cable y su resistencia eléctrica el voltaje cambia de un dispositivo a otro y está establecido que el voltaje nunca debe diferir por más de 2 V.

Es necesario que la fuente de interfaz DALI, en circuito abierto, mantenga un voltaje constante entre 11.5 V y 20.5 V.

Lo explicado anteriormente se observa en la figura 2.16.

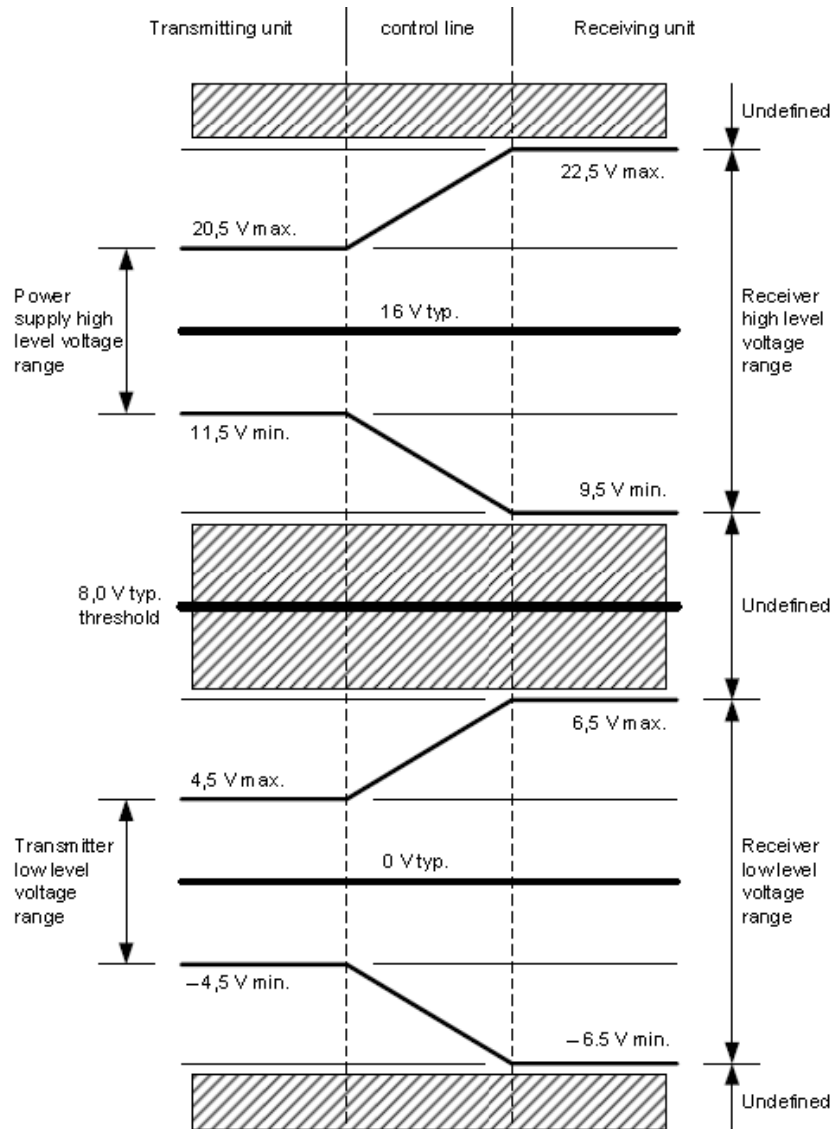


Fig. 2.16 Niveles de voltaje. [25]

Por otra parte, cada elemento conectado a la interfaz debe de ser capaz de drenar hasta 250 mA a 22.5 V. En el estado inactivo ningún ECG debe consumir más de 2mA. Esto no aplica para el controlador principal.

La fuente de interfaz DALI de ser capaz de suministrar un máximo de 250 mA en todo momento y no debe de bajar de 8 mA. Debe ser capaz de proporcionar 2 mA por cada

ECG además de la corriente necesaria para alimentar otros dispositivos de control sin que el voltaje de la fuente baje más de 11.5 V.

Si más de una fuente de interfaz DALI está conectada al sistema, la corriente total no debe exceder los 250 mA.

La figura 2.17 demuestra lo explicado.

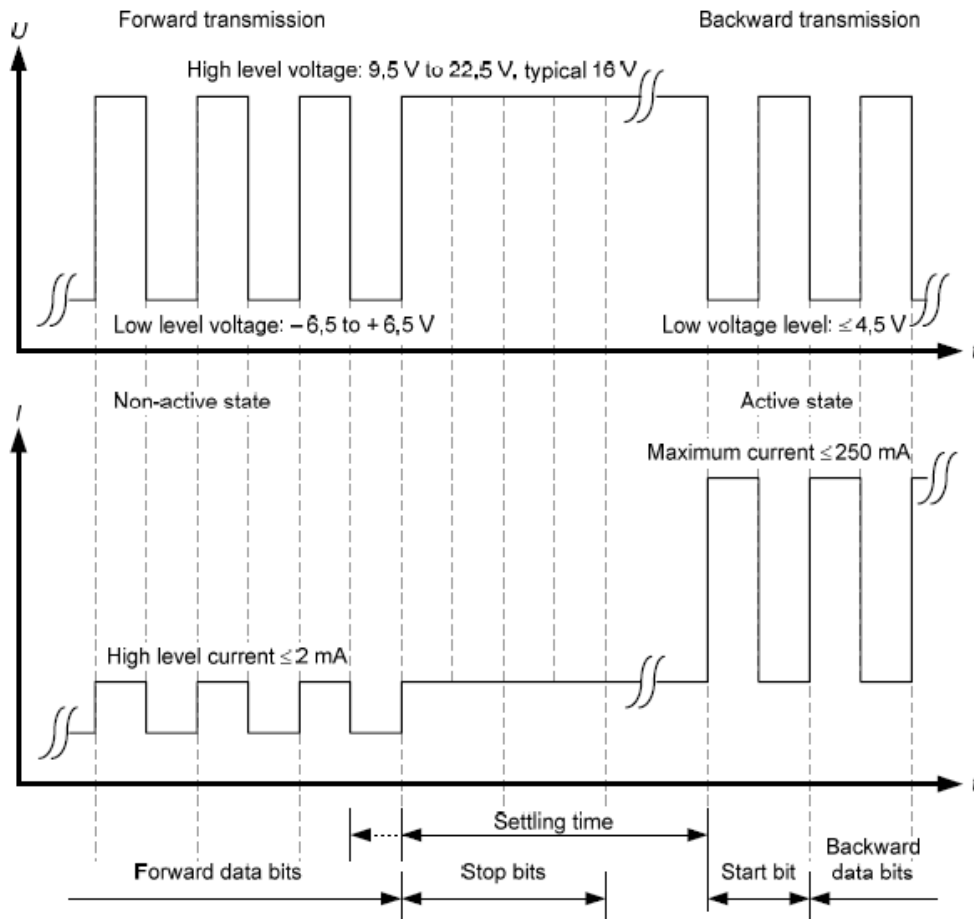


Fig. 2.17 Niveles de corriente y voltaje para las tramas de envío y respuesta. [25]

Se debe buscar que los pulsos de la señal tengan una pendiente, tanto de subida como de bajada, mayor a 10 μ s y menor a 100 μ s en la interface de control (figura 2.18).

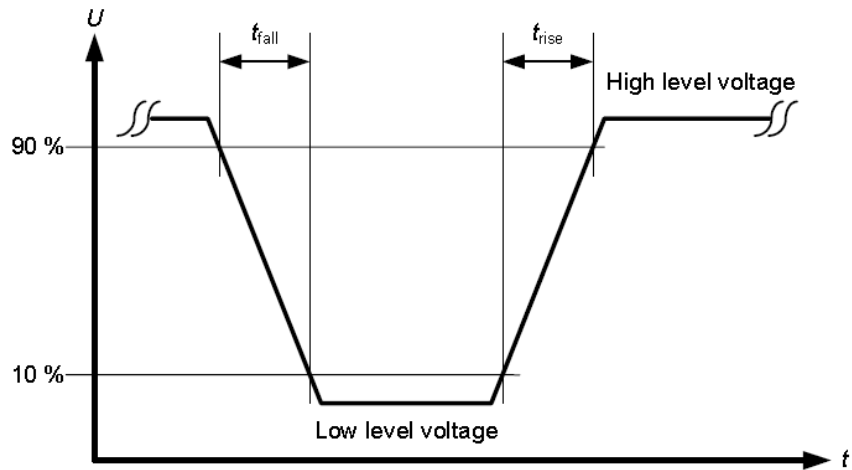


Fig. 2.18 Tiempo de levantamiento y caída en la interfaz de control. [25]

A continuación se muestran las especificaciones que debe cumplir el protocolo en forma de tabla.

Tabla 2.4 Tabla de especificaciones técnicas y eléctricas.

Descripción	Especificación
Duración de un T_e	$T_e = 416.67 \pm 10\%$
Limite para t_{MAX}	$t_{MAX} < 500 \mu s$
Limite para t_{MIN}	$t_{MIN} < 334 \mu s$
Duración de una trama de envío	$38 * T_e = 15.83 ms$
Duración de una trama de respuesta	$22 * T_e = 9.17 ms$
Tiempo entre una de envío y una de respuesta	$7 T_e - 22 T_e$
Tiempo entre dos tramas de envío	$\geq 22 T_e$
Tiempo máximo para comandos de doble envío	$100 ms + 10\%$
Tiempo de levantamiento	$> 10 \mu s$ y $< 100 \mu s$
Tiempo de caída	$> 10 \mu s$ y $< 100 \mu s$
Nivel de voltaje en estado activo	$-6.5 V - 6.5 V$
Nivel de voltaje en estado inactivo	$9.5 V - 22.5 V$
Capacidad de drenado de corriente del controlador principal en estado activo	$250 mA$
Capacidad de drenado de corriente de un ECG en estado inactivo	$2 mA$
Capacidad de drenado de corriente de un ECG en estado activo	$250 mA$
Corriente mínima suministrada por la fuente de interfaz DALI	$8 mA$
Corriente máxima suministrada por la fuente de interfaz DALI	$250 mA$

2.4 Comandos

A continuación se muestra la lista de comandos que son parte del protocolo DALI. Se compone únicamente de los utilizados en este proyecto. Para la descripción de cada

uno por favor consultar el anexo B. Consulte el estándar “Digital addressable lighting interface - Part 102: General Requirements” [12] para consultar los comandos no mencionados.

Tabla 2.5 Tabla de comandos

Número de comando	Código del comando	Nombre del comando
-	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	YAAA AAA1 0000 1001	ENABLE DAPC SEQUENCE
16 – 31	YAAA AAA1 0001 XXXX	GO TO SCENE
32	YAAA AAA1 0010 0000	RESET
33	YAAA AAA1 0010 0001	STORE THE ACTUAL LEVEL IN THE DTR
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 TME
47	YAAA AAA1 0010 1111	STORE THE DTR AS FADE RATE
64 – 79	YAAA AAA1 0100 XXXX	STORE THE DTR AS SCENE
80 – 95	YAAA AAA1 0101 XXXX	REMOVE FORM 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
144	YAAA AAA1 1001 0000	QUERY STATUS
145	YAAA AAA1 1001 0001	QUERY CONTROL GEAR
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 MIN LEVEL
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
176 – 191	YAAA AAA1 1011 XXXX	QUERY SCENE LEVEL (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 HIGH
195	YAAA AAA1 1100 0011	QUERY RANDOM ADDRESS MEDIUM
196	YAAA AAA1 1100 0100	QUERY RANDOM ADDRESS LOW
256	1010 0001 0000 0000	TERMINATE

Número de comando	Código del comando	Nombre del comando
257	1010 0011 XXXX XXXX	DATA TRANSFER REGISTER
258	1010 0101 XXXX XXXX	INITIALISE
259	1010 0111 0000 0000	RANDOMISE
260	1010 1001 0000 0000	COMPARE
261	1010 1011 0000 0000	WITHDRAW
264	1011 0001 HHHH HHHH	SEARCH ADDRH
265	1011 0011 MMMM MMMM	SEARCH ADDR M
266	1011 0101 LLLL LLLL	SEARCH ADDR L
267	1011 0111 0AAA AAA1	PROGRAM SHORT ADDRESS
268	1011 1001 0AAA AAA1	VERIFY SHORT ADDRESS
269	1011 1011 0000 0000	QUERY SHORT ADDRESS

Capítulo 3

Desarrollo del sistema

Cada dispositivo electrónico del sistema implementado en este proyecto, exceptuando la fuente de interfaz DALI, consta de 3 módulos: etapa lógica, circuitos periféricos y etapa de potencia.

Para su explicación y desarrollo se utilizará un formato de entradas y salidas (figura 3.1). En el diagrama están representados con cuadros los módulos en los que está dividido el circuito, mientras que las letras (R, E, S, G, P, y Q) simbolizan grupos de señales que salen de un módulo y entran a otro.

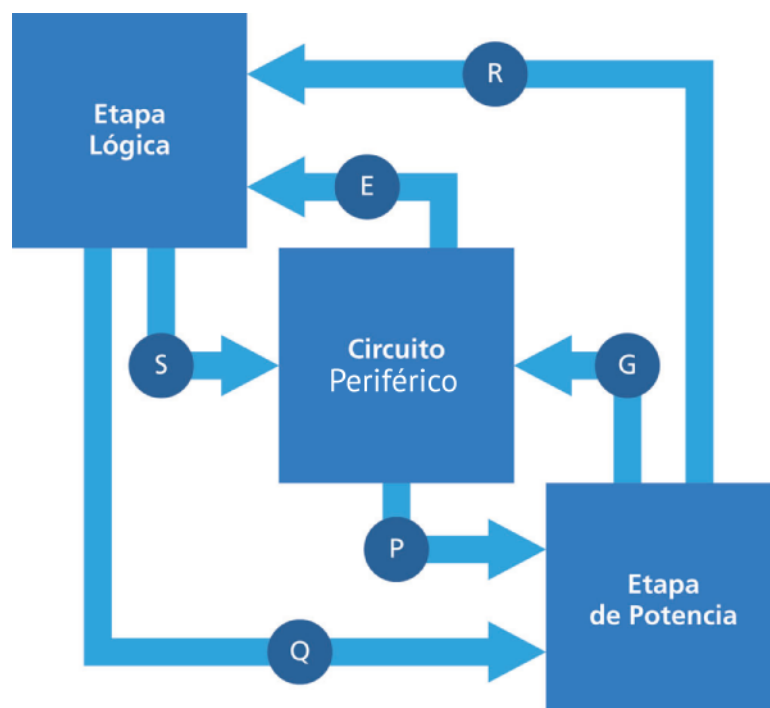


Fig. 3.1 Diagrama de entradas y salidas

3.1 Controlador principal

3.1.1 Etapa lógica

Consiste en el conjunto de dispositivos electrónicos, conectados entre sí, encargados de procesar la información proporcionada por el usuario y a partir de ella, tomar las decisiones y acciones pertinentes. El principal elemento de esta etapa es el microcontrolador PIC18F4520 (figura 3.2) [30]. Está programado de acuerdo a las especificaciones del protocolo DALI [12].

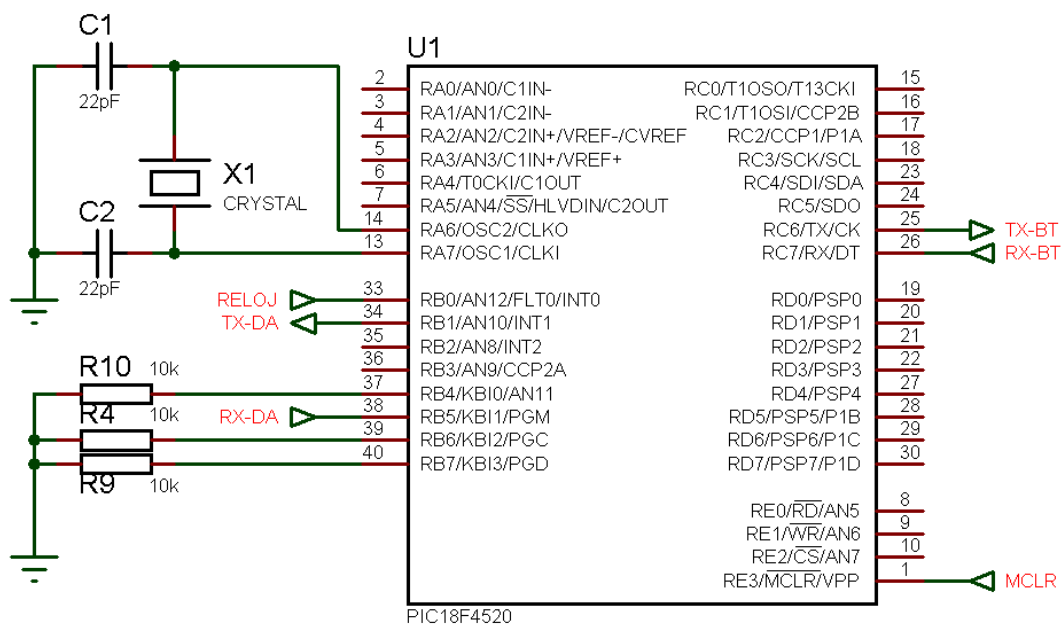


Fig. 3.2 Etapa lógica del controlador principal.

Las señales involucradas en el circuito lógico se describen a continuación:

MCLR. Cuando esta señal se encuentra en un estado lógico bajo, el programa del microcontrolador es reiniciado.

TX-BT. Señal por la cual se envían los datos por comunicación serial al dispositivo periférico Bluetooth.

RX-BT. Señal por la cual se reciben los datos de comunicación serial provenientes del módulo Bluetooth.

RELOJ. Es una señal cuadrada de 1.2 kHz. Tiene la finalidad de establecer la velocidad de transmisión DALI.

TX-DA (Transmisión DALI). Es la señal que lleva los bits de información, en código Manchester, del microcontrolador a la etapa de potencia. Transmite las direcciones y comandos que se desean transmitir.

RX-DA (Recepción DALI). Señal proveniente de la etapa de potencia que contiene los mensajes provenientes de los dispositivos conectados al sistema. Por medio de esta señal el microcontrolador recibe las tramas de datos.

Herramientas utilizadas del PIC18F4520 como controlador:

Timer 1:

- Medición de la duración de flancos de subida y bajada de la trama de datos para decodificar el código bifase.
- Lectura de los *stopbits*.
- Medición del tiempo entre tramas.

Interrupción externa: Es activada por la señal RELOJ cada $417\mu s$. Al interrumpirse, el nivel lógico del pin RB1 es actualizado para crear así la trama de envío.

Interrupción por puerto RB (RB5): Se encarga de la recepción de datos DALI midiendo el tiempo transcurrido entre cada interrupción para considerar si se trata de un 1 o un 0 lógico.

Interrupción por RDA: Por medio de la comunicación serial del módulo EUSART recibe las instrucciones que el usuario estableció dentro de la interfaz gráfica. Consultar el diagrama del *anexo c, Interrupción por RDA*.

Transmisión de datos

La señal de reloj va conectada al pin RB0. El PIC18F4520 tiene, entre otras cosas, la capacidad de interrumpirse cada vez que el estado en ese pin cambia (INT_EXT). La interrupción externa puede programarse en flanco de subida, se interrumpe cuando cambia de estado bajo a alto, o flanco de bajada en el cual existe una interrupción cuando pasa de un estado alto a uno bajo.

Una vez que el controlador está listo para mandar los bits de información procede a hacer la siguiente rutina:

1. Se habilita la interrupción externa por flanco de subida.

2. Se interrumpe por flanco de subida.
3. Se cambia la condición de la interrupción a flanco de bajada.
4. Se define el bit a mandar. En el protocolo DALI el primer bit a mandar es el bit de inicio y siempre es 1. Posteriormente se mandan los bytes de dirección y de datos empezando por el bit más significativo.
5. Se realiza la operación XOR del nivel lógico de la señal reloj con el valor lógico del bit a mandar y el resultado es asignado al pin de salida TX-DA.
6. Se interrumpe por flanco de bajada.
7. Se cambia la condición de la interrupción a flanco de subida.
8. Se realiza la operación XOR y se actualiza la salida TX-DA.
9. Se repiten los pasos anteriores a partir del segundo hasta terminar de mandar todos los bits.
10. Se envían los stopbits. Éstos no son de tipo Manchester por lo que no se mandan siguiendo este algoritmo. Para enviarlos basta con esperar el tiempo adecuado en nivel lógico alto ($4 T_e$).

En la figura 3.3 se muestra un ejemplo de la operación XOR que se da entre el reloj y la secuencia de datos para crear así la señal Manchester.

Siguiendo esta metodología podemos darnos cuenta que el bit a mandar cambia cada vez que el microcontrolador se interrumpe por un flanco de subida en INT EXT, es decir, los flancos de subida marcan el inicio de la primera mitad de los bits del código Manchester y los de bajada marcan el inicio de la segunda mitad.

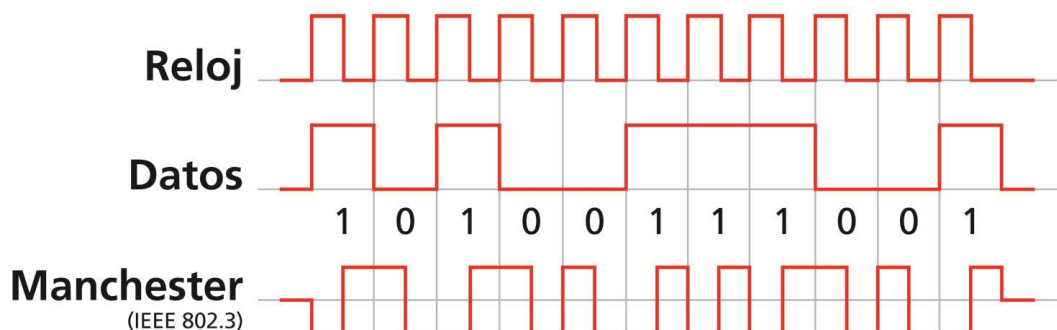


Fig. 3.3 Código Manchester IEEE 802.3 [31]

10. Si es requerido, se envía nuevamente la información.

11. Una vez mandada la trama de envío se esperarán por lo menos $22 T_e$ como un rango de tiempo para recibir alguna respuesta.

12. Si se recibe alguna trama pasando este tiempo, no se analizará la información recibida.

Para una mejor comprensión del funcionamiento de este proceso se recomienda consultar los diagramas del *anexo c, Interrupción Externa* (pasos 1 a 9) y *Secuencia Principal del Controlador* (pasos 10, 11 y 12).

Direccionamiento

Para asignar las direcciones a cada ECG se tiene que realizar el siguiente algoritmo:

1. Se manda el comando "INITIALISE". Lo utilizamos para iniciar el proceso de direccionamiento (15 minutos máximo, por lo que se inicializa el RTC). Hay que recordar que se manda por segunda vez en menos de 100 ms. Si es la primera vez que se ejecuta podemos utilizar MASK ya que ningún ECG contiene alguna dirección.

2. Se manda el comando "RANDOMISE". Esta instrucción ordena al receptor crear un número aleatorio. Utilizaremos el número 5,000,000 como ejemplo. Esta instrucción también se manda por segunda vez.

3. Se manda la instrucción "ADDRESSING". Esta instrucción no existe en la lista de comandos DALI, pero se creó para indicar el inicio de la asignación automática de direcciones. Para esto se utilizará el método de bisección.

4. Se requiere mandar el SEARCH ADDRESS (tabla 2.3, anexo A). Al inicio se mandará 8,388,607 ya que es la mitad del máximo número posible. Debido a que éste número consta de 24 bits no se puede mandar dentro de un mismo comando por lo que se divide en 3 bytes (SEARCHADDRH, SEARCHADDRM, SEARCHADDRL).

5. Una vez mandados los tres comandos de SEARCH ADDRESS se procede a mandar el comando "COMPARE". En esta instrucción el receptor toma el SEARCH ADDRESS y lo compara con el RANDOM ADDRESS. Si el número aleatorio es menor o igual, este responderá un "sí", de lo contrario un "no".

6. Dependiendo de la respuesta dependerá la operación. En este ejemplo 5,000,000 es menor, por lo que descartamos los valores superiores a 8,388,607 (50% de los valores). Ahora sabemos que el valor a encontrar se encuentra dentro de un rango

menor (0 - 8,388,607) y procedemos a mandar el valor intermedio (4,194,303) para así nuevamente poder descartar el 50% de nuestro nuevo rango.

7. Se repiten los pasos 4 y 5. En la segunda iteración el RANDOM ADDRESS sería mayor por lo que nuestro nuevo rango sería del número 4,194,303 al 8,388,607.

8. Se repiten los pasos 4, 5 y 6 hasta que el RANDOM y SEARCH ADDRESS sean el mismo.

Para los puntos 4,5 y 6 consultar el *anexo c, Envío de SEARCH ADDRESSES*.

9. Se manda el comando "PROGAM SHORT ADDRESS". Por medio de este comando se le envía al ECG su dirección. La primera empezará con 0.

10. Se envía "VERIFY SHORT ADDRESS". Por medio de ésta verificamos si el ECG asignó correctamente su dirección.

11. Se envía "WITHDRAW" para que el ECG no haga ninguna comparación si ya tiene una dirección asignada.

12. Se envían "RECALL MIN LEVEL" y "RECALL MAX LEVEL" para físicamente indicar al usuario que se le asignó una dirección al ECG.

13. Se repiten los pasos desde el punto número 4 hasta que no haya ninguna respuesta, indicando que no hay más ECGs por asignarles dirección.

14. Se envía el comando "TERMINATE" indicando el fin del direccionamiento omitiendo ya los pasos del 9 en adelante.

*Nota. Se creó una instrucción llamada IRA, que engloba las instrucciones INITIALISE (se dirige a todos los ECGs con o sin dirección), RANDOMISE y ADDRESSING.

La recepción de datos será explicada en la etapa lógica del ECG ya que la única variación es el número de bits recibidos.

3.1.2 Circuito periférico

Forman parte de esta sección todos aquellos circuitos que ayudan a que el controlador realice sus funciones. En el caso del Controlador Principal se encuentran el PIC12F629 [32], el módulo Bluetooth, el circuito responsable de la señal MCLR y el LED que indica si el dispositivo está encendido (figura 3.4).

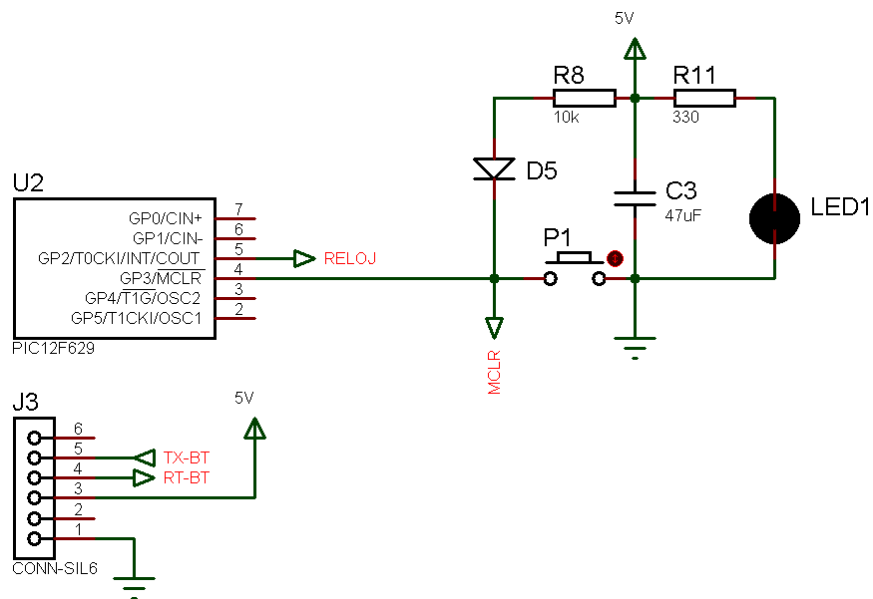


Fig. 3.4 Circuitos periféricos del controlador principal

Las señales involucradas son las siguientes:

MCLR. Es una señal normalmente en alto. Al momento de presionar el botón el voltaje en ese nodo cae y el programa tanto del PIC12F629 como del PIC18F4520 es reiniciado.

RELOJ. Señal cuadrada producida por el PIC12F629. Esta señal es generada a partir de conmutar el estado de salida del pin GP2 cada 417us (medio periodo).

Consultar anexo c, Secuencia del PIC12F629

TX-BT. Señal por la cual se transmiten los datos al módulo *bluetooth*.

RX-BT. Es la señal por la cual se reciben los datos provenientes del módulo *bluetooth*.

*Se utilizó el Bluetooth Modem – BlueSMIRF Gold WRL-10268 (figura 3.5) [33] para la comunicación serial entre la interfaz gráfica y el microcontrolador.



Fig. 3.5 Dispositivo Bluetooth [33]

3.1.3 Etapa de potencia

Es la encargada de transformar las señales lógicas, provenientes del circuito lógico, a señales con nivel de voltaje adecuado para poder ser transmitidas por el bus de datos (Interfaz DALI). Cuenta con opto acopladores y mosfets que permiten invertir las señales (figura 3.6).

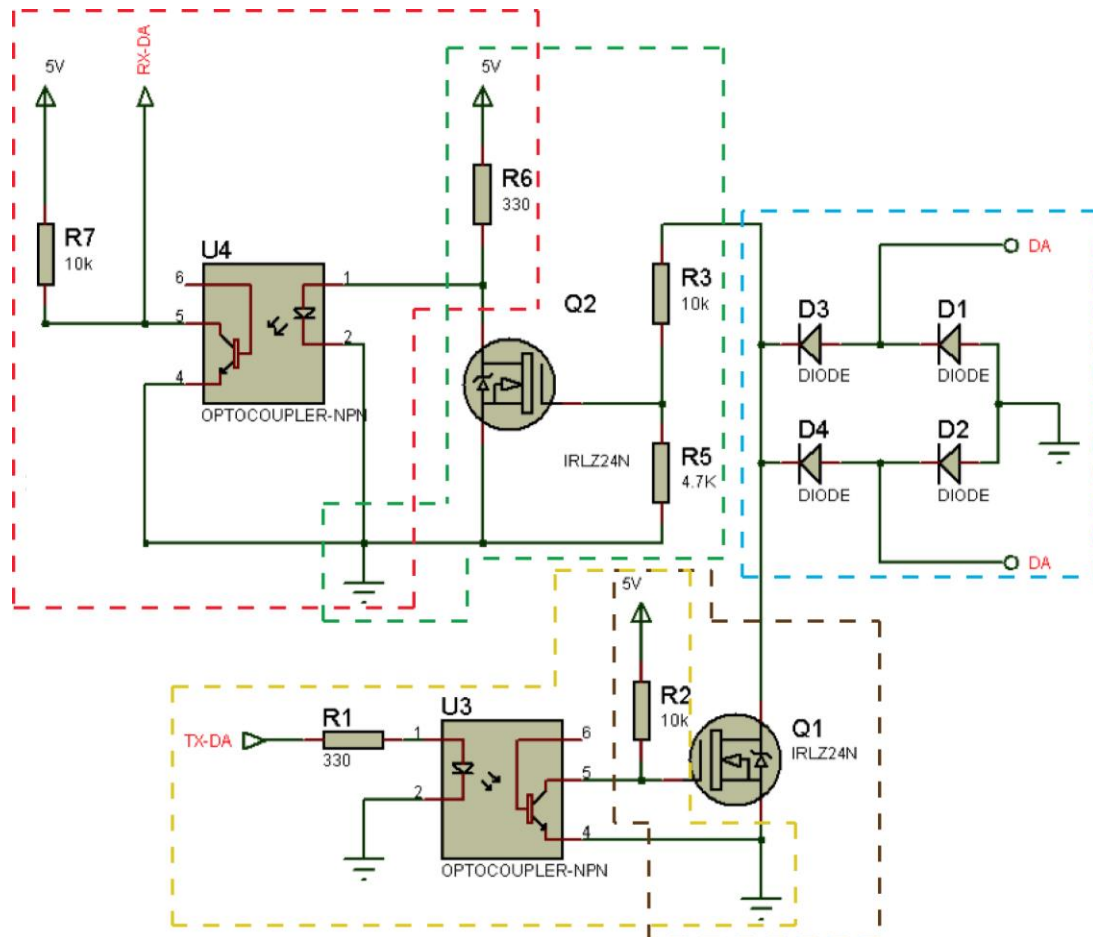


Fig. 3.6 Etapa de potencia.

DA. Par de líneas por donde viajan los datos. Su nivel nominal de voltaje en estado inactivo es 16V o -16V mientras que en estado activo es 0V. Ambas tierras son interconectadas posteriormente al pasar por el puente de diodos. (Consultar capítulo 4.8 Compatibilidad y Trabajo a futuro)

TX-DA. Proviene directamente del microcontrolador y contiene los datos a mandar. Es una señal normalmente en alto (5 V).

Supongamos un estado en alto en la terminal TX-DA. Este voltaje crea una corriente limitada por la resistencia R1, encendiendo el fotoemisor dentro del optoacoplador U3. Este efecto provoca que el fototransistor interior se cierre y permita el paso de

corriente (de la fuente de 5 V a tierra) limitada por la resistencia R2. Al ocurrir esto, el voltaje en la compuerta del MOSFET Q1 IRLZ24N [34] [35] es nulo logrando que se abra el circuito y causando que el voltaje en el drenador se mantenga en alto. Como se acaba de comprobar, un estado en alto en TX-DA (5 V) determina un estado en alto en el drenador del MOSFET y por lo mismo, en DA (16 V). Si, por el contrario, suponemos un estado en bajo en TX-DA obtenemos un optoacoplador abierto, la compuerta del MOSFET en alto, circuito drenador-surtidor cerrado, y un voltaje DA en bajo.

RX-DA. Representa la señal de entrada que tiene el microcontrolador mediante la cual se reciben los datos.

El estado en alto en DA (16 V) provoca que en el nodo R3-R5-Gate exista un voltaje de aproximadamente $DA/3$ debido al divisor de voltaje ahí involucrado. Dicho voltaje activa la compuerta del MOSFET provocando que el circuito drenador-surtidor se cierre y la corriente deje de fluir por el fotoemisor del optoacoplador U4. En consecuencia, el fototransistor se abre y el nivel del voltaje de RX-DA es alto (5 V). A continuación se realiza el cálculo de las corrientes y voltajes involucrados en cada dispositivo electrónico.

Para explicar el circuito se dividió en cinco partes dependiendo de los estados en que se encuentran sus componentes al momento de una transmisión o recepción de datos.

Puente de diodos

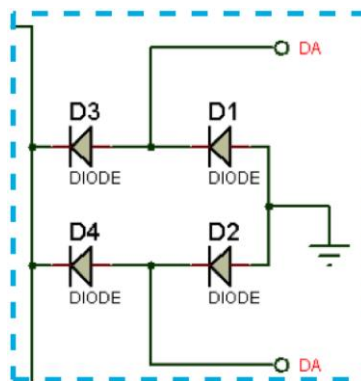


Fig. 3.7 Puente de diodos

La señal DA puede venir con polaridad positiva o negativa, dependiendo de cómo se conecte el dispositivo a la interfaz de datos (figura 3.7).

Debido a que el estándar IEC 62386-101 establece que los dispositivos DALI deben ser insensibles a la polaridad se implementó un puente de diodos cuya finalidad es

rectificar la señal DALI para que a la salida del puente siempre se tenga un voltaje positivo con respecto a la tierra del dispositivo electrónico. Similar a la forma en que se rectifica una señal alterna. Dependiendo del orden de los cables se podrían tener dos circuitos equivalentes (figura 3.8 y figura 3.9):

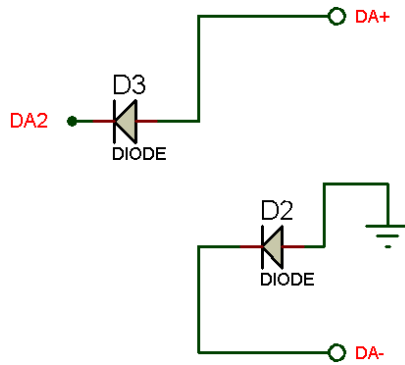


Fig. 3.8 Circuito equivalente con polarización A.

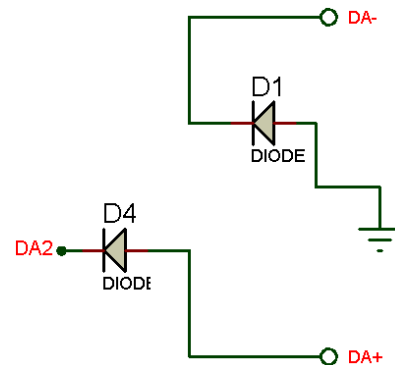


Fig. 3.9 Circuito equivalente con polarización B.

Dónde:

DA+. Polo positivo de la interfaz DALI

DA-. Polo negativo de la interfaz DALI

DA2. Señal DA después del puente de diodos (siempre positiva respecto a la tierra del dispositivo electrónico)

Los diodos son del tipo IN5818 [36] y de acuerdo a su hoja de especificaciones, la caída de voltaje por cada uno es de 0.55V por lo que a la salida del diodo D3 y D4 obtenemos:

$$DA2 = 16 V - 2 * 0.55 V$$

$$DA2 = 14.9 V$$

Sección de transmisión

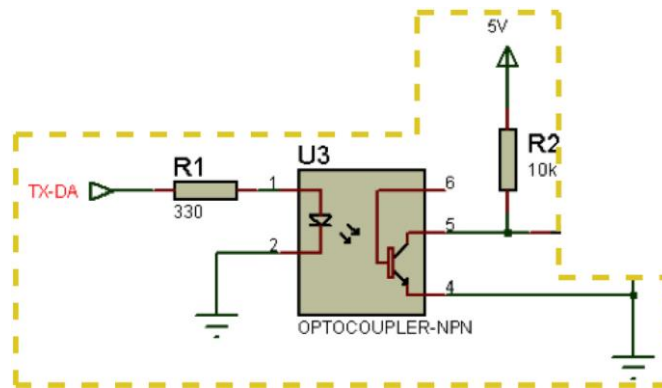


Fig. 3.10 Optoacoplador 4N25 con TX-DA como señal de entrada

Se utilizó un optoacoplador 4N25 (figura 3.10). La hoja de especificaciones [37] nos muestra que la corriente máxima permitida en el diodo es de 60mA sin embargo se buscó manejar una corriente de 10 mA debido a que es utilizada como condición para determinar la caída de tensión por polarización directa.

Tenemos el siguiente caso:

$$V_F = 1.15 V$$

$$I_F = 10 mA$$

Por lo que la resistencia necesaria para limitar la corriente está dada por:

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} \quad (3.1)$$

$$R_1 = \frac{5 V - 1.15 V}{0.01 A}$$

$$R_1 = 385 \Omega$$

El valor comercial más cercano a este resultado es de 330 Ω y, aunque es una resistencia menor a lo esperado, su valor no es crucial porque la corriente manejada por esta resistencia está dentro de los parámetros permitidos.

$$I_{R1} = \frac{V_{CC} - V_F}{R_1} \quad (3.2)$$

$$I_{R1} = \frac{5 V - 1.5 V}{330 \Omega}$$

$$I_{R1} = 10.6 mA$$

El fototransistor, por su parte, tiene como corriente máxima de colector 100 mA, sin embargo debido a que sólo buscamos que funcione como interruptor, utilizando la menor corriente posible cuando se cierre el circuito, se colocó una resistencia de 10 kΩ. Al cerrar el circuito la corriente de colector es:

$$I_{R2} = \frac{V_{CC}}{R_2} \quad (3.3)$$

$$I_{R2} = \frac{5 V}{10000 \Omega}$$

$$I_{R2} = 0.5 mA$$

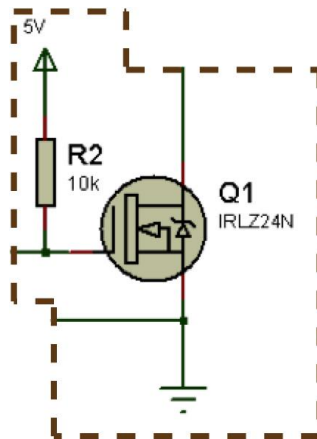


Fig. 3.11 Circuito equivalente cuando el optoacoplador está desactivado.

Como se observa en la figura 3.11, la resistencia R_2 también forma parte del circuito del HEXFET. Cuando el fototransistor se encuentra abierto, el voltaje en el nodo R_2 -Compuerta, es igual a 5V debido a la gran impedancia que representan, tanto el circuito abierto del fototransistor, como el HEXFET al teóricamente no manejar corriente compuerta-surtidor. Este voltaje en la compuerta cierra el circuito en el HEXFET. Se podría decir que en este momento se produce un corto circuito por la conexión directa de la señal DA2 y tierra. Este efecto no es destructivo ya que sólo sucede en el estado activo y la Fuente de Interfaz DALI limita la corriente a 250 mA.

De acuerdo con la hoja de especificaciones, la corriente máxima de drenador es de 13-18 A por lo que la corriente en cuestión no representa problema alguno.

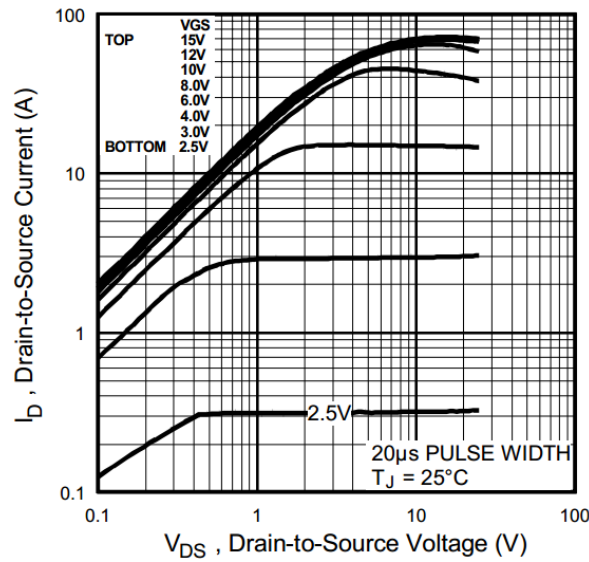


Fig. 3.12 Relación entre corriente de drenador, voltaje drenador. [34]

Como lo indica la gráfica en la figura 3.12, un voltaje de compuerta de 5 V y un voltaje drenador-fuente de 14.9 V, pone el HEXFET en estado de saturación con una corriente de drenador mayor a 10 A. Debido a que la corriente que debemos drenar es de 250 mA podemos decir que el HEXFET está en conducción.

Sección de recepción

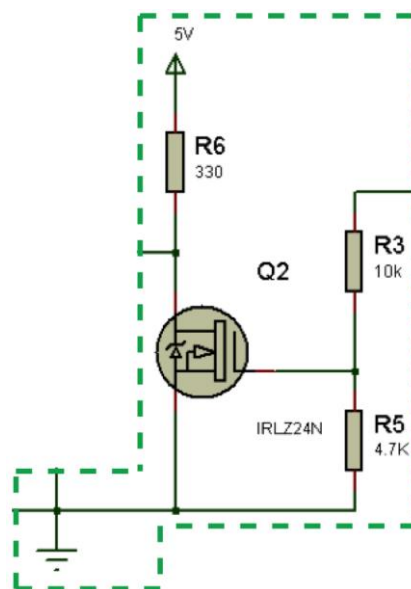


Fig. 3.13 Circuito equivalente cuando

El voltaje de DA pasa por un divisor de voltaje para activar la compuerta del HEXFET Q2.

$$V_{R5} = DA2 * \frac{R_5}{R_3 + R_5} \quad (3.4)$$

$$V_{R5} = 14.9 V * \frac{4700 \Omega}{10000 \Omega + 4700 \Omega}$$

$$V_{R5} = 4.76 V$$

Obtenemos la corriente en el divisor de voltaje:

$$I_{R5} = \frac{14.9 V}{14700 \Omega}$$

$$I_{R5} = 1.014 mA$$

Este valor es importante ya que esta corriente proviene directamente de la interfaz DALI. En este caso se encuentra dentro de los parámetros permitidos en las especificaciones eléctricas (<2 mA).

Si en algún momento el nivel DA fuera el máximo permitido (22.5 V) la corriente seguiría siendo apropiada.

$$I_{R6} = \frac{V_{DA}}{R_6 + R_5} \quad (3.5)$$

$$I_{R5} = \frac{22.5 V}{14700 \Omega}$$

$$I_{R5} = 1.531 mA$$

Cuando el HEXFET está en conducción, la resistencia R_6 limita la corriente:

$$I_{R6} = \frac{V_{CC}}{R_6} \quad (3.6)$$

$$I_{R6} = \frac{5V}{330\Omega}$$

$$I_{R6} = 0.015A$$

Se observa en la gráfica de la figura 3.12 que con los parámetros de V_{R5} y V_{CC} la corriente de drenador es mucho mayor a la obtenida en I_{R6} .

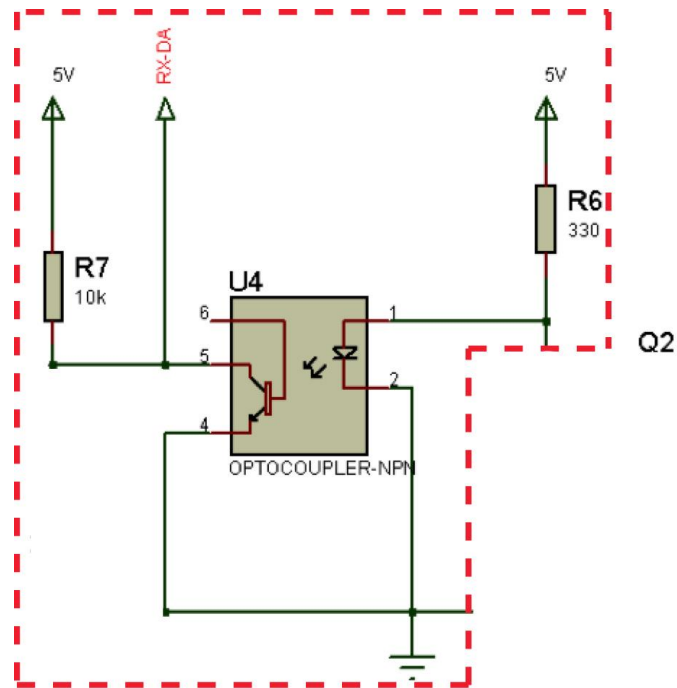


Fig.3.14 4N25 / Recepción

Cuando el HEXFET se encuentra en corte la corriente I_{R6} es la que enciende el fotoemisor, sin embargo debido a la caída de voltaje esta corriente es menor a la calculada anteriormente. En la sección de transmisión se calculó su valor.

La corriente que pasa por el fototransistor está limitada por R_7 y es la misma que pasa por R_2 (figura 3.14).

3.1.4 Desarrollo de la tarjeta del circuito

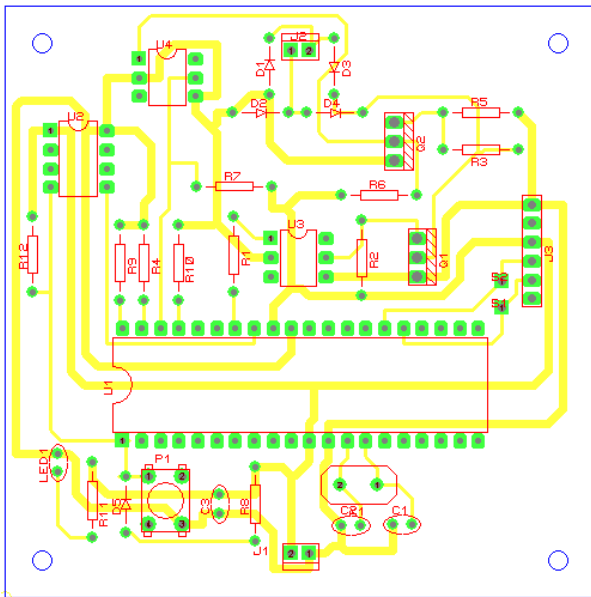


Fig. 3.15 Esquema controlador principal

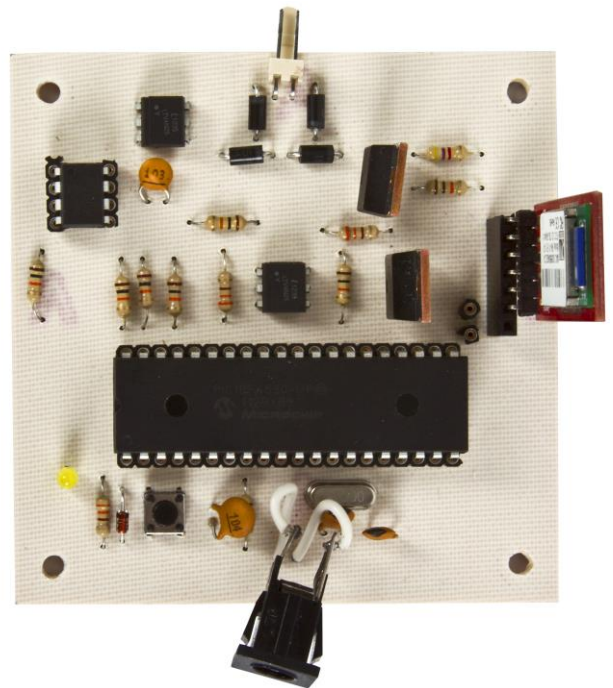


Fig. 3.16 PCB Controlador principal

En la figura 3.15 se muestra el esquema de la distribución de los componentes tanto que en la figura 3.16 se observa el circuito armado en PCB. La tabla 3.1 muestra la lista de componentes y sus valores respectivos para el circuito del ECG.

Tabla 3.1 Lista de componentes del controlador principal

Controlador		Controlador	
Componente	Identificador	Componente	Identificador
4N25	U3,U4	2-Pin Molex	J1,J2
1N4448	D1,D2,D3,D4,D5	4 pin-push button	P1
R 10K ¼ W	R2,R3,R4,R7,R8,R9,R10,R12	Timpot 10 KΩ	RV1
R 330 ¼ W	R1,R6,R11	C 22 pF	C1,C2
R 4.7K ¼ W	R5	C 47 μF	C3
PIC12F629	U2	LED 3 mm	LED1
IRLZ24N	Q1,Q2	Cristal 20 MHZ	X1
PIC18F4520	U1	Header torneados	U1
Headersx6 hembras	J3		

3.2 ECG (*Electronic Control Gear*)

Un ECG es el encargado de controlar la corriente y voltaje de operación de las lámparas.

3.2.1 Etapa lógica

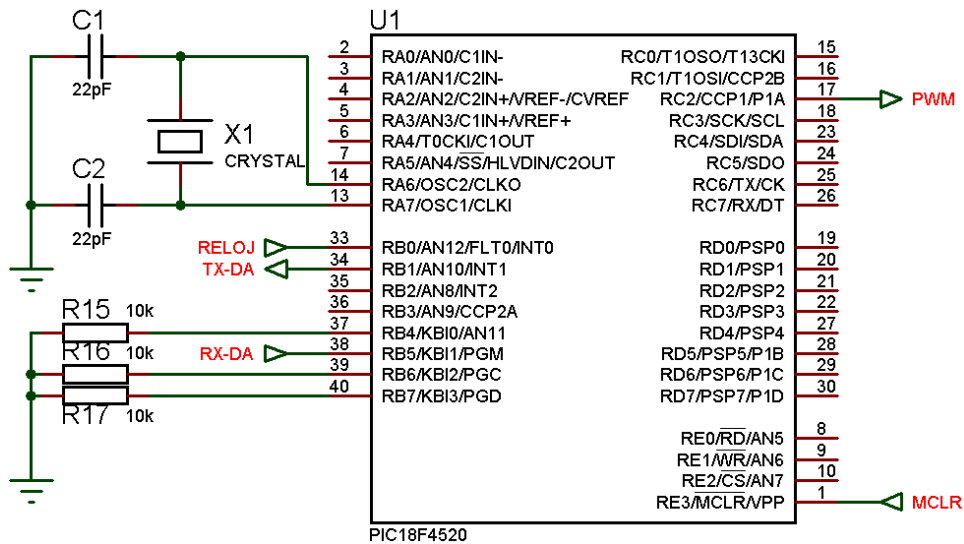


Fig. 3.17 Etapa lógica del ECG.

Las señales involucradas en el circuito lógico (figura 3.17) se describen a continuación.

MCLR. Cuando esta señal se encuentra en un estado lógico bajo el programa del microcontrolador es reiniciado.

RELOJ. Es una señal cuadrada de 1.2 kHz. Tiene la finalidad de establecer la velocidad de transmisión del controlador.

TX-DA. Es la señal que lleva el código Manchester del controlador a la etapa de potencia. En ella vienen las direcciones y comandos que se quieren transmitir.

RX-DA. Señal proveniente de la etapa de potencia que contiene las respuestas de los dispositivos conectados al sistema.

PWM. Es la señal de modulación de ancho de pulso que controla el nivel de intensidad luminosa de los LEDs.

SCL. Línea de reloj para la comunicación I2C con el RTC DS1307.

SDA. Línea de datos para la comunicación I2C con el RTC DS1307.

Existen ciertos comandos (véase Anexo B, comandos de direccionamiento) que sólo deben de ejecutarse en un periodo de 15 minutos a partir de la recepción del comando INITIALISE. Para esto se decidió utilizar el RTC (*Real Time Clock*) DS1307 [38].

Herramientas utilizadas del PIC18F4520 como ECG:

Memoria EEPROM: Algunos registros deben ser almacenados en memoria ROM.

Consultar anexo A, tabla 2.3.

Timer 0 / Interrupción por timer0:

- Medición de la duración de flancos de subida y bajada de la trama de datos para decodificar el código bifase.
- Lectura de los stopbits.
- Medición del tiempo entre tramas.
- Detección de un fallo en el sistema (SISTEM FAILURE LEVEL).

Timer 1 / Interrupción por timer1:

- En caso de que se requiera enviar por segunda vez una instrucción, el Timer 1 se encarga de que no se sobrepasen los 100ms permitidos.
- Se encarga de manejar tanto la tasa de desvanecimiento como el tiempo de desvanecimiento.

PWM y timer2 - De tal forma que se aprovechara la máxima resolución (10 bits) se configuró el timer 2 con un periodo de 255. De esta forma se obtiene una frecuencia de 1220 Hz, la menor posible con la resolución deseada. Esta frecuencia es adecuada ya que, como se mencionó en el capítulo 1.2.2, en la sección de reguladores, el ojo humano deja de percibir los efectos de parpadeo a una frecuencia de 200 Hz. Se eligió además una pre-escala de 1:16 y una post-escala de 1:1.

$$T_{PWM} = (PR2 + 1)(Preescala)(1 \text{ ciclo máquina}) \quad (3.9)$$

$$T_{PWM} = (255 + 1)(16) \left(\frac{1}{5,000,000} \right) = 819 \mu s$$

$$F_{PWM} = \frac{1}{T_{PWM}} = 1.220 \text{ kHz} \quad (3.10)$$

Para calcular el ciclo de trabajo (%) se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{ciclo de trabajo} = \frac{\text{Valor}(10\text{bits})}{4*(PR2+1)} \quad (3.11)$$

Timer 3 / Interrupción por timer3:

- Evita que el ECG tome una respuesta de otro ECG como una instrucción. Ya que la interrupción por puerto B sólo se utiliza para la recepción de un mensaje, la duración entre cada interrupción no debe ser mayor a $2 T_e$ ($832 \mu s$) durante la recepción de los 17 bits bifásicos (hay que recordar que los últimos dos bits son en estado inactivo) por lo que si se detecta un tiempo mayor a éste sin haber recibido todos los bits se descartará cualquier información obtenida.
- Se encarga de terminar la secuencia de regulación de luz dinámica una vez que se hayan sobrepasado $200 ms$ sin recibir la instrucción "DIRECT ARC POWER CONTROL".

Interrupción externa: Es activada por la señal RELOJ cada $417 \mu s$. Al interrumpirse, el nivel lógico del pin RB1 es actualizado para crear así la trama de envío.

Interrupción por puerto RB (RB5): Se encarga de la recepción de datos DALI midiendo el tiempo transcurrido entre cada interrupción para considerar si se trata de un 1 o un 0 lógico. *La transmisión de datos es igual que la del controlador principal con la única diferencia de la cantidad de bits a mandar.*

Recepción de datos

El PIC18F4520 cuenta con otro tipo de interrupción por medio del puerto RB (INT_RB). Éste se da ya sea en flanco de subida como en flanco de bajada sin necesidad de ser especificado por lo que siempre se da por los dos.

Para la recepción de datos se siguen los siguientes pasos:

1. Se da una interrupción por el pin RB5.
2. Se recibe el bitstart.
3. Se da la primera interrupción después del bitstart. Para saber que valor sostiene el bit necesitamos medir el tiempo transcurrido desde la última interrupción (en este caso, la última es referente al bitstart). Si el valor medido es mayor a $T_e + 10\%$ significa que el bit recibido es cero ya que no hay cambio de flanco durante la transición de bits (figura 3.18). Si el valor medido es menor a $T_e + 10\%$ significa que el bit recibido es uno ya que hay cambio de flanco durante la transición de bits (figura 3.19).

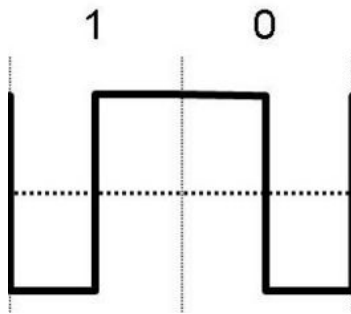


Fig. 3.18 Transición der bit 1 a bit 0.

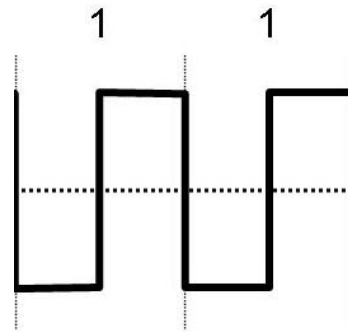


Fig. 3.19 Transición der bit 1 a bit 1.

En este último caso se deber omitir la siguiente interrupción ya que pertenece al mismo bit.

4. Se repite el procedimiento con la diferencia que para conocer el bit siguiente se necesita leer el bit anterior. Si el tiempo fue mayor a $T_e + 10\%$ significa que el bit siguiente será distinto al bit anterior, de lo contrario tendrá el mismo valor y se tendrá que “confirmar” la siguiente interrupción, es decir, no hacerle caso ya que pertenece a su mismo bit.

5. Una vez recibidos los 17 bits se procede a esperar los 2 stopbits ($4 T_e$) y se analiza la información recibida.

6. Si no se debe recibir el mensaje por segunda vez y si se ha verificado que han pasado $7 T_e$, se procede a responder en caso de que sea necesario.

Para una mejor comprensión del funcionamiento de este proceso se recomienda consultar los diagramas del *anexo c, Interrupción por Puerto RB y Secuencia Principal del ECG.*

Control directo de nivel de intensidad

1. Se recibe la instrucción “DIRECT ARC POWER CONTROL” con el nivel de intensidad a establecer dentro del byte de datos.
2. Supongamos que estamos en el nivel 254 y se recibe la instrucción anterior para llegar al nivel 154, por lo tanto necesitamos desplazarnos 100 niveles.
3. Tenemos que leer en memoria el valor del tiempo de desvanecimiento (FADE TIME) para saber en cuanto tiempo llegaremos del nivel actual al nivel deseado. Supongamos es de 4 segundos.

4. Tendremos que movernos 100 niveles en 4 segundos. Se decidió utilizar el timer1 configurado de tal forma que se desborde cada 10 ms, por lo que serían 400 interrupciones.

$$pasos_por_desbordamiento = \frac{pasos_a_desplazarse}{\#_de_interrupciones} \quad (3.12)$$

$$pasos_por_desbordamiento = \frac{100}{400} = 0.25 \text{ } pasos_por_desbordamiento$$

El timer1 tendrá que desbordarse 4 veces para que se incremente un nivel de intensidad.

Supongamos ahora que queremos desplazar la misma cantidad de pasos pero ahora nuestro valor dentro de la variable de tasa de desvanecimiento es de 0.7 segundos.

$$pasos_por_desbordamiento = \frac{100}{70} = 1.4 \text{ } pasos_por_desbordamiento$$

En este caso tendremos que desplazarnos 1.4 niveles por lo que en cada desbordamiento se desplazaría un nivel y sería hasta cada tercer desbordamiento donde se desplazarían dos niveles debido a la acumulación de decimales.

Primer desbordamiento - Desplazamos un nivel, acumulamos los decimales: 0.4.

Segundo desbordamiento - Desplazamos un nivel, acumulamos los decimales: 0.4+0.4=0.8.

Tercer desbordamiento – Desplazamos un nivel, acumulamos los decimales: 0.8+0.4=1.2. En este caso se desplaza un nivel más y se guardan los decimales sobrantes: 1.2-1(nivel desplazado) = 0.2.

5. Se continúa de esta manera hasta llegar al valor deseado.

Las instrucciones UP y DOWN se manejan por medio de la tasa de desvanecimiento (FADE RATE) [pasos/segundo] de desplazamiento. En estos dos casos se tiene que desplazar, ya sea hacia arriba o hacia abajo, el nivel de intensidad a esta tasa durante 200 ms. Se convirtió la tasa desvanecimiento a *pasos/s* ya que nuestro timer se desborda cada 10 ms. Es así como para estos dos casos se desbordará el timer 20 veces.

Consultar el anexo c, Interrupción por Timer1

3.2.2 Circuito periférico de los ECGs

Se compone de tres circuitos. El primero es el que genera la señal de reloj que marca los intervalos de tiempo en el que se debe mandar cada bit (figura 3.20). Funciona exactamente igual al existente en el controlador principal.

El segundo circuito es el encargado de la señal MCLR tanto del PIC18F4520 como del PIC12F629. También cuenta con un LED de encendido.

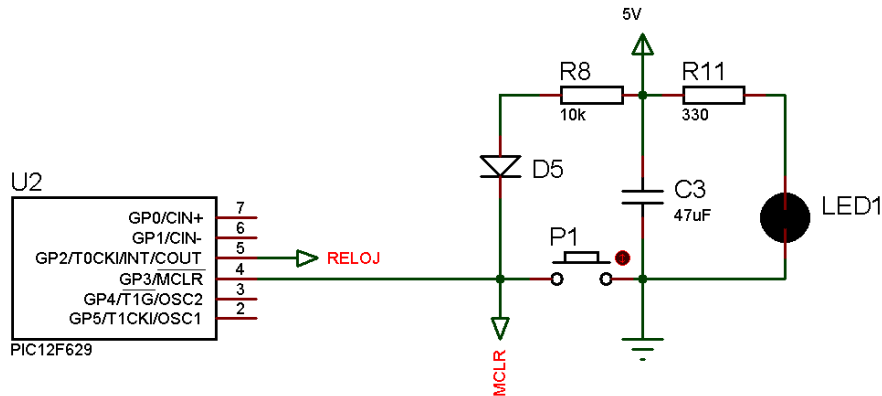


Fig. 3.20 Circuitos periféricos del ECG.

La otra sección del circuito la representa un RTC (*real timer clock*) y todos los componentes necesarios para su funcionamiento (figura 3.21). Tanto el valor de los resistores como el del cristal están establecidos por el fabricante (véase. Se usa únicamente para cronometrar 15 minutos a partir de la última vez que el ECG recibe el comando "INITIALISE". Los comandos: "RANDOMISE", "COMPARE", "WITHDRAW", "SEARCHADDRH", "SEARCHADDRM", "SEARCHADDRL", "PROGRAM SHORT ADDRESS", "VERIFY SHORT ADDRESS", "QUERY SHORT ADDRESS" deben de considerarse sólo si el RTC se encuentra en este intervalo de tiempo.

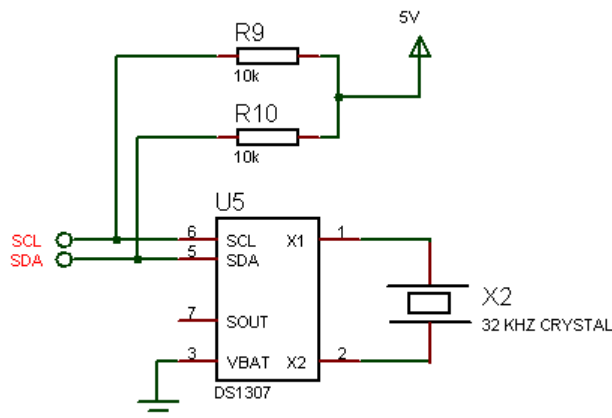


Fig. 3.21 RTC (DS1307) utilizado para medir 15 min.

3.2.3 Etapa de potencia de ECG

La etapa de potencia de los ECGs, en términos de comunicación DALI, es igual a la del controlador principal. Por esta razón, las señales y elementos involucrados en ambos dispositivos pueden ser consultados en la sección 3.1.3 de este documento.

Además de la comunicación, la etapa de potencia de los ECG también es importante para suministrar la corriente necesaria a las lámparas LED (figura 3.22).

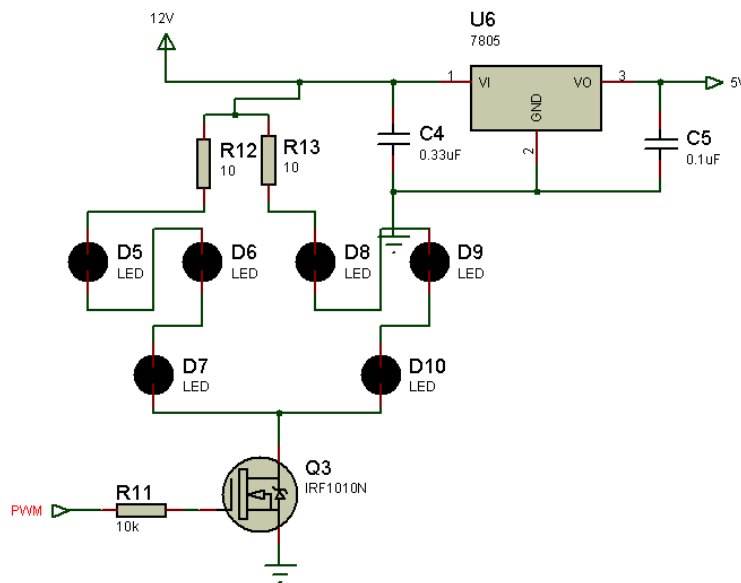


Fig. 3.22 Etapa de potencia de las lámparas LED.

A diferencia del controlador principal, los ECGs son alimentados por un regulador de 12 volts, esto es con la finalidad de suministrar la potencia suficiente a todos los dispositivos que lo conforman

Para bajar el nivel de voltaje al nivel lógico con el que se alimentan y trabajan los circuitos lógicos se incluyó un regulador L7805CV. Este regulador de 5 V tiene una capacidad de mantener un voltaje de salida entre 4.65 V y 5.35 V suministrando hasta 1 A y menos de 15 W de potencia. En la sección de *Pruebas (3.4)* se puede ver la demanda de corriente y la potencia disipada por el dispositivo en esta aplicación.

PWM. La señal PWM es proporcionada por el microcontrolador y su ciclo de trabajo va de 0 a 100%. EL HEXFET Q3 funciona de la misma forma que se desarrolló en la etapa de potencia del controlador principal con la diferencia de tener un voltaje drenador-fuente de 12 V. Aun así, la conmutación se da casi instantáneamente debido los dos parámetros que lo activan (V_{DS} , V_{GS}).

Se construyeron lámparas con tres LEDs cada una. La hoja de especificaciones determina que cada LED tiene una corriente nominal de 350 mA y un voltaje de operación entre 3 - 3.8 V.

Suponiendo un voltaje de operación de 3 V se calcula el voltaje a la que estará sometida la resistencia limitadora de corriente.

$$V_{R12} = V - V_{LED1} - V_{LED2} - V_{LED3} \quad (3.13)$$

$$V_{R12} = 12 V - 3 * 3 V$$

$$V_{R12} = 3 V$$

Si se desea que por el circuito pasen 350mA se calcula la resistencia:

$$R_{12} = \frac{V_F}{I_{12}} \quad (3.14)$$

$$R_{12} = \frac{3 V}{350 mA}$$

$$R_{12} = 8.57 \Omega$$

Por fines prácticos se aproximó a 10 Ω (valor comercial cercano). Con la resistencia elegida se calculó la corriente del circuito:

$$I_{12} = \frac{V_F}{R_{12}} \quad (3.15)$$

$$I_{12} = \frac{3 V}{10 \Omega}$$

$$I_{R12} = 0.300 A$$

Por lo que los LEDs no funcionarán a toda su capacidad pero suficientemente bien para los fines demostrativos del proyecto.

3.3.4 Desarrollo de la tarjeta del circuito

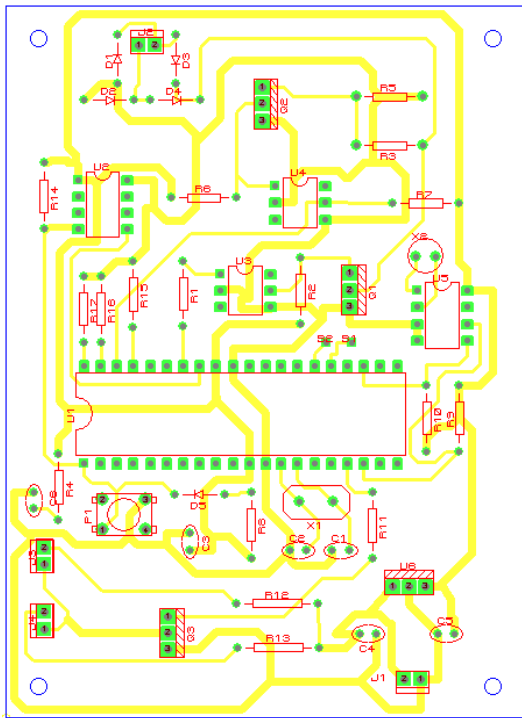


Fig. 3.23 Esquema del ECG

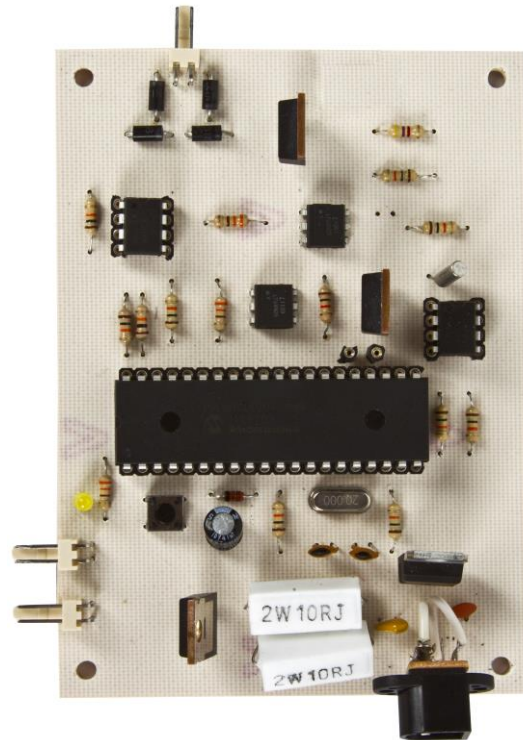


Fig. 3.24 PCB del ECG

En la figura 3.23 se muestra el esquema de la distribución de los componentes tanto que en la figura 3.24 se observa el circuito armado en PCB. La tabla 3.2 muestra la lista de componentes y sus valores respectivos para el circuito del ECG.

Tabla 3.2 Lista de componentes del ECG

ECG		ECG	
Componente	Identificador	Componente	Identificador
4N25	U3,U4	C 47.0 μF	C3
1N5818	D1,D2,D3,D4,D5	C 0.33 μF	C4
R 10k $\frac{1}{4}$ W	R2,R3,R7,R8,R9,R10,	LED 3 mm	LED1
R330 $\frac{1}{4}$ W	R1,R4,R6	Cristal 20 MHz	X1
R 4.7k $\frac{1}{4}$ W	R5	Headers	U1
R10 1 W	R12,R13	2 pin-MOLEX	J1,J2,J3,J4
PIC12F629	U2	4 pin-push button	P1
IRLZ24N	Q1,Q2,Q3	DS1307	U5
PIC18F4520	U1	Cristal 32.768 KHz	X2
C 22 pF	C1,C2	LM7805	U6
C 0.1 μF	C5		

3.3 Fuente de interfaz DALI

Proporciona la energía para que se lleve a cabo la comunicación entre dispositivos DALI. El principio básico de la comunicación consiste en cortocircuitar las terminales de la interfaz para conseguir una caída de voltaje en el bus de datos (figura 3.25).

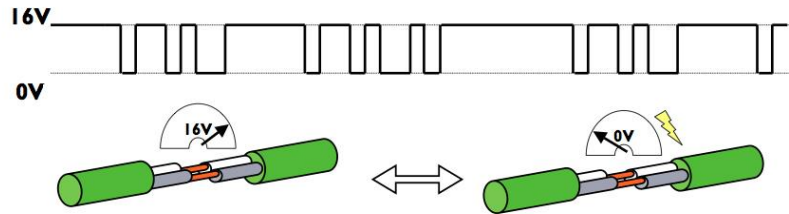


Fig. 3.25 Comunicación por medio de corto circuito. [21]

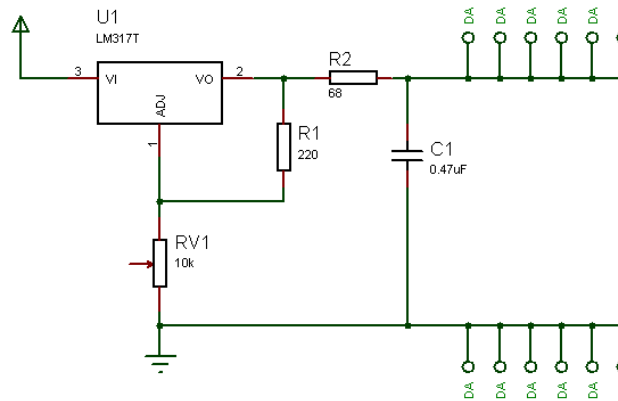


Fig. 3.26 Fuente de la interfaz DALI.

El circuito de la figura 3.26 es alimentado por una fuente de 19.5 V. Al pasar por un regulador LM317 se obtiene un voltaje de salida de 16 V (nominal DALI). Para calcular el valor de la resistencia RV1 se utilizó la ecuación que el fabricante proporciona.

$$V_{out} = V_{ref} \left[1 + \frac{R_{V1}}{R_1} \right] + I_{adj} R_{V1} \quad (3.16)$$

De acuerdo al diseño de este circuito integrado, la corriente de ajuste tiende a ser mínima por lo que no afecta sustancialmente al voltaje de salida. Entre las terminales ADJ y Vo el dispositivo mantiene un voltaje de referencia de 1.2 V. El valor de la resistencia R1 es sugerido como 240 Ω, sin embargo, puede tomar valores cercanos a éste, como: 220 Ω.

$$V_{out} = 1.2 V \left[1 + \frac{R_{V1}}{220 \Omega} \right]$$

Despejando R_{V1} se obtiene:

$$R_{V1} = 220 \Omega ([V_{out}/1.2V] - 1)$$

$$R_{V1} = 2713.33 \Omega$$

Se estableció este valor resistivo en el *trimpot* de 10 KΩ.

Debido a que se requiere suministrar una corriente limitada, se colocó a la salida una resistencia. Su valor se calculó de acuerdo a las especificaciones eléctricas. De acuerdo con ellas, la fuente de interfaz DALI no debe proporcionar más de 250 mA ni menos de 8 mA.

$$R_2 = \frac{DA}{I_{max}} \quad (3.17)$$

$$R_2 = \frac{16 V}{0.25 A}$$

$$R_2 = 64 \Omega$$

El valor comercial más cercano, cuya limitación de corriente se encuentra dentro de los parámetros aceptados, es 68 Ω.

Calculando la corriente con esta resistencia obtenemos:

$$I_{R2} = \frac{DA}{R_2} \quad (3.18)$$

$$I_{R2} = \frac{16 V}{68 \Omega}$$

$$I_{R2} = 235.29 mA$$

Como se mencionó anteriormente, la interfaz DALI será cortocircuitada cada vez que alguno de los dispositivos conectados requiera mandar un mensaje. Esto significa que la resistencia debe ser capaz de disipar la potencia generada por la corriente y el voltaje a la que está sometida.

$$P_{R2} = DA * I_{R2} \quad (3.19)$$

$$P_{R2} = 16 V * 0.235 A$$

$$P_{R2} = 3.76 W$$

Para satisfacer esta condición, se implementó una resistencia comercial de 68 Ω a 5 W.

3.3.4 Desarrollo de la tarjeta del circuito

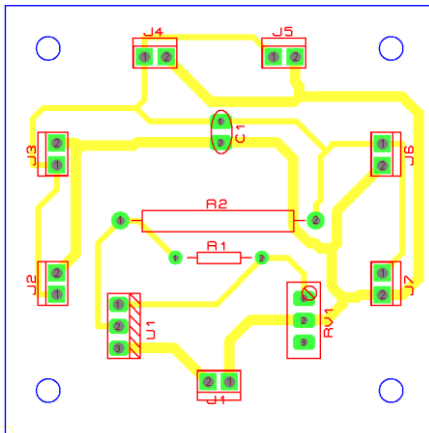


Fig. 3.27 Esquema de la fuente DALI

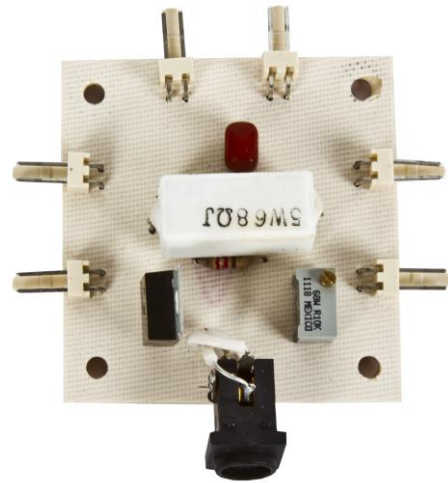


Fig. 3.28 PCB de la fuente DALI

En la tabla 3.3 se muestra la lista de componentes y sus valores respectivos para el circuito del ECG. En la figura 3.27 se muestra el esquema de la distribución de los componentes tanto que en la figura 3.28 se observa el circuito armado en PCB.

Tabla 3.3 Lista de Componentes de la fuente DALI

Fuente de interfaz DALI	
Componente	Identificador
R 220 ¼ W	R1
R 68 5 W	R2
LM350	U1
C 0.47 µF	C1
2 pin-MOLEX	J1,J2,J3,J4,J4,J6,J7
Trimpot 10 kΩ	RV1

3.3 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica representa la interacción que tiene el usuario con el sistema de manera que el control de éste sea amigable.

En la actualidad los teléfonos inteligentes *smartphones*, así como las tabletas, son una herramienta que nos permite manejar varios aspectos de nuestra vida diaria dentro de un mismo artefacto. Es por esto que se decidió utilizar el sistema operativo Android para la creación de una aplicación que pueda formar parte tanto de un teléfono como una tableta.

La aplicación es sencilla y demuestra de una manera explícita la estructura de las instrucciones de control de iluminación.

Se comienza por conectar la aplicación (vía bluetooth) por medio del botón de menú. La aplicación se encarga de encontrar directamente al dispositivo DALI sin necesidad de seleccionar entre otros dispositivos activos ya que está configurado para ubicar únicamente la dirección MAC del dispositivo bluetooth seleccionado (figuras 3.29, 3.30 y 3.31).

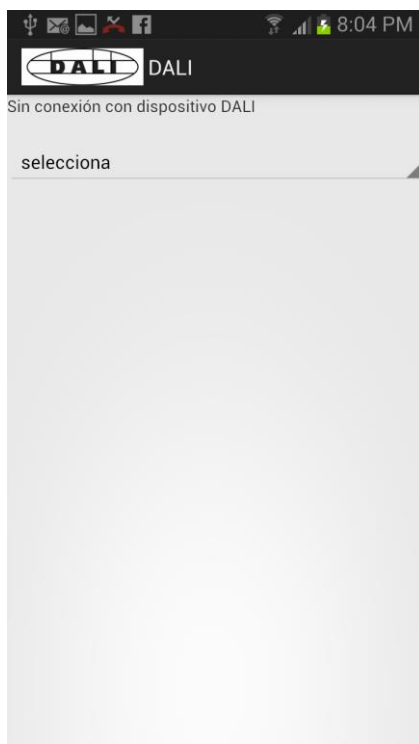


Fig. 3.29 Vista inicial

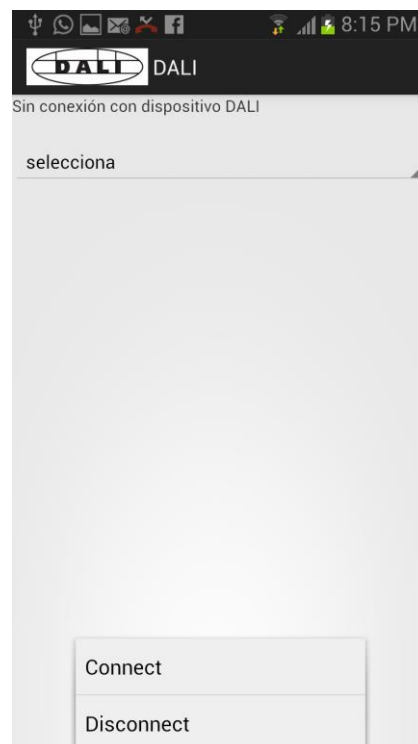


Fig. 3.30 Menú de conexión

En la figura 3.32 se observa la primera barra de selección la cual se encarga de definir el tipo de instrucción que se quiere tomar se divide en:

- Direccionamiento – Encargada de manejar las instrucciones que se refieren a la asignación de direcciones.
- Configuración – Contiene las instrucciones dedicadas a la modificación de datos estructurales.
- Consulta – Grupo de instrucciones que se encargan de consultar el estado del ECG.
- Control – Se encarga de controlar el nivel de iluminación.



Fig. 3.31 Dispositivo DALI ya conectado

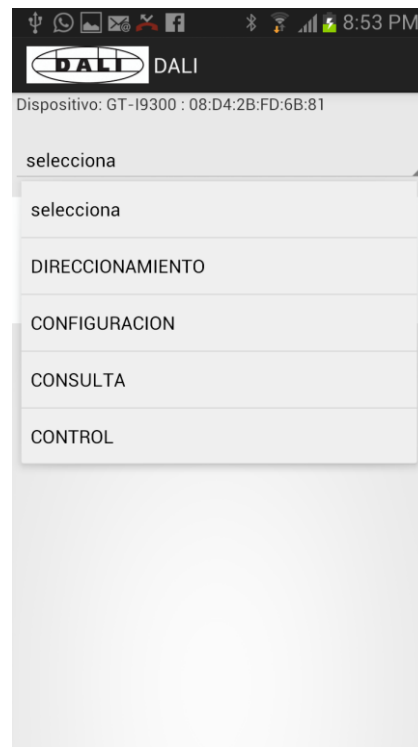


Fig. 3.32 Menú tipo de acción

Una vez seleccionada la categoría, se procede a elegir que instrucción se requiere y a quien va dirigido (figuras 3.33, 3.34 y 3.35). Cada instrucción tiene un número asignado (según el protocolo) y estos representan el byte de datos. El byte de dirección, como su nombre lo dice, se compone dependiendo a quien va dirigido: un balasto individual, un grupo o *broadcast*.

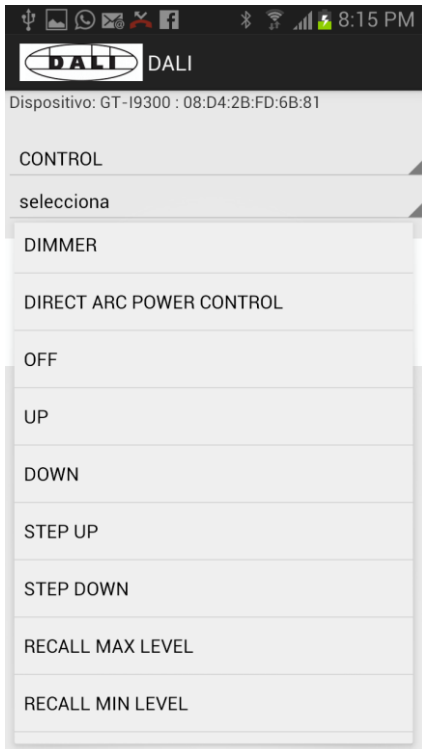


Fig. 3.33 Menú acción

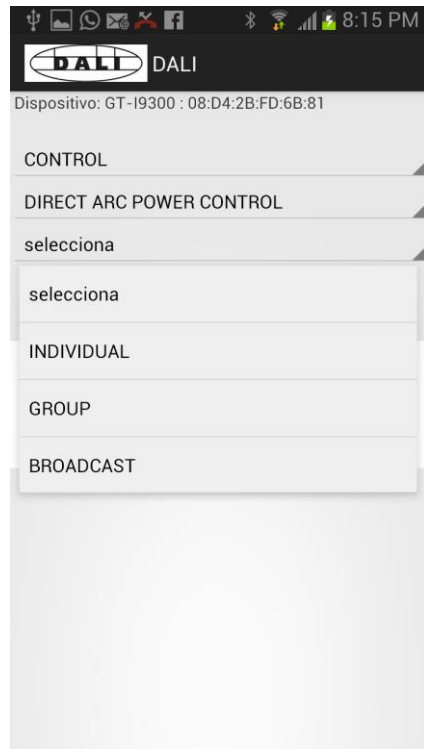


Fig. 3.34 Menú tipo de destinatario

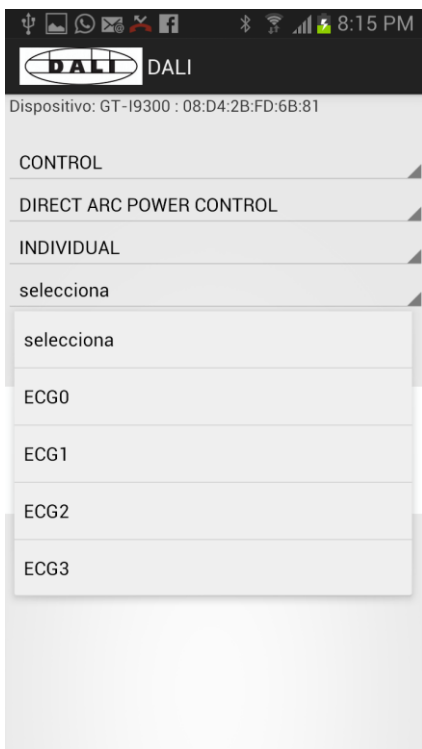


Fig. 3.35 Menú destinatario

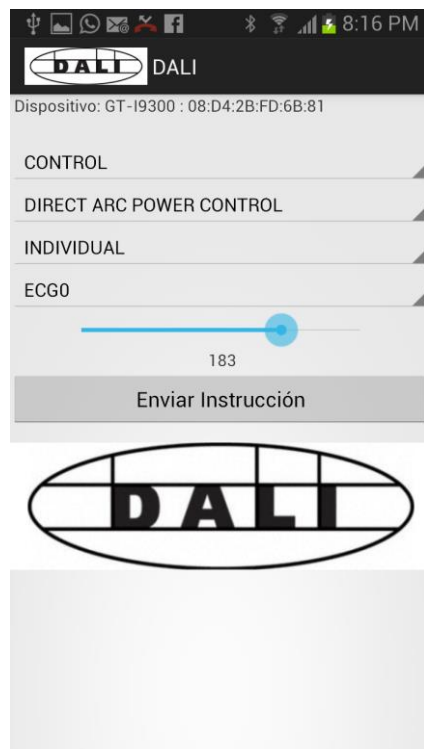


Fig. 3.36 Instrucción final

En el caso de la figura 2.36 se enviaría una la instrucción DIRECT ARC POWER al ECG0 con un nivel de 183.

3.4 Prototipo Final

Controlador

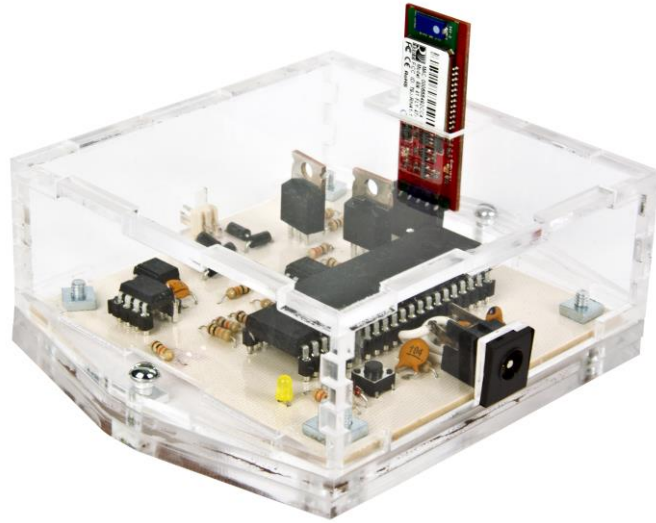


Fig. 3.66 Controlador principal

ECG

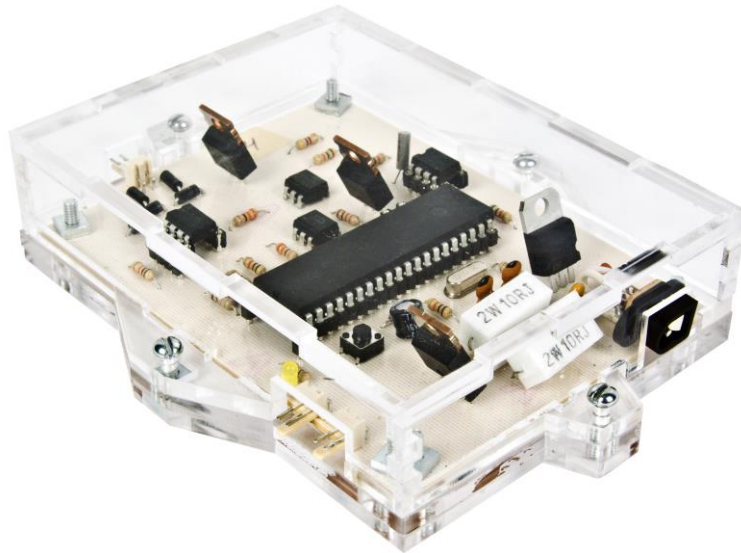


Fig. 3.67 ECG

Fuente DALI

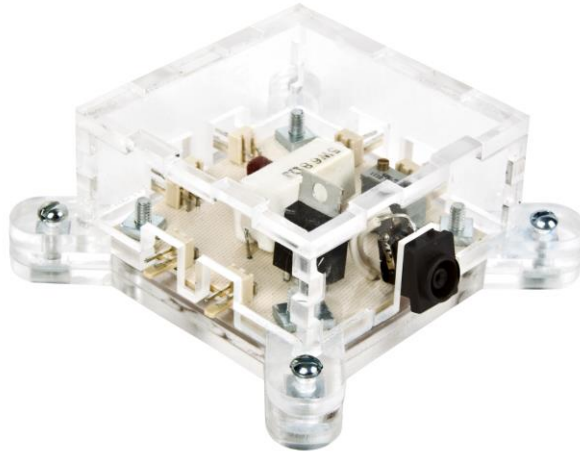


Fig. 3.68 Fuente DALI

Lámparas LED



Fig. 3.69 Todas las lámparas apagadas

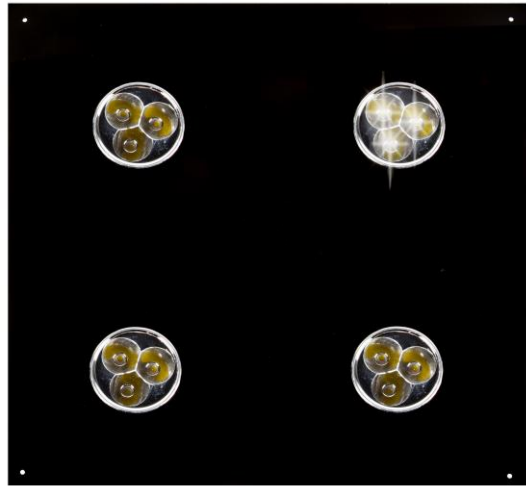


Fig. 3.70 Control individual

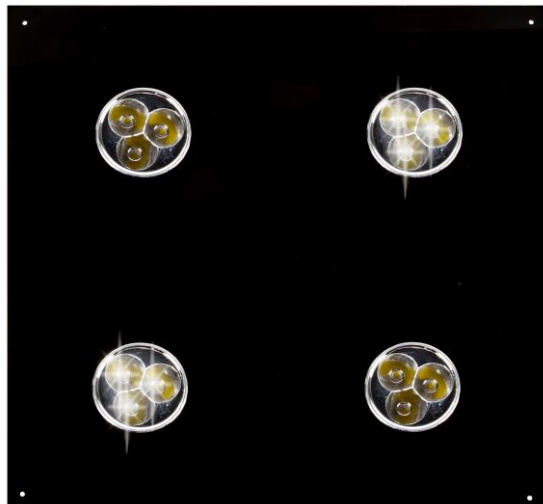


Fig. 3.71 Control grupal

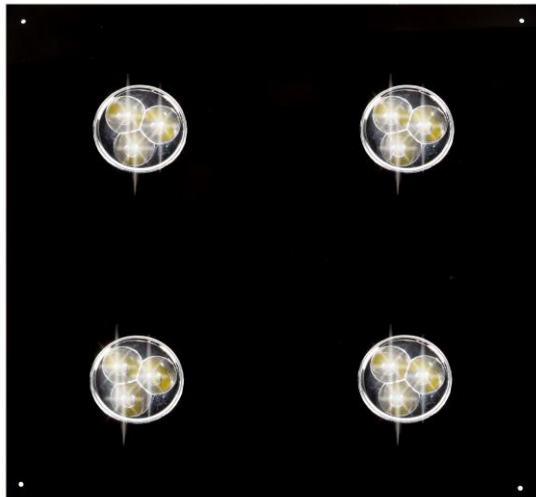


Fig. 3.72 Control de todas las luminarias (broadcast)

Sistema de Iluminación DALI

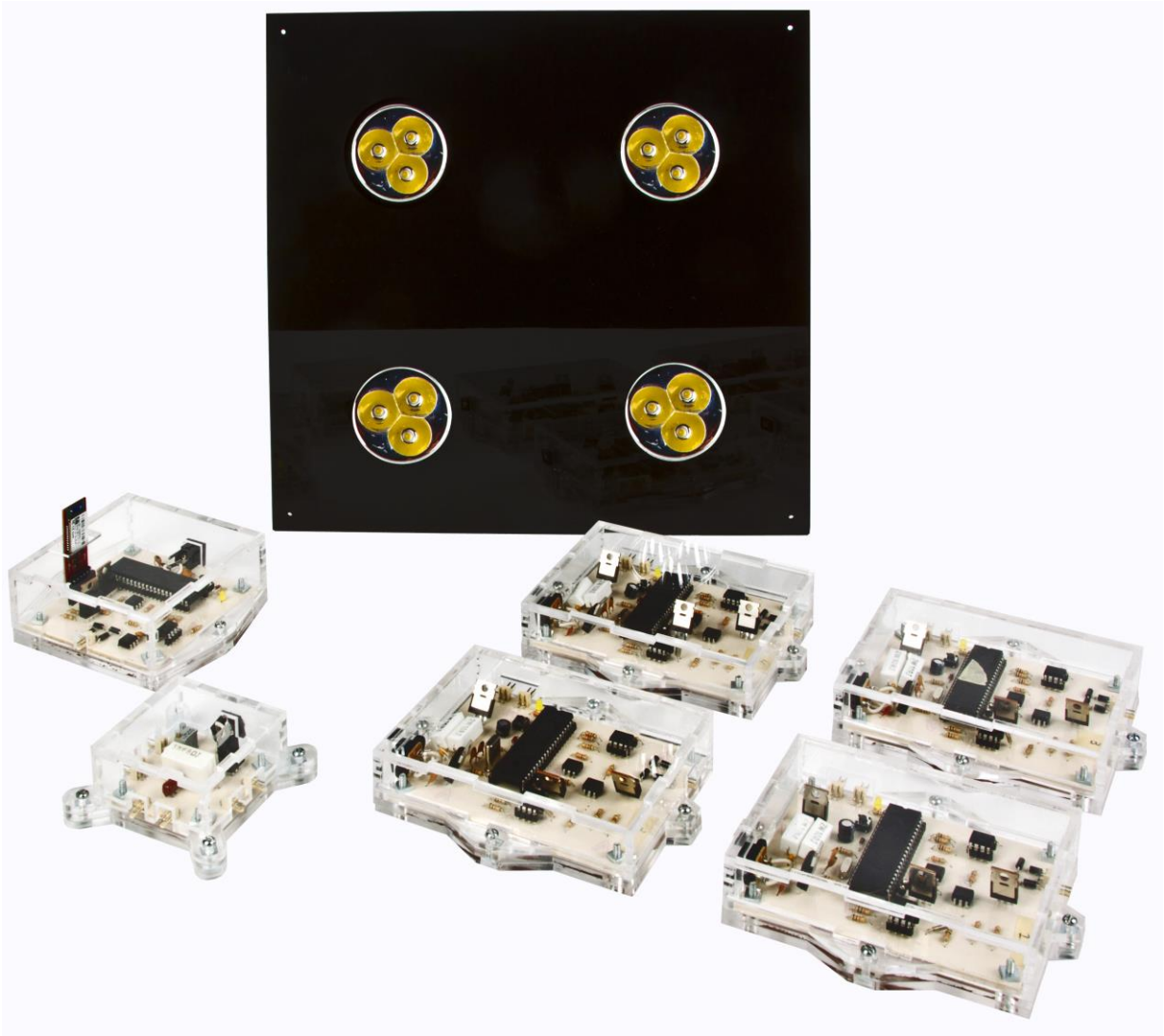


Fig. 3.73 Sistema de iluminación DALI

Diagrama de conexión del sistema DALI

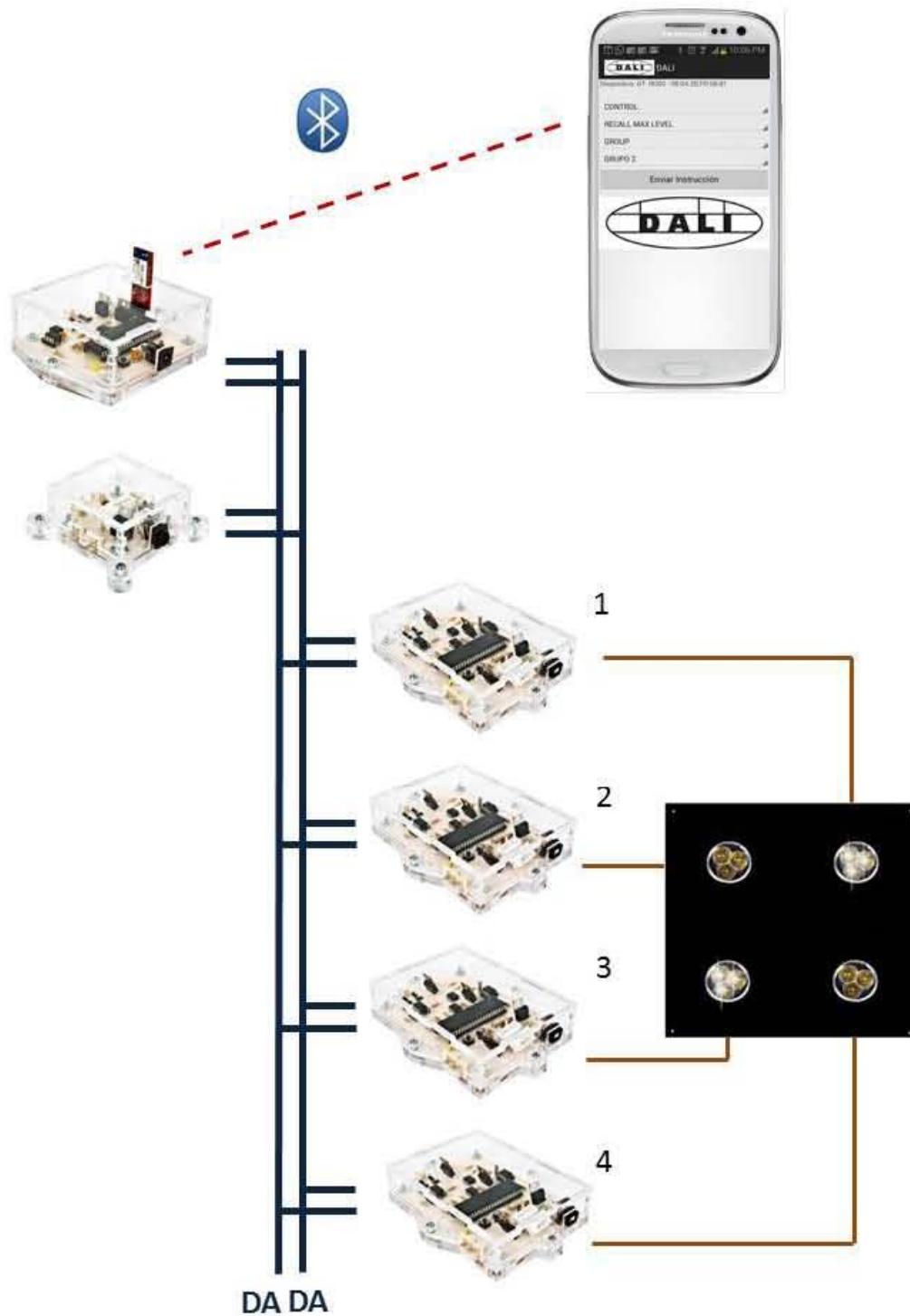


Fig. 3.74 Diagrama de conexión del sistema DALI

En la figura 3.74 podemos ver el sistema desarrollado.

A continuación se describe un ejemplo de cómo opera el sistema. El primer paso sería conectarse con el controlador por medio de bluetooth. Una vez conectado se procede

a seleccionar las opciones requeridas de los *spinners*. En la aplicación se tienen las siguientes opciones seleccionadas:

Tipo de acción o instrucción – Control

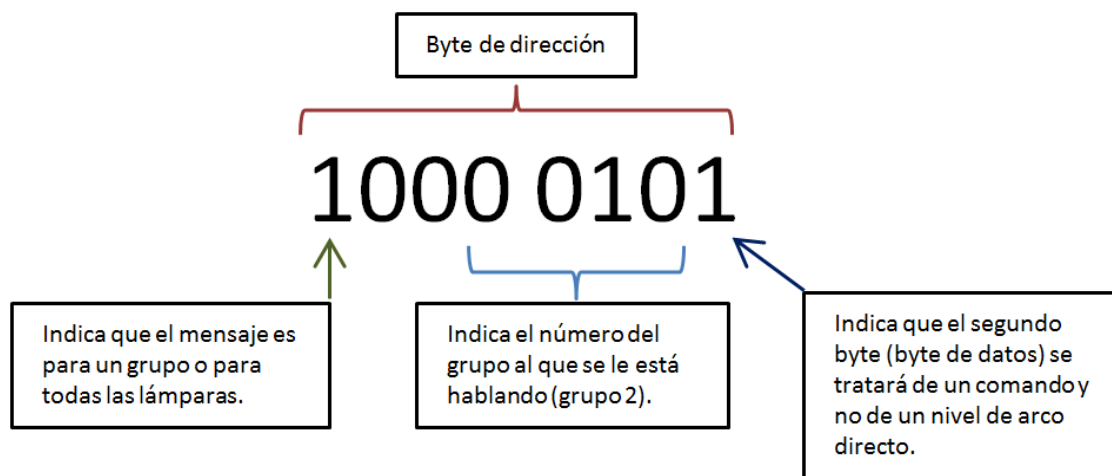
Instrucción (byte de datos) – RECALL MAX LEVEL

Al seleccionar esta opción la aplicación guardará el byte correspondiente en la variable “byte de datos”. En este caso, esta instrucción tiene como valor 0000 0101.

Tipo de destinatario – Grupo

Destinatario – Grupo 2

El byte de dirección sería el siguiente:



Dependiendo del nivel del *spinner* seleccionado será el valor de los bits 1-4. En este caso es el nivel 2 (contando el cero como primero valor) por lo que el contenido de estos bits sería: 0010 = 2.

Una vez seleccionados los dos tipos de bytes se oprime el botón “Enviar Instrucción”, en ese momento la aplicación los manda vía bluetooth los dos bytes, siendo primero el byte de dirección, con una diferencia de 100 ms.

El controlador entonces registra por medio de la interrupción RDA el primer byte (byte de dirección), en este caso 1000 0101 y lo almacena, 100 ms después hace lo mismo con el byte datos (0000 0101). En ese momento procede a enviarlos por medio de la interfaz DALI en la trama de 19 bits (véase capítulo 2).

El ECG detecta los cambios de estado y se encarga de almacenar la información recibida. Procede a cumplir con la instrucción y si es necesario emite una respuesta. En este caso la instrucción RECALL MAX LEVEL le indica que lea primero en memoria cual es el nivel máximo que se debe alcanzar, una vez hecho esto cambia su ciclo de trabajo según el nivel leído.

Capítulo 4

Pruebas

Dentro de esta sección se muestran los resultados de las distintas pruebas elaboradas para comprobar la veracidad de nuestro sistema basado en las especificaciones técnicas y eléctricas mencionadas previamente en el capítulo 2.

4.1 Ciclo de trabajo de los ECGs

Se tomaron 10 muestras, desde el nivel físico menor posible (54) hasta el nivel máximo (254).

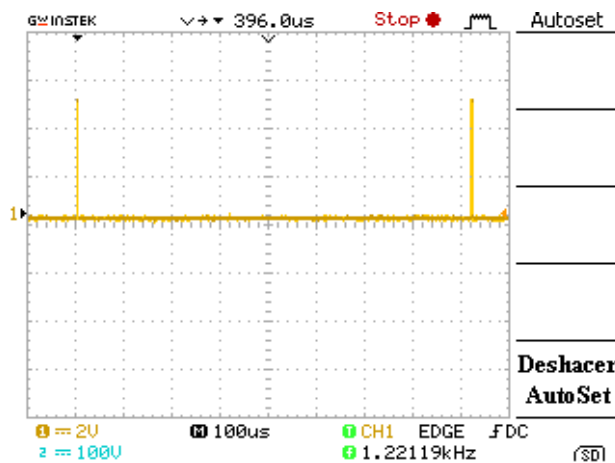


Fig. 4.1 Nivel luminoso: 54 - 0.488%

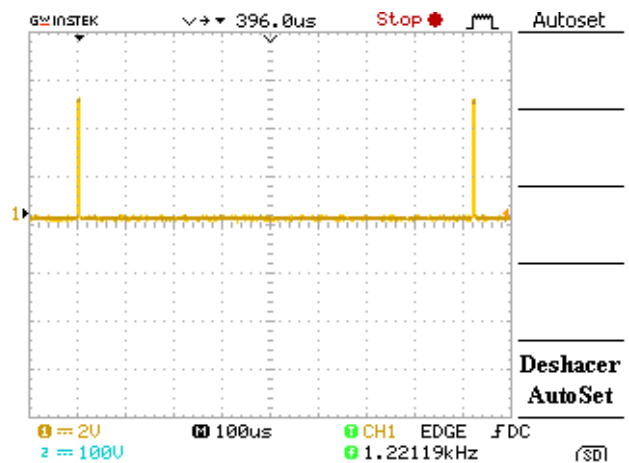


Fig. 4.2 Nivel luminoso: 74 - 0.732%

El periodo según la frecuencia medida es: $\frac{1}{1221.19 \text{ Hz}} = 818.87 \mu\text{s}$. Por lo que vemos en las figuras 4.1 y 4.2 cada división punteada equivale a $100 \mu\text{s}$ por lo que cada subdivisión equivale a $20 \mu\text{s}$. Si $818.87 \mu\text{s}$ es el 100%, $20 \mu\text{s}$ equivale al 2.442%. Nos encargamos de ampliar las imágenes de tal forma que una subdivisión equivalga a 20 píxeles para así obtener una medición más precisa. En el caso de la imagen 3.31 el ciclo de trabajo equivale a 4 px. Si 20 px equivale a 2.44%, 4 px equivale a 0.488%.

Este valor se acerca considerablemente al establecido en el protocolo (tabla 2.1, anexo A) el cual indica que para al nivel de luminosidad 54 le corresponde un ciclo de trabajo de 0.425%. Siguiendo la misma dinámica en la siguiente figura 3.32, el ciclo de trabajo en pixeles es de 6 por lo que equivale al 0.732% el cual es cercano a 0.734%. A continuación se muestran las otras 8 muestras con los valores obtenidos y los valores teóricos.

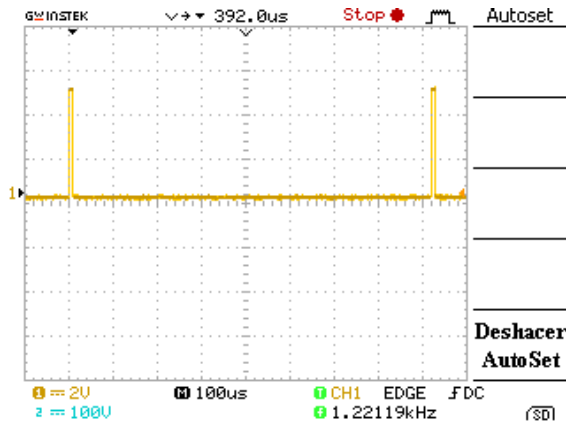


Fig. 4.3 Nivel luminoso: 94 – 1.22%

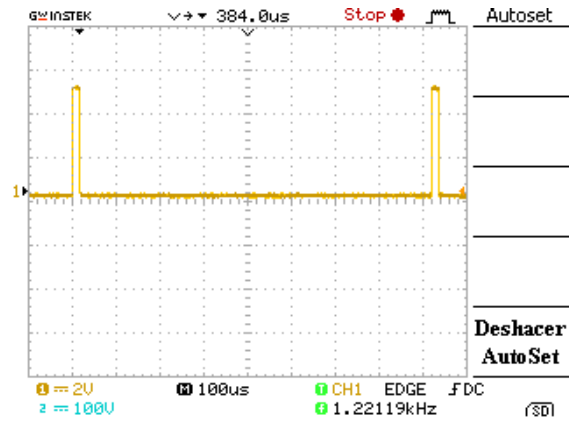


Fig. 4.4 Nivel luminoso: 114 – 2.196%

Fig. 4.3: 10 px - 1.22% \approx 1.267%

Fig. 4.4: 18 px - 2.196% \approx 2.187%

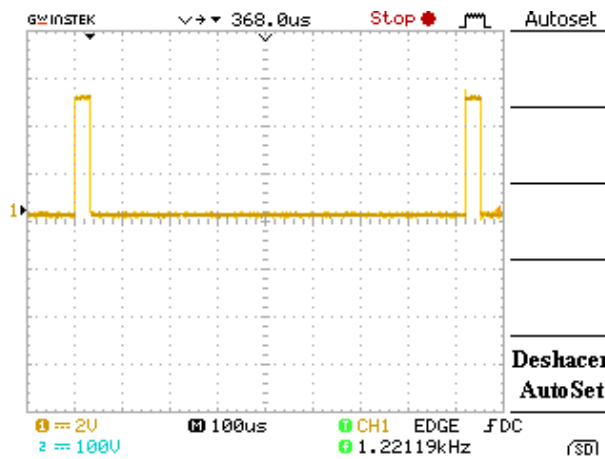


Fig. 4.5 Nivel luminoso: 134 – 3.782%

Fig. 4.5: 31 px - 3.782% \approx 3.776%

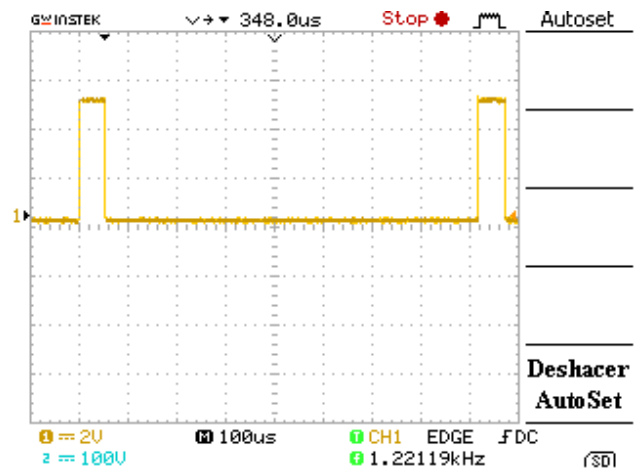


Fig. 4.6 Nivel luminoso: 154 – 6.466%

Fig. 4.6: 53 px - 6.466% \approx 6.520%

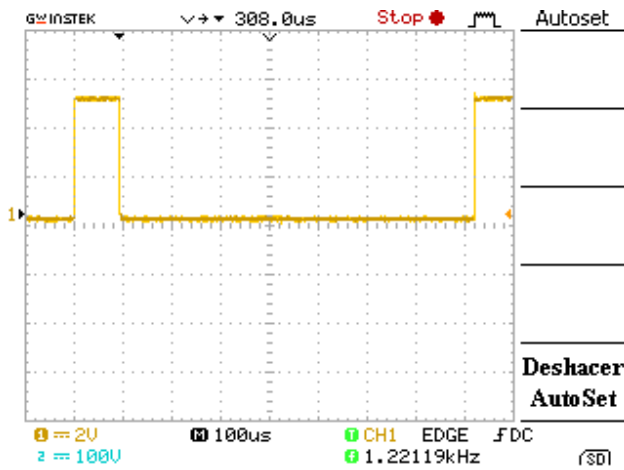


Fig. 4.7 Nivel luminoso: 174 – 11.224%

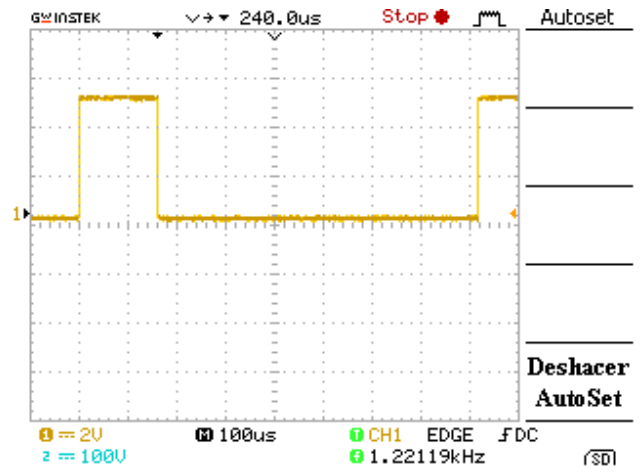


Fig. 4.8 Nivel luminoso: 194 – 19.52%

Fig. 4.7: 92 px - 11.224% \approx 11.256%

Fig. 4.8: 160 px - 19.52% \approx 19.433%

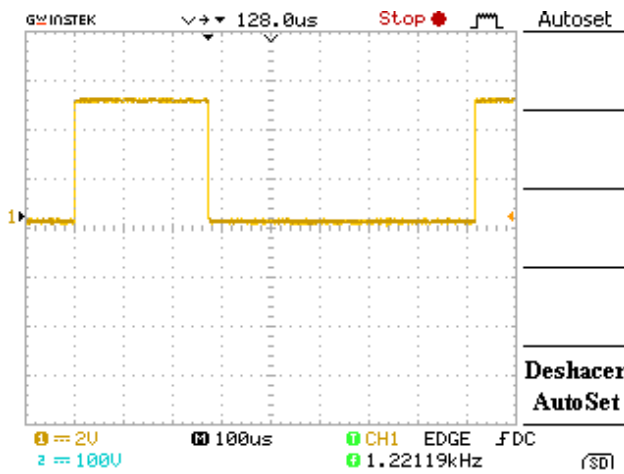


Fig. 4.9 Nivel luminoso: 214 – 33.55%

Fig. 4.9: 275 px - 33.55%

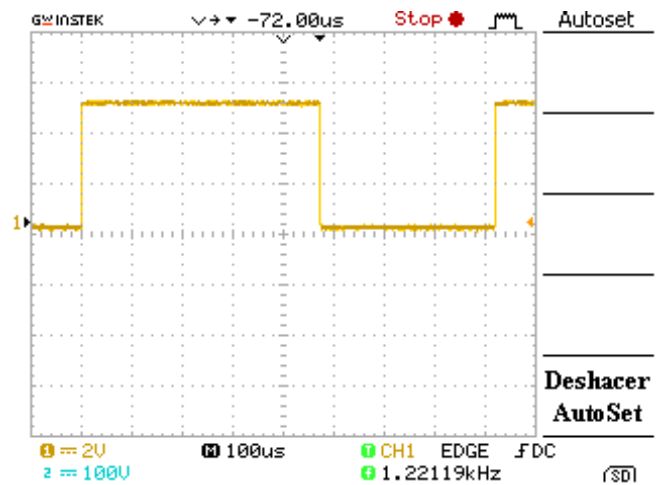


Fig. 4.10 Nivel luminoso: 234 - 57.95%

Fig. 4.10: 475 px - 57.95% \approx 57.922%

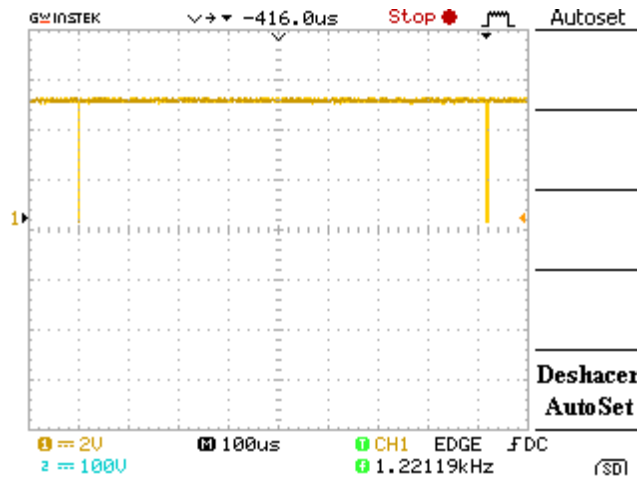


Fig. 4.11 Nivel luminoso: 254 – 99.918%

Fig. 4.11: 819 px - 99.918% ≈ 100%

4.2 Niveles de voltaje y forma de los bits en la interfaz DALI

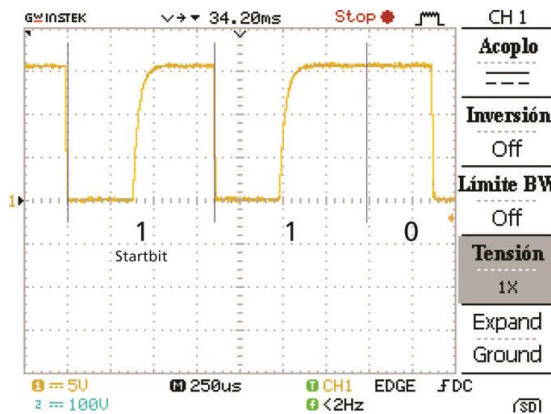


Fig. 4.12 Uno y Cero en forma bifásica

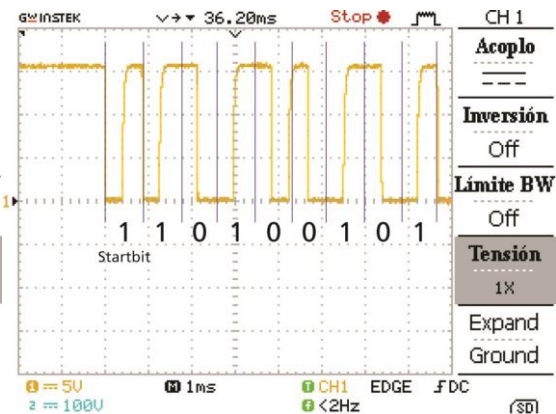


Fig. 4.13 Startbit seguido por la instrucción INITIALISE

Las mediciones obtenidas por el osciloscopio muestran los niveles de voltaje nominales a los que trabaja el sistema. Aproximadamente registra 0 V en estado activo y 16 V en estado inactivo aunque este último puede ser modificado gracias al *trimpot* ubicado en el circuito de la fuente DALI.

Tomando en cuenta que los bits son transmitidos en código bifase, la señal cambia conforme suceden los flancos de subida y bajada, así como el tiempo existente entre ellos. Una vez que es enviado el primer bit (*startbit* = 1) los bits subsecuentes comienzan a tomar un valor, dependiendo del tiempo que la señal permanezca en alto o en bajo, como se describió en el capítulo 2 y como muestra en la figura 4.12.

La figura 4.13 muestra el segmento de la trama de envío que representa el comando INITIALISE comenzando con el *startbit*.

4.3 Tiempo de levantamiento y tiempo de caída

El tiempo que tarda la interfaz DALI en cambiar de estado alto a bajo y viceversa debe de ser mayor a $10 \mu s$ y menor a $100 \mu s$ en ambos casos [11].

Para el tiempo de levantamiento:

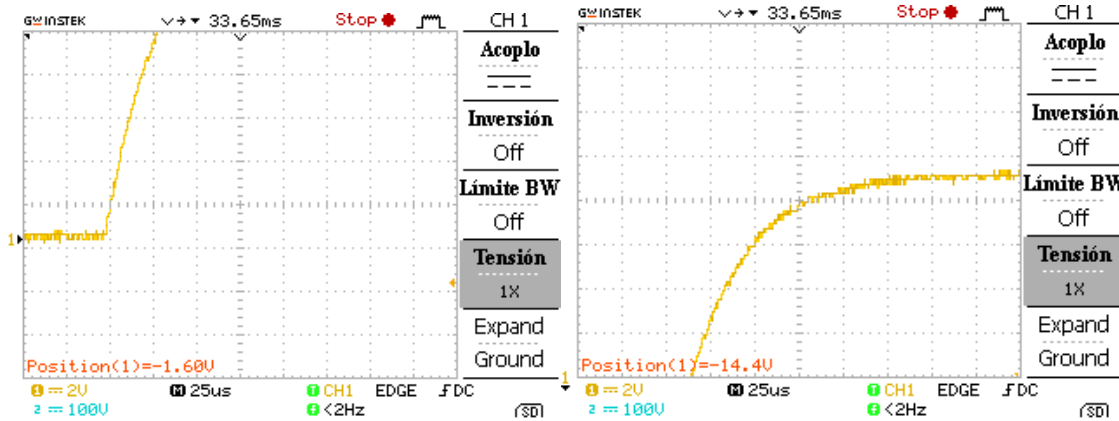


Fig. 4.14 Levantamiento en el 10% del valor final

Fig. 4.15 Levantamiento en el 90% del valor final

Se comenzó por medir el tiempo a partir de que la señal llega al 10% de su valor final (1.6 V) (figura 4.14). Posteriormente se desplazó la gráfica hacia abajo para obtener el valor donde la señal llega al 90% de su valor final (14.4 V) (figura 4.15). A una escala de $25 \mu s$ por cada 5 unidades podemos obtener el tiempo total de levantamiento para este sistema:

$$T_{lev} = 75 \mu s$$

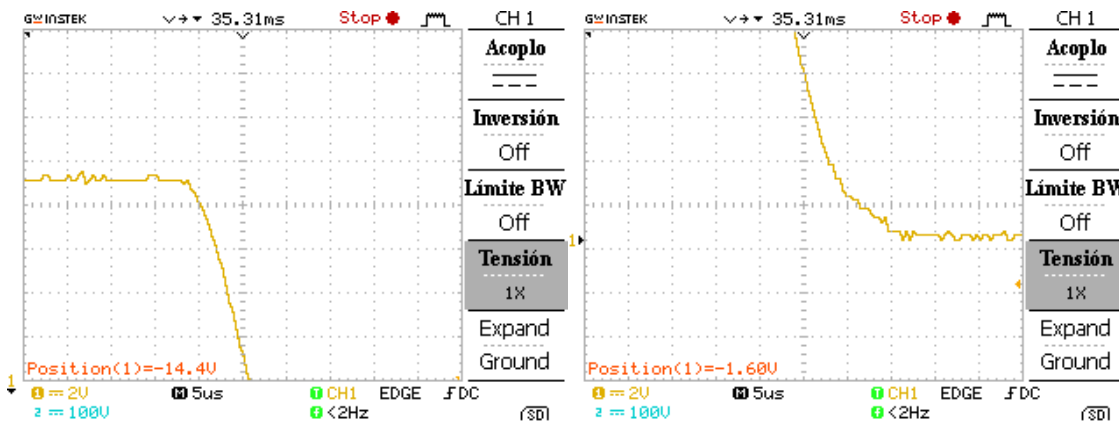


Fig. 4.16 Caída en el 10% del valor final

Fig.4.17 Caída en el 90% del valor final

Las figuras 4.16 y 4.17 muestran puntos importantes para calcular el tiempo de caída. La diferencia entre el tiempo en 90% y el tiempo en 10% es de 11 unidades. Utilizando la escala del osciloscopio ($1 \mu s$ por unidad) obtenemos un tiempo de:

$$T_{ca} = 11 \mu s$$

Tanto el tiempo de levantamiento como el de caída se encuentran dentro de los parámetros establecidos:

$$10 \mu s \leq T_{lev} \leq 100 \mu s \text{ y } 10 \mu s \leq T_{ca} \leq 100 \mu s$$

4.4 Duración de un periodo del código bifase

Como se mencionó en el capítulo 2, la mitad del periodo de un bit debe durar $416.67 \mu s \pm 10\%$.

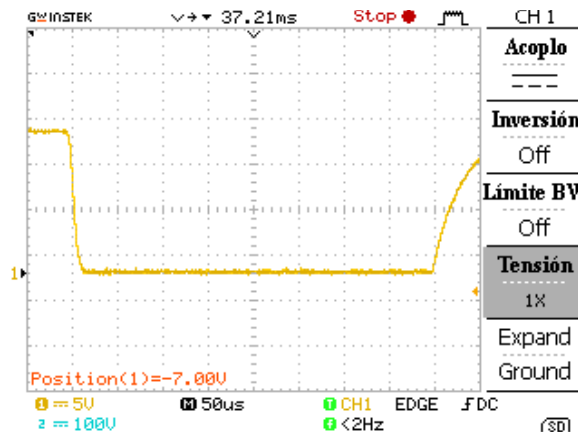


Fig. 4.18 T_e en estado activo

La figura 4.18 muestra la transición del estado inactivo al estado activo. Según las especificaciones técnicas el tiempo de un semiciclo debe ser medido desde que la señal cruza la línea de los 7 volts en flanco de bajada hasta que cruza los 7 volts en flanco de subida. Se midieron 41 unidades dentro de este lapso. Si cada unidad representa $10 \mu s$ obtenemos que su duración es de $T_e = 410 \mu s$.

$$T_e = 416.67 \mu s - 1.6\%$$

De acuerdo con el protocolo $T_{e_{max}}$ no debe superar los $500 \mu s$ y $T_{e_{min}}$ debe ser mayor que $334 \mu s$. En las siguientes gráficas se comprueban estas condiciones para el sistema implementado.

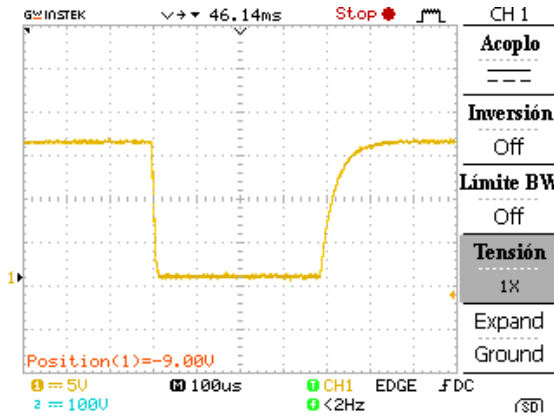


Fig. 4.19 $T_{e_{max}}$ del semiperiodo activo

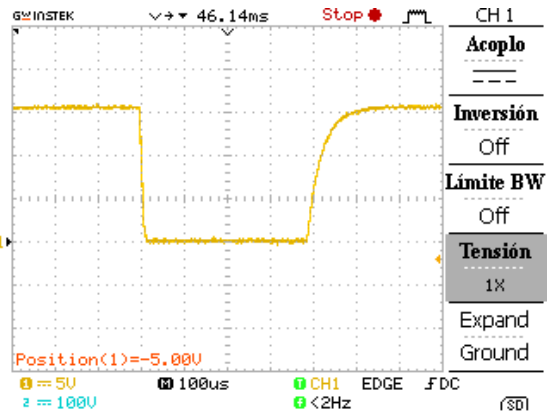


Fig. 4.20 $T_{e_{min}}$ del semiperiodo activo

La duración máxima y mínima de un T_e en el semiperiodo activo fue medido a 9 V y 5 V respectivamente (figuras 4.19 y 4.20) como el protocolo lo indica.

$$T_{e_{max}} = 420 \mu s \text{ (Fig. 3.55)}$$

$$T_{e_{min}} = 400 \mu s \text{ (Fig. 3.56)}$$

$$T_{max} \leq 500 \mu s \text{ y } T_{min} \leq 334 \mu s$$

A continuación se muestran los resultados de las mediciones en el semiperiodo inactivo.

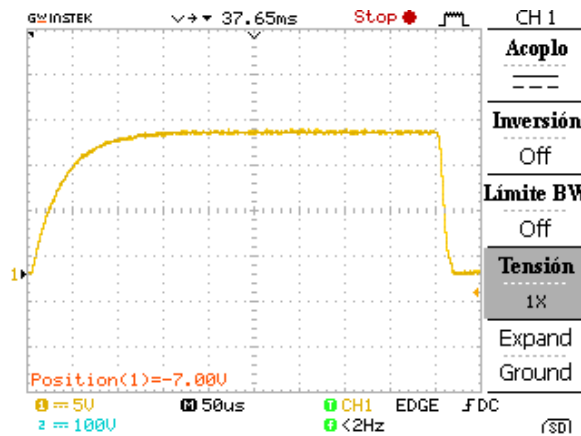


Fig. 4.21 T_e en estado inactivo

En el semiperiodo inactivo se obtuvo una medición de 430 unidades (figura 4.21).

$$T_e = 430 \mu s$$

$$T_e = 416.67 \mu s + 3.19\%$$

Del mismo modo se obtuvieron $T_{e_{max}}$ y $T_{e_{min}}$ del semiperiodo inactivo:

$$T_{e_{max}} = 430 \mu s \text{ (figura 4.22)}$$

$$T_{e_{min}} = 420 \mu s \text{ (figura 4.23)}$$

$$T_{max} \leq 500 \mu s \text{ y } T_{min} \leq 334 \mu s$$

Lo cual comprueba que la duración de T_e en cualquier nivel especificado se encuentra dentro de los valores aceptados.

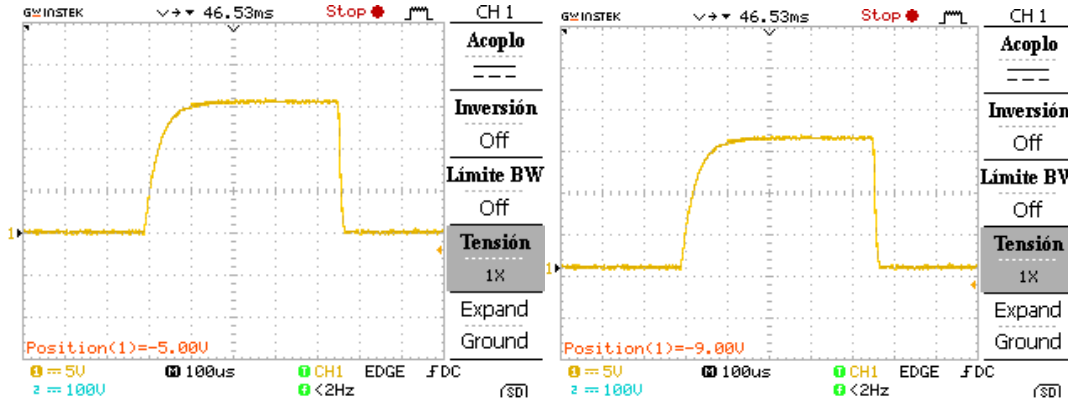


Fig. 4.22 $T_{e_{max}}$ del semiperiodo inactivo

Fig. 4.23 $T_{e_{min}}$ del semiperiodo inactivo

3.4.2 Tiempo de trama de envío

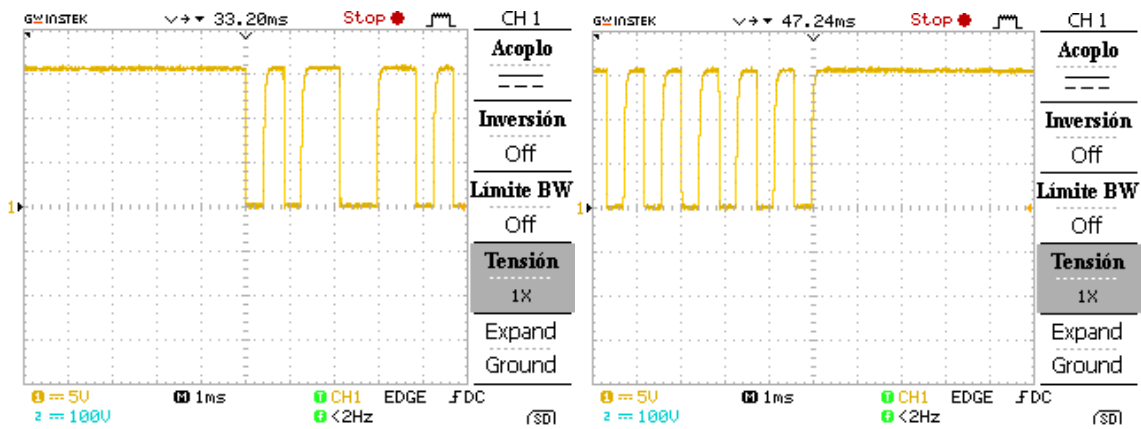


Fig. 4.24 Medición del tiempo al inicio de una trama

Fig. 4.25 Medición del tiempo al final de una trama

Se observó en el osciloscopio la duración de una trama de envío, estableciendo el inicio de esta en los 33.2 ms de la medición (figura 4.24). Al recorrer la gráfica hacia la izquierda observamos que la última interrupción ocurrió a los 47.24 ms (figura 4.25). Es preciso recordar que a pesar de que la última interrupción sucedió en este momento, la trama completa termina hasta que los 2 stopbits se han mandado (1.67 ms).

Con estos datos calculamos el tiempo total de la trama de envío:

$$T_{envío} = T_{final} + T_{stopbits} - T_{inicial} \quad (4.1)$$

$$T_{envío} = 47.24 \text{ ms} + 1.67 \text{ ms} - 33.2 \text{ ms}$$

$$T_{envío} = 15.71 \text{ ms}$$

El tiempo obtenido en la medición es bueno ya que de acuerdo con la documentación del protocolo DALI, el tiempo de la trama de envío debe tener una duración de entre 14.247 ms y 17.413 ms .

4.5 Tiempo de trama de respuesta

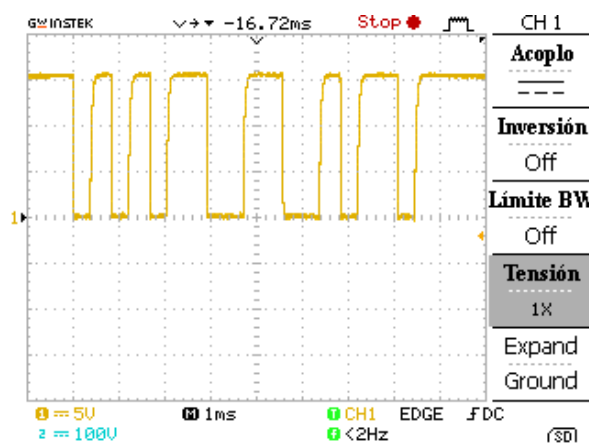


Fig. 4.26 Duración de una trama de respuesta

La gráfica de la figura 4.26 muestra la duración de la trama de respuesta:

$$T_{establización} + T_{stopbits} = T_{respuesta} \quad (4.2)$$

$$7.6 \text{ ms} + 1.67 \text{ ms} = 9.27 \text{ ms}$$

$$8.253 \text{ ms} < 9.27 \text{ ms} < 10.087 \text{ ms}$$

4.6 Tiempo entre tramas

Existen tiempos establecidos para responder a una instrucción o mandar una segunda instrucción, ya sea distinta o repetida. A continuación se confirman dichas mediciones de tiempo:

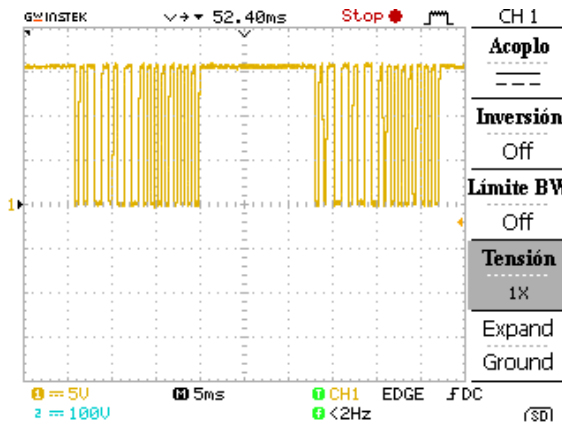


Fig. 4.27 Tiempo entre dos tramas de envío

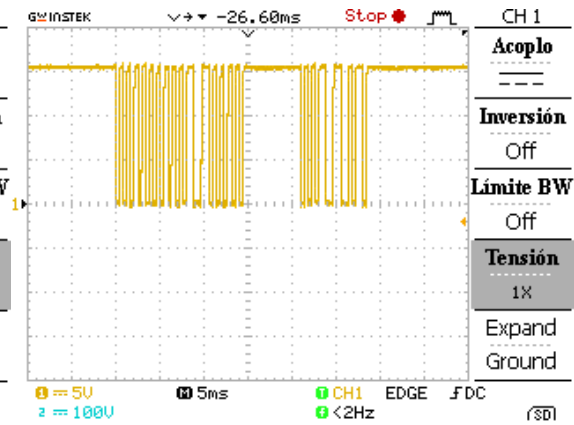


Fig.4.28 Tiempo entre una trama de envío y una de respuesta

En la figura 4.27 se muestra el voltaje de la línea DALI al mandar el comando INITIALISE en modo BROADCAST. Con anterioridad se señaló que este comando, al igual que algunos otros, debe mandarse 2 veces y la segunda vez debe de llegar en un lapso no mayor a 100 ms a partir del término de la primera. Cabe mencionar que esta condición debe satisfacerse simultáneamente con aquella que delimita el tiempo mínimo entre dos tramas de envío ($\geq 22 T_e$).

Agregando los stopbits en estado inactivo (1.67 ms) obtenemos que la primera trama termina 3.33 ms a la izquierda del eje de la ordenada. El intervalo de tiempo entre este instante y el inicio de la segunda trama es de aproximadamente 11.33 ms. Ya que 22 T_e equivale a 9.166 ms, el intervalo entre tramas es aceptable.

El intervalo entre el final de la primera trama y el final de la segunda esta dado entre los 3.33 ms a la izquierda del eje de las ordenadas y 23 ms + 1.67 ms a la derecha del mismo eje.

$$3.33 \text{ ms} + 23 \text{ ms} + 1.67 \text{ ms} = 28 \text{ ms}$$

Por lo que se satisface la condición de los 100 ms

En la segunda figura (4.28) se observa el tiempo entre trama de envío y trama de respuesta. Su duración (aproximadamente 6 ms) supera los 2.916 ms (7 T_e) y no sobrepasa los 9.166 ms (22 T_e) establecidos como límites en el protocolo DALI.

4.7 Corriente de la fuente DALI

Se realizó la medición de la corriente consumida en la interfaz DALI por cada elemento conectado. A continuación se muestran los resultados en la tabla 3.4.

Tabla 4.1 Corrientes Registradas

Dispositivo electrónico	Corriente en estado inactivo	Corriente en estado activo
Controlador Principal	1.153 mA	0.2 A
ECG	1.104 mA	0.21 A

4.8 Compatibilidad

Para comprobar la veracidad de nuestro sistema se utilizó además un balastro comercial DALI de la marca Huaru Lighting (figura 4.29). Los resultados fueron favorables ya que se logró una comunicación satisfactoria en conjunto con los otros. Se detectaron diferencias en cuanto a valores preestablecidos pero estos varían dependiendo del fabricante.



Fig. 4.29 Driver de LED comercial. [33]

A pesar de cumplir con todas las especificaciones técnicas y eléctricas, el sistema implementado no cumple con las especificaciones de protección y aislamiento descritas en el estándar IEC 61347-2-3. Para que este estándar se cumpla es necesario contar con algunas características como la implementación de tierra física y el desacoplo de tierras entre los dispositivos y la interfaz. Al tomar en cuenta estas nuevas especificaciones sería necesario rediseñar el circuito asegurarse de que los todos los dispositivos estén eléctricamente aislados de la interfaz DALI.

Conclusiones

Una de las principales razones por las que utilizamos el microcontrolador propuesto fue el conocimiento que poseíamos sobre su funcionamiento y programación al momento de comenzar a trabajar en el proyecto. Algunas herramientas, como los *timers* y comunicaciones seriales, fueron utilizadas recurrentemente pero existen otras, como los convertidores ADC y otros tipos de interrupciones, que no fueron requeridas. Es posible que un microcontrolador que contenga solamente las herramientas necesarias resulte más conveniente para este tipo de proyectos.

El problema principal del sistema propuesto fue la conexión realizada entre la tierra de los dispositivos (controlador principal y ECGs) y la tierra de la interfaz DALI debido a que no se obtiene una transferencia de datos de modo diferencial sino de modo común; aunque no se presentaron problemas graves de ruido eléctrico en este caso, el sistema propuesto está fallando a la naturaleza del protocolo y en instalaciones más complejas podría representar un problema importante. Además, las pruebas de la interfaz DALI se llevaron a cabo con cables relativamente cortos cuya resistencia resulta insignificante para poder apreciar una caída de voltaje entre un transmisor y un receptor.

En el caso de DALI, encontramos algunos comandos cuya implementación tiene relevancia sólo en instalaciones grandes. Algunas otras, como el control de lámparas individuales, serían poco recurridas en instalaciones de esta magnitud y por el contrario, muy utilizadas en instalaciones pequeñas o domésticas. El hecho de poder configurar el sistema por medio de software es una gran ventaja de este protocolo.

A pesar de que el protocolo DMX 512 es mucho más veloz en la transmisión, la capacidad de DALI de agrupar los componentes resulta mucho más conveniente ya que sólo se necesita mandar una trama de envío para ejecutar una acción. Con DMX 512 es necesario esperar a que todas las tramas se envíen para completar una instrucción. Además, al ser un protocolo de “baja velocidad” no requiere de un tipo de cable especial.

Las ventajas sobre el protocolo 0-10V son claras en el sentido de la instalación y agrupación ya que si se requiere formar grupos debe modificarse la conexión de las lámparas en el sistema y cada uno deberá tener un controlador independiente a comparación con uno único en DALI.

DALI es un protocolo que atiende las necesidades de control de iluminación actuales, aún así cuenta con la posibilidad de expandir sus capacidades involucrando nuevas instrucciones que permitan crear sistemas más robustos. El panorama de este protocolo es prometedor y apunta a ser adoptado por varias empresas involucradas en el sector de iluminación.

Trabajo a futuro

A pesar de que se pretendió seguir al pie de la letra las especificaciones del protocolo, decidimos omitir algunos comandos que consideramos innecesarios para los fines del proyecto, los cuales son: "ENABLE WRITE MEMORY", "WRITE MEMORY LOCATION", "QUERY POWER FAILURE", "QUERY CONTENT DTR1", "QUERY CONTENT DTR2", "READ MEMORY LOCATION", "QUERY EXTENDED VERSION NUMBER", "PHYSICAL SELECTION", "ENABLE DEVICE TYPE X", "DATA TRANSFER REGISTER 1", "DATA TRANSFER REGISTER 2". Como se observa, los comandos están relacionados con manipulación de memoria de los ECGs, selección física o solicitud de información de fábrica, por lo que no interfiere con la forma de manipular ni agrupar los dispositivos en una instalación. Al momento de que el sistema se vuelva más grande y complejo podría ser conveniente incluir estos comandos para tener mejor control y monitoreo.

El microcontrolador empleado en este proyecto tiene la capacidad de trabajar a una velocidad mayor que la utilizada pero no se requirió aprovechar esta característica debido a que la velocidad de operación del protocolo DALI es relativamente baja y todas las funciones y procesos pudieron ser realizados bajo la frecuencia de procesamiento utilizada. Si en algún momento se requirieran agregar procesos o extenderlos, es posible duplicar la velocidad manteniendo el mismo tipo de microcontrolador, cambiando únicamente el oscilador y algunas configuraciones de los contadores internos.

Es posible tomar medidas para que la activación de los LED se dé de manera más eficiente, pero por cuestiones de enfoque, no decidimos llevarlas a cabo. Si bien, la regulación por PWM permite manipular el ciclo de trabajo de las lámparas, cada arreglo de LED consume un voltaje distinto y con una resistencia comercial es difícil obtener la corriente nominal de funcionamiento. Al emplearse fuentes regulables de corriente sería posible suministrar la corriente exacta y eliminar este problema. Así mismo, la incursión en tecnologías de iluminación distintas a las propuestas en este trabajo podría incrementar la versatilidad del sistema. Desarrollar ECGs para lámparas

fluorescentes e incandescentes representaría nuevas soluciones para aplicaciones diversas.

Una modificación importante y práctica consistiría en unificar los cables de comunicación DALI con los cables de alimentación y tierra física. En este caso, se optó de manejarlos por separado debido a que el transformador de voltaje necesario en cada dispositivo ocuparía mucho espacio. Si se utilizaran transformadores más pequeños sería más sencillo lograr una configuración más práctica.

Sabemos que la interfaz gráfica, aunque cumple con las demandas de interacción entre el usuario y sistema, puede simplificar aún más la manera en que los comandos y dispositivos a controlar son elegidos. Una interfaz más intuitiva permitirá que el manejo de la iluminación suceda de manera sencilla y eficiente. Al mismo tiempo, la reducción del circuito y la sustitución de elementos electrónicos *through hole* por elementos de montaje superficial permitirán dispositivos más compactos.

Referencias

- [1] Instituto Cerdá. “La vivienda domótica: ahorro, confort, seguridad y comunicaciones”. Ministerio de Industria y Energía, Dirección General de Industrias y Tecnologías de la Información. Barcelona, 2000.
- [2] Recuperado de www.casadomo.com.mx. Febrero, 2013.
- [3] Recuperado de <http://www.electricasas.com/1>. Febrero, 2013
- [4] Recuperado de www.sunsoluciones.com. Febrero, 2013
- [2] DiLouie, Craig. Advanced Lighting Controls: energy savings, productivity, technology and applications. The Fairmont Press, Inc. Lilburn GA. ISBN 0-88173-511-6. United States of America, 2006.
- [3] Oliver, Kenneth G. Basic Industrial Electricity: A training and maintenance manual. Industrial Press Inc., New York NY, United States of America, 1991. ISBN 0-8311-3006-7.
4. DiLouie, Craig. Lighting Controls Handbook. The Fairmont Press, Inc. Lilburn GA, United States of America, 2008. ISBN 0-88173-574-4.
5. Flesch, Peter. Light and light sources: high- intensity discharge lamps. Springer Verlag, Berlín, 2006. ISBN 354-032-684-7.
6. Illuminating Engineering Society of North America. IESNA Lighting Handbook. IESNA, United States of America Ninth Edition. ISBN 0-87995-150-8.
7. Gago Calderón, Alfonso, Fraile Vilarrasa Jorge. Iluminación con tecnología LED. Ediciones Paraninfo, España, 2012. ISBN 13: 978-84-2833368-9.
8. LED de potencia 1 Watt. SILED.
9. Digital Addressable Lighting Interface (DALI) Control Devices Protocol. National Electrical Manufacturers Association. Versión 1.3. Rosslyn: NEMA Standards Publication, 2004.
10. Digitally Addressable Lighting Interface (DALI) Unit Using the MC68HC908KX8. Freescale Semiconductor, Inc. Rev. 3.0. 2002.
11. International Electrotechnical Commission, Digital addressable lighting interface - Part 101: General Requirements System. Edition 1.0, IEC publications, Geneva, Switzerland, 2009.
12. International Electrotechnical Commission, Digital addressable lighting interface - Part 102: General Requirements - Control gear. Edition 1.0, IEC publications, Geneva, Switzerland, 2009.
13. Philips Advance, The ABC's of DALI, a guide to Digital Addressable Lighting Interface. Philips Lighting electronics N.A. 2009.
14. Phillips, Introduction to DALI, BU Controls, 2008.

15. The DALI Guide. Artistic License Engineering Ltd. Versión 1.0. Londres.
 16. Digital Addressable Lighting Interface (DALI). Texas Instruments. SLAA422. Dallas. 2009.
 17. DALI slave using the LPC1112. NXP Semiconductors. Eindhoven, Holanda: 2010.
 18. The Lighting Conductor: DALI. OSRAM. Munich.
 19. LuxCONTROL Lighting Control System. TridonicAtco. DALI-MANUAL. Versión1. 2009.
 20. PIC18F2420/2520/4420/4520 Data Sheet. Microchip Technology Inc. DS39631E. 2008.
 21. PIC12F629/675 Data Sheet. Microchip Technology Inc. DS41190C. 2003.
 22. 6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output (4N25). Fairchild Semiconductor Corporation. 2000.
 23. IRLZ24N Power MOSFET. International Rectifier. California. 2002.
 24. DS1307 64x8, Serial, I2C Real-Time Clock. Maxim Integrated. California. 2008.
 25. 1N5817-1N5819 Schottky Barrier Rectifier. Fairchild Semiconductor Corporation. 2010.
 26. LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator. Fairchild Semiconductor Corporation. 2012.
 27. LM150/LM350A/LM350 3-Amp Adjustable Regulators. Texas Instruments. SNVS772A Dallas. 2004.
 28. International Rectifier, Application Note AN-937: Gate drive Characteristics and requirements for HEXFET POWER MOSFETs. IR.
 29. National Semiconductor, Power designer, expert tips, tricks and techniques for powerful designs, No. 126. National Semiconductor, 2009.
 30. Microchip, AN809 Digitally Addressable DALI Dimming Ballast, Microchip Technology Incorporated, U.S.A, 2002.
- [4] [5] Illuminating Engineering Society of North America. IESNA Lighting Handbook. IESNA, United States of America Ninth Edition. ISBN 0-87995-150-8. pág. 10.
- [6] [7] Imagen obtenida de hoja de especificaciones de LED de 1 watt de potencia SiLED.
- [8] [9] Imagen obtenida de Estándar 60929 Anexo E.
- [10] Imagen obtenida de <http://www.erwinrol.com/dmx512/>. Febrero, 2013
- [11] [12] [13] Basada en las imágenes en <http://www.ruilang.com/jsyd/x10yy-right.htm>. Febrero, 2013.

- [14] [15] Sistema de control DALI, BIEL light+building, http://www.biel.com.ar/Congreso_Presentaciones/Sistemas%20de%20control%20de%20iluminacion%20bajo%20protocolo%20DALI.pdf. Febrero, 2013.
- [16] OSRAM, http://www.osram.com/osram_com/trends-and-knowledge/light-management-systems/technologies/dali/index.jsp. Febrero, 2013.
- [17] [18] Philips Advance, The ABC's of DALI, a guide to Digital Addressable Lighting Interface. Philips Lighting electronics N.A. 2009, pag. 5, pag. 9.
- [19] - [28] Digital addressable lighting interface - Part 102: General Requirements - Control gear.
- [29] [30] Digital addressable lighting interface - Part 101: General Requirements - Control gear.
- [32] Digital addressable lighting interface - Part 102: General Requirements - Control gear.
- [33] Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Estándar IEEE802.3.
- [34] Imagen obtenida de <https://www.sparkfun.com/products/10268>. Febrero, 2013.
- [35] IRLZ24N Power MOSFET. International Rectifier. California. 2002.
- [36] Phillips, Introduction to DALI, BU Controls, 2008.
- [37] Obtenida de <http://huaruilighting.en.alibaba.com>. Febrero, 2013.

Anexo A / Tablas

Tabla 2.1 Curva de Regulación Logarítmica

<i>n</i>	<i>X</i>	<i>n</i>	<i>X</i>	<i>n</i>	<i>X</i>
1	0.100	53	0.414	105	0.100
2	0.103	54	0.425	106	0.103
3	0.106	55	0.437	107	0.106
4	0.109	56	0.449	108	0.109
5	0.112	57	0.461	109	0.112
6	0.115	58	0.474	110	0.115
7	0.118	59	0.487	111	0.118
8	0.121	60	0.501	112	0.121
9	0.124	61	0.515	113	0.124
10	0.128	62	0.529	114	0.128
11	0.131	63	0.543	115	0.131
12	0.135	64	0.559	116	0.135
13	0.139	65	0.574	117	0.139
14	0.143	66	0.590	118	0.143
15	0.147	67	0.606	119	0.147
16	0.151	68	0.623	120	0.151
17	0.155	69	0.640	121	0.155
18	0.159	70	0.658	122	0.159
19	0.163	71	0.676	123	0.163
20	0.168	72	0.695	124	0.168
21	0.173	73	0.714	125	0.173
22	0.177	74	0.734	126	0.177
23	0.182	75	0.754	127	0.182
24	0.187	76	0.775	128	0.187
25	0.193	77	0.796	129	0.193
26	0.198	78	0.819	130	0.198
27	0.203	79	0.841	131	0.203
28	0.209	80	0.864	132	0.209
29	0.215	81	0.888	133	0.215
30	0.221	82	0.913	134	0.221
31	0.227	83	0.938	135	0.227
32	0.233	84	0.964	136	0.233
33	0.240	85	0.991	137	0.240
34	0.246	86	1.018	138	0.246
35	0.253	87	1.047	139	0.253
36	0.260	88	1.076	140	0.260
37	0.267	89	1.105	141	0.267
38	0.275	90	1.136	142	0.275
39	0.282	91	1.167	143	0.282
40	0.290	92	1.200	144	0.290
41	0.298	93	1.233	145	0.298

<i>n</i>	<i>X</i>	<i>n</i>	<i>X</i>	<i>n</i>	<i>X</i>
42	0.306	94	1.267	146	0.306
43	0.315	95	1.302	147	0.315
44	0.324	96	1.338	148	0.324
45	0.332	97	1.375	149	0.332
46	0.342	98	1.413	150	0.342
47	0.351	99	1.452	151	0.351
48	0.361	100	1.492	152	0.361
49	0.371	101	1.534	153	0.371
50	0.381	102	1.576	154	0.381
51	0.392	103	1.620	155	0.392
52	0.402	104	1.665	156	0.402
157	7.076	190	17.422	223	42.895
158	7.272	191	17.905	224	44.083
159	7.473	192	18.400	225	45.303
160	7.680	193	18.909	226	46.557
161	7.893	194	19.433	227	47.846
162	8.111	195	19.971	228	49.170
163	8.336	196	20.524	229	50.531
164	8.567	197	21.092	230	51.930
165	8.804	198	21.675	231	53.367
166	9.047	199	22.275	232	54.844
167	9.298	200	22.892	233	56.362
168	9.555	201	23.526	234	57.922
169	9.820	202	24.177	235	59.526
170	10.091	203	24.846	236	61.173
171	10.371	204	25.534	237	62.866
172	10.658	205	26.241	238	64.607
173	10.953	206	26.967	239	66.395
174	11.256	207	27.713	240	68.233
175	11.568	208	28.480	241	70.121
176	11.888	209	29.269	242	72.062
177	12.217	210	30.079	243	74.057
178	12.555	211	30.911	244	76.107
179	12.902	212	31.767	245	78.213
180	13.260	213	32.646	246	80.378
181	13.627	214	33.550	247	82.603
182	14.004	215	34.479	248	84.889
183	14.391	216	35.433	249	87.239
184	14.790	217	36.414	250	89.654
185	15.199	218	37.422	251	92.135
186	15.620	219	38.457	252	94.686
187	16.052	220	39.522	253	97.307
188	16.496	221	40.616	254	100.000
189	16.953	222	41.740		

Tabla 2.2 Tiempo y Tasa de Desvanecimiento

X	Tiempo de Desvanecimiento (s)	Tasa de Desvanecimiento (pasos/s)
0	No aplica	No aplica
1	0.7	358
2	1.0	253
3	1.4	179
4	2.0	127
5	2.8	89.4
6	4.0	63.
7	5.7	44.7
8	8.0	31.6
9	11.3	22.4
10	16.0	15.8
11	22.6	11.2
12	32.0	7.9
13	45.3	5.6
14	64.0	4.0
15	90.5	2.8

Tabla 2.3 Declaración de Variables

Variable	Valor Inicial	Valor de Reinicialización	Rango Válido de Valores	Memoria
"ACTUAL LEVEL"	???? ????	254	0-254 MIN - MAX LEVEL	1 byte RAM
"POWER ON LEVEL"	254	254	0-255("MASK")	1 byte ROM
"SYSTEM FAILURE LEVEL"	254	254	0-255("MASK")	1 byte ROM
"MIN LEVEL"	"PHYSICAL MIN LEVEL"	"PHYSICAL MIN LEVEL"	PHYSICAL MIN LEVEL - MAX LEVEL	1 byte ROM
"MAX LEVEL"	254	254	MIN LEVEL - 254	1 byte ROM
"FADE RATE"	7	7	1 - 15	1 byte ROM
"FADE TIME"	0	0	0 - 16	1 byte ROM
"SHORT ADDRESS"	255 ("MASK") sin dirección	sin cambio	0 - 63 ^d 255("MASK")	1 byte ROM
"SEARCH ADDRESS"	FF FF FF	FF FF FF	00 00 00 - FF FF FF	3 bytes RAM
"RANDOM ADDRESS"	FF FF FF	FF FF FF	00 00 00 - FF FF FF	1 byte ROM
"GROUP 0-7"	0000 0000 (no group)	0000 0000 (no group)	0 - 255	1 byte ROM
"GROUP 8-15"	0000 0000 (no group)	0000 0000 (no group)	0 - 255	1 byte ROM
"SCENE 0-15" ^a	255 ("MASK")	255 ("MASK")	0-255("MASK")	16 bytes ROM
"STATUS INFORMATION"	1??0 ????	0?10 0???	0 - 255	1 byte RAM
"DTR"	???? ????	???? ????	0 - 255	1 byte RAM
"VERSION NUMBER"	1	sin cambio	0 - 255	1 byte ROM
"PHYSICAL MIN LEVEL"	54	sin cambio	1 - 254	1 byte ROM

Anexo B / Comandos

Comandos de control de intensidad

Comando de control directo de nivel de intensidad

Comando -: YAAA AAA0 XXXX XXXX "DIRECT ARC POWER CONTROL"

El nivel de intensidad deberá tomar el valor que contiene el byte de datos usando el tiempo de desvanecimiento actual. Durante el desvanecimiento, el bit 4 del STATUS deberá indicar que el desvanecimiento está en proceso.

Si se requiere ir a un nivel que sobrepase los niveles máximos o mínimos, la intensidad de luz deberá respetar estos límites y no llegar al nivel pedido.

Comandos de control indirecto de nivel de intensidad

Comando 0: YAAA AAA1 0000 0000 "OFF"

La lámpara deberá apagarse sin ningún tipo de desvanecimiento.

Comando 1: YAAA AAA1 0000 0001 "UP"

La lámpara deberá aumentar su nivel de intensidad durante 200 *ms* usando la tasa de desvanecimiento actual. Durante el desvanecimiento el bit 4 del STATUS deberá expresar que hay un desvanecimiento en proceso.

Si durante el proceso se recibe nuevamente el comando, se ejecutará otra vez la instrucción.

No deberá cambiar el nivel si es que ya se llegó al nivel máximo

Este comando no causará que la lámpara se encienda.

Comando 2: YAAA AAA1 0000 0010 "DOWN"

La lámpara deberá disminuir su nivel de intensidad durante 200ms usando la tasa de desvanecimiento actual. Durante el desvanecimiento el bit 4 del STATUS deberá expresar que hay un desvanecimiento en proceso.

Si durante el proceso se recibe nuevamente el comando, se ejecutará otra vez la instrucción.

No deberá cambiar el nivel si es que ya se llegó al nivel mínimo.

Este comando no causará que la lámpara se apague.

Comando 3: YAAA AAA1 0000 0011 “STEP UP”

El nivel de intensidad deberá aumentar un paso inmediatamente.

No deberá haber ningún cambio si es que ya se llegó al nivel máximo permitido.

Este comando no causará que la lámpara se encienda.

Comando 4: YAAA AAA1 0000 0100 “STEP DOWN”

El nivel de intensidad deberá disminuir un paso inmediatamente.

No deberá haber ningún cambio si es que ya se llegó al nivel mínimo permitido.

Este comando no causará que la lámpara se apague.

Comando 5: YAAA AAA1 0000 0101 “RECALL MAX LEVEL”

El nivel actual de intensidad deberá tomar el valor del nivel máximo sin desvanecerse.

Si la lámpara se encuentra apagada, deberá prenderse.

Comando 6: YAAA AAA1 0000 0110 “RECALL MIN LEVEL”

El nivel actual de intensidad deberá tomar el valor del nivel mínimo sin desvanecerse.

Si la lámpara se encuentra prendida, deberá apagarse.

Comando 7: YAAA AAA1 0000 0111 “STEP DOWN AND OFF”

El nivel de intensidad deberá disminuir un paso inmediatamente. Si se llega al nivel 0 o al nivel mínimo la lámpara deberá apagarse.

Comando 8: YAAA AAA1 0000 1000 “ON AND STEP UP”

El nivel de intensidad deberá aumentar un paso inmediatamente. Si la lámpara se encuentra apagada ésta deberá prenderse y tomar el valor del nivel mínimo.

Comando 9: YAAA AAA1 0000 1001 “ENABLE DAPC SEQUENCE”

Este comando deberá marcar el inicio de una secuencia para la regulación de intensidad de luz (dimmer) dinámicamente.

Consiste en mandar cada 200 *ms* o menos el comando “DIRECT ARC POWER CONTROL” . La secuencia terminará si pasaron 200 *ms* sin haber recibido esta

instrucción. Esta secuencia deberá ser abortada si es que se recibe otra instrucción referente al control indirecto de nivel de intensidad.

Durante la secuencia de regulación de intensidad de luz el tiempo de desvanecimiento actual debe ser remplazado por uno que sea mayor o igual a 200 ms. Una vez concluida la secuencia, el valor del tiempo de desvanecimiento deberá tomar el valor que poseía anteriormente.

Comando 16 - 31: YAAA AAA1 0001 XXXX "GO TO SCENE"

El nivel de intensidad actual deberá tomar el valor que previamente fue almacenado en la escena número XXXX (SCENE, tabla 2.3). Dentro de transcurso de un nivel a otro el bit 4 del la variable STATUS deberá indicar que hay un desvanecimiento en proceso.

Si se recibe el número de una escena que no ha sido previamente establecida no se dará cambio alguno.

Comandos de Configuración

Comandos de configuración general

Todos los comando de configuración (32 – 129) deben recibirse una segunda vez dentro de un lapso de 100ms (figura 2.19) antes de ser ejecutado para así reducir cualquier probabilidad de error. No se debe recibir ningún otro tipo de instrucción durante este tiempo, si es así, la instrucción será abortada.

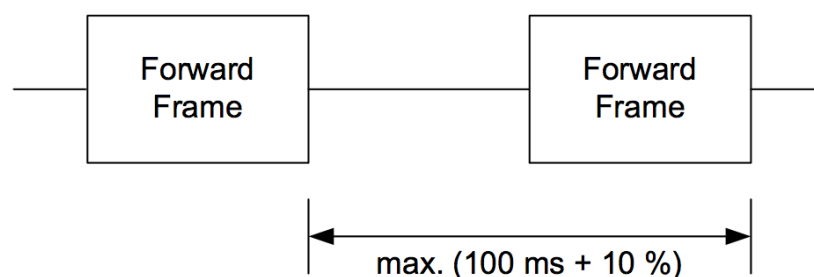


Fig. 2.19 Tiempo de doble recepción [24]

Comando 32: YAAA AAA1 0010 0000 "RESET"

Las variables de memoria deberán tomar el valor de inicio.

Comando 33: YAAA AAA1 0010 0001 “STORE DE ACTUAL LEVEL IN THE DTR”

El nivel de intensidad actual deberá ser almacenado en la variable DTR (tabla 2.3).

Ajustes de los parámetros de nivel de intensidad

Comando 42: YAAA AAA1 0010 1010 “STORE THE DTR AS MAX LEVEL”

El valor dentro de la variable “Data Transfer Register” deberá ser guardado como el nuevo nivel máximo. Se almacenará en la variable “MAX LEVEL” (tabla 2.3).

Si este nivel está por debajo del nivel mínimo del ECG entonces el nivel mínimo será almacenado como el nuevo nivel máximo.

Si el nivel actual esta por arriba del nuevo nivel máximo, éste deberá tomar el valor del nuevo nivel máximo sin desvanecimiento alguno.

Si el contenido de la variable DTR es MASK, entonces en valor de 254 será almacenado como el nuevo nivel máximo.

Comando 43: YAAA AAA1 0010 1011 “STORE THE DTR AS MIN LEVEL”

El valor dentro de la variable “Data Transfer Register” deberá ser guardado como el nuevo nivel mínimo. Se almacenará en la variable “MIN LEVEL” (tabla 2.3). Si este valor esta por debajo del nivel mínimo físicamente posible, entonces el nivel mínimo tomará ese valor.

Si este nivel está por arriba del nivel máximo del ECG entonces el nivel máximo será almacenado como el nuevo nivel mínimo.

Si el nivel actual esta por debajo del nuevo nivel mínimo, éste deberá tomar el valor del nuevo nivel mínimo sin desvanecimiento alguno, pero si el nivel actual es “0” (off) este comando no deberá afectar de ninguna manera al ECG.

Comando 44: YAAA AAA1 0010 1100 “STORE THE DTR AS SYSTEM FAILURE LEVEL”

El valor de la variable DTR deberá ser almacenado como el nuevo nivel al que se debe llegar si es que hay un fallo en el sistema (SYSTEM FAILURE LEVEL, tabla 2.3).

Comando 45: YAAA AAA1 0010 1101 “STORE THE DTR AS POWER ON LEVEL”

El valor de la variable DTR deberá ser almacenado como el nuevo nivel que el ECG tomará al ser encendido (POWER ON LEVEL, tabla 2.3).

Comando 46: YAAA AAA1 0010 1110 “STORE THE DTR AS FADE TIME”

El valor de la variable DTR ($1 \leq \text{DTR} \leq 15$) deberá ser almacenado como el nuevo nivel de tiempo de desvanecimiento (FADE TIME). Consultar tablas 2.2 y 2.3

Si se recibe la instrucción del almacenar un nuevo nivel de tiempo de desvanecimiento durante el proceso de desvanecimiento (STATUS, bit 4), deberá terminar primero antes de poder utilizar el nuevo nivel.

Comando 47: YAAA AAA1 0010 1111 “STORE THE DTR AS FADE RATE”

El valor de la variable DTR ($1 \leq \text{DTR} \leq 15$) deberá ser almacenado como el nuevo nivel de tasa de desvanecimiento (FADE RATE). Consultar tablas 2.2 y 2.3.

Si se recibe la instrucción del almacenar un nuevo nivel de tasa de desvanecimiento durante el proceso de desvanecimiento (STATUS, bit4), deberá terminar primero antes de poder utilizar el nuevo nivel,

Comando 64 - 79: YAAA AAA1 0100 XXXX “STORE THE DTR AS SCENE”

El valor de la variable DTR deberá ser almacenado como el nuevo nivel de intensidad de luz de la escena XXXX (SCENE, tabla2.3).

Ajustes de los parámetros del sistema

Comando 80 - 95: YAAA AAA1 0101 XXXX “REMOVE FROM SCENE”

El ECG deberá ser removido de escena XXXX (SCENE, tabla2.3).

Al removerlo de la escena, su registro deberá tomar el valor de 255 (MASK).

Comando 96 - 111: YAAA AAA1 0110 XXXX “ADD TO GROUP”

El ECG deberá ser agregado al grupo XXXX (GROUPS 0-7/ GROUPS 8-15, tabla 2.3).

Al agregarlo al grupo, se deberá poner en uno el bit del registro del grupo correspondiente.

Comando 112 - 127: YAAA AAA1 0111 XXXX "REMOVE FROM GROUP"

El ECG deberá ser removido del grupo XXXX (GROUPS 0-7/ GROUPS 8-15, tabla 2.3).

Al removerlo del grupo, se deberá poner en cero el bit del registro del grupo correspondiente.

Comando 128: YAAA AAA1 1000 0000 "STORE DTR AS SHORT ADDRESS"

El valor de la variable DTR deberá ser almacenado como la nueva dirección del ECG (SHORT ADDRESS, tabla 2.3)

Comandos de Consulta

Consultas relacionadas el estado del ECG

Si todas las variables de la tabla 2.3 contienen su valor de inicio se considera que están en "ESTADO *RESET*".

Comando 144: YAAA AAA1 1001 0000 "QUERY STATUS"

La respuesta dependerá de los siguientes factores:

- Bit 0 Estado del ECG 0 = OK
- Bit 1 Fallo de lámpara 0 = OK
- Bit 2 ECG encendido 0 = Apagado
- Bit 3 Consulta: Error límite 0 = El último nivel requerido está entre el nivel mínimo y el nivel máximo o se encuentra apagado.
- Bit 4 Desvanecimiento en proceso 0 = OK
- Bit 5 ¿Estado Reset? 0 = No
- Bit 6 ¿Tiene asignada una dirección? 0 = No
- Bit 7 ¿Falla inicial? 0 = No

La información sobre el estado de la variable STATUS deberá ser guardada en memoria RAM.

Comando 145: YAAA AAA1 1001 0001 “QUERY CONTROL GEAR”

Pregunta si es que hay un ECG con la dirección dada. Responderá “sí” o “no”.

Comando 147: YAAA AAA1 1001 0011 “QUERY LAMP POWER
ON”

Pregunta si el ECG se encuentra encendido y cuenta con la dirección dada. La respuesta deberá ser “sí” o “no”.

Comando 148: YAAA AAA1 1001 0100 “QUERY LIMIT ERROR”

Pregunta si el último nivel de intensidad requerida no se pudo alcanzar ya que se encontraba por debajo del nivel mínimo o por arriba del nivel máximo. La respuesta deberá ser “sí” o “no”.

Comando 149: YAAA AAA1 1001 0101 “QUERY RESET STATE”

Pregunta si el ECG se encuentra en su estado inicial (estado *reset*). La respuesta deberá ser “sí” o “no”.

Comando 150: YAAA AAA1 1001 0110 “QUERY MISSING SHORT
ADDRESS”

Pregunta si el ECG no tiene dirección asignada. La respuesta deberá ser “sí” si es que no la tiene.

Comando 151: YAAA AAA1 1001 0111 “QUERY VERSION
NUMBER”

La respuesta deberá ser 1.

Comando 152: YAAA AAA1 1001 1000 “QUERY CONTENT DTR”

La respuesta deberá ser el contenido de la variable “DTR”.

Comando 153: YAAA AAA1 1001 1001 “QUERY DEVICE TYPE”

La respuesta dependerá del tipo de dispositivos que el ECG puede manejar (ver anexo A, tabla 2.3). Si el ECG controla más de un tipo de dispositivo, la respuesta deberá ser “MASK”.

Comando 154: YAAA AAA1 1001 1010 “QUERY PHYSICAL MIN LEVEL”

La respuesta deberá ser el nivel mínimo que puede manejar el ECG.

Consultas relacionadas con los ajustes de los parámetros del sistema

Comando 160: YAAA AAA1 1010 0000 “QUERY ACTUAL LEVEL”

La respuesta deberá el nivel de intensidad actual.

Comando 161: YAAA AAA1 1010 0001 “QUERY MAX LEVEL”

La respuesta deberá ser el nivel máximo (MAX LEVEL).

Comando 162: YAAA AAA1 1010 0010 “QUERY MIN LEVEL”

La respuesta deberá ser el nivel mínimo (MIN LEVEL).

Comando 163: YAAA AAA1 1010 0011 “QUERY POWER ON LEVEL”

La respuesta deberá ser el nivel de encendido (POWER ON LEVEL).

Comando 164: YAAA AAA1 1010 0100 “QUERY SYSTEM FAILURE LEVEL”

La respuesta deberá ser el nivel al que se debe llegar si es que hay un fallo en el sistema (SYSTEM FAILURE LEVEL).

Comando 165: YAAA AAA1 1010 0101 “QUERY FADE TIME/FADE RATE”

La respuesta deberá ser XXX YYYY, donde XXXX es el tiempo de desvanecimiento y YYYY es la tasa de desvanecimiento.

Consultas relacionadas con los parámetros del sistema

Comando 176 - 191: YAAA AAA1 1011 XXXX “QUERY SCENE LEVEL (0-15)”

La respuesta deberá ser el nivel de la escena XXXX.

Comando 192: YAAA AAA1 1100 0000 “QUERY GROUPS 0 - 7”

La respuesta deberá ser el valor contenido en la variable “GROUPS 0 – 7” del cual cada bit indica si el ECG se encuentra en determinado grupo. Por ejemplo, si el byte fuera 1000 0001 indicaría que el ECG forma parte tanto del grupo 0 como del 7.

Comando 193: YAAA AAA1 1100 0001 “QUERY GROUPS 8 - 15”

La respuesta deberá ser el valor contenido en la variable “GROUPS 8 – 15” del cual cada bit indica si el ECG se encuentra en determinado grupo. Por ejemplo, si el byte fuera 1000 0001 indicaría que el ECG forma parte tanto del grupo 8 como del 15.

Comando 194: YAAA AAA1 1100 0010 “QUERY RANDOM
ADDRESS HIGH”

La respuesta deberá ser la parte alta del número aleatorio de 24 bits creado para la asignación de direcciones.

Comando 195: YAAA AAA1 1100 0011 “QUERY RANDOM
ADDRESS MEDIUM”

La respuesta deberá ser la parte media del número aleatorio de 24 bits creado para la asignación de direcciones.

Comando 196: YAAA AAA1 1100 0100 “QUERY RANDOM
ADDRESS LOW”

La respuesta deberá ser la parte baja del número aleatorio de 24 bits creado para la asignación de direcciones.

Comandos especiales

Finalizar procesos especiales

Comando 256: 1010 0001 0000 0000 “TERMINATE”

Los procesos especiales deberán ser finalizados.

Descargar información a la DTR

Comando 257: 1010 0011 0000 0001 “DATA TRANSFER
REGISTER (DTR)”

Un valor de 8 bits deberá ser almacenado en la variable DTR.

Comandos de direccionamiento

Estos comandos difieren a los demás al cambiar la estructura del byte de dirección y el byte de datos.

Comando 258: 1010 0101 XXXX XXXX “INITIALISE”

Este comando deberá ser recibido una segunda más dentro de un lapso de 100ms antes de ser ejecutado para así reducir cualquier probabilidad de error. No se debe recibir ningún otro tipo de instrucción durante este tiempo, si es así, la instrucción será abortada.

Al recibir este comando se debe inicializar un temporizador de 15 minutos, el cuál marca el proceso de inicialización. Los comandos 259 – 270 sólo podrán ser procesados dentro de este lapso. Para abortar este periodo deberá ser recibida la instrucción “TERMINATE”.

La reacción del ECG dependerá del segundo byte (byte de datos):

- XXXX XXXX = 0000 0000 Todos los ECGs deberán reaccionar.
- XXXX XXXX = 0AAA AAA1 El ECG con la dirección AAAAAA deberá reaccionar.
- XXXX XXXX = 1111 1111 ECGs sin dirección deberán reaccionar.

Comando 259: 1010 0111 0000 0000 “RANDOMISE”

Este comando deberá ser recibido una segunda más dentro de un lapso de 100ms antes de ser ejecutado para así reducir cualquier probabilidad de error. No se debe recibir ningún otro tipo de instrucción durante este tiempo, si es así, la instrucción será abortada.

Al recibir este comando el ECG tendrá que crear un número aleatorio de 24 bits (RANDOM ADDRESS, tabla 2.3).

Comando 260: 1010 1001 0000 0000 “COMPARE”

El ECG deberá comparar el número aleatorio previamente creado con la dirección de búsqueda (SEARCH ADDRESS, tabla 2.3) almacenado en tres bytes: SEARCHADDRH, SEARCHADDRM, SEARCHADDRL.

Si el número aleatorio es menor o igual a la dirección de búsqueda, el ECG responderá “sí”.

Comando 261: 1010 1011 0000 0000 “WITHDRAW”

El ECG, del cual su número aleatorio y su dirección de búsqueda son iguales, deberá ser excluido del proceso de comparación. El ECG no deberá ser excluido del proceso de inicialización.

Comando 264: 1011 0001 HHHH HHHH “SEARCHADDRH”

Almacena el byte más significativo de la dirección de búsqueda.

Comando 265: 1011 0011 MMMM MMMM “SEARCHADDRM”

Almacena el byte medianamente significativo de la dirección de búsqueda.

Comando 266: 1011 0101 LLLL LLLL “SEARCHADDRL”

Almacena el byte menos significativo de la dirección de búsqueda.

Comando 267: 1011 0111 0AAA AAA1 “PROGRAM SHORT ADDRESS”

Una vez seleccionado el ECG (el número aleatorio y la dirección de búsqueda son iguales) deberá guardar AAAAAA como su nueva dirección.

Si el byte de datos de este comando es MASK, significa “borrar la dirección”.

Comando 268: 1011 1001 0AAA AAA1 “VERIFY SHORT ADDRESS”

El ECG deberá responder “si” si AAAAAA es igual a su dirección.

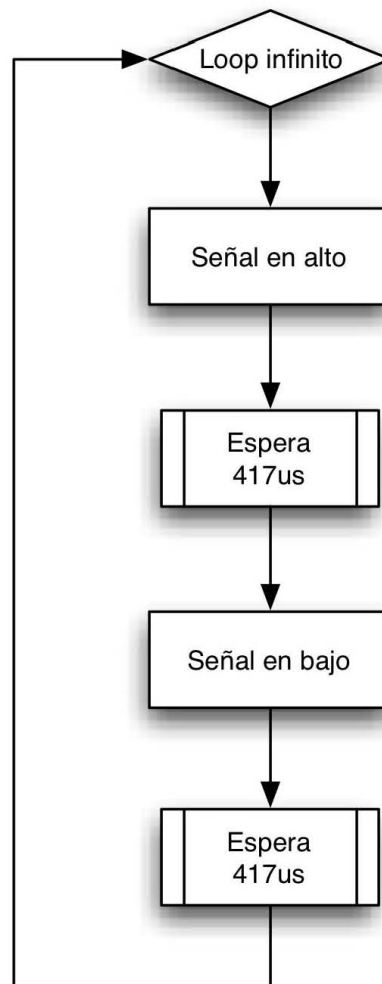
Comando 269: 1011 1011 0000 0000 “QUERY SHORT ADDRESS”

El ECG deberá responder su dirección si el número aleatorio es igual a la dirección de búsqueda. Deberá responder 0AAA AAA1, donde AAAAAA es su dirección, o MASK si es que no tiene dirección asignada.

Anexo C / Diagramas de Flujo

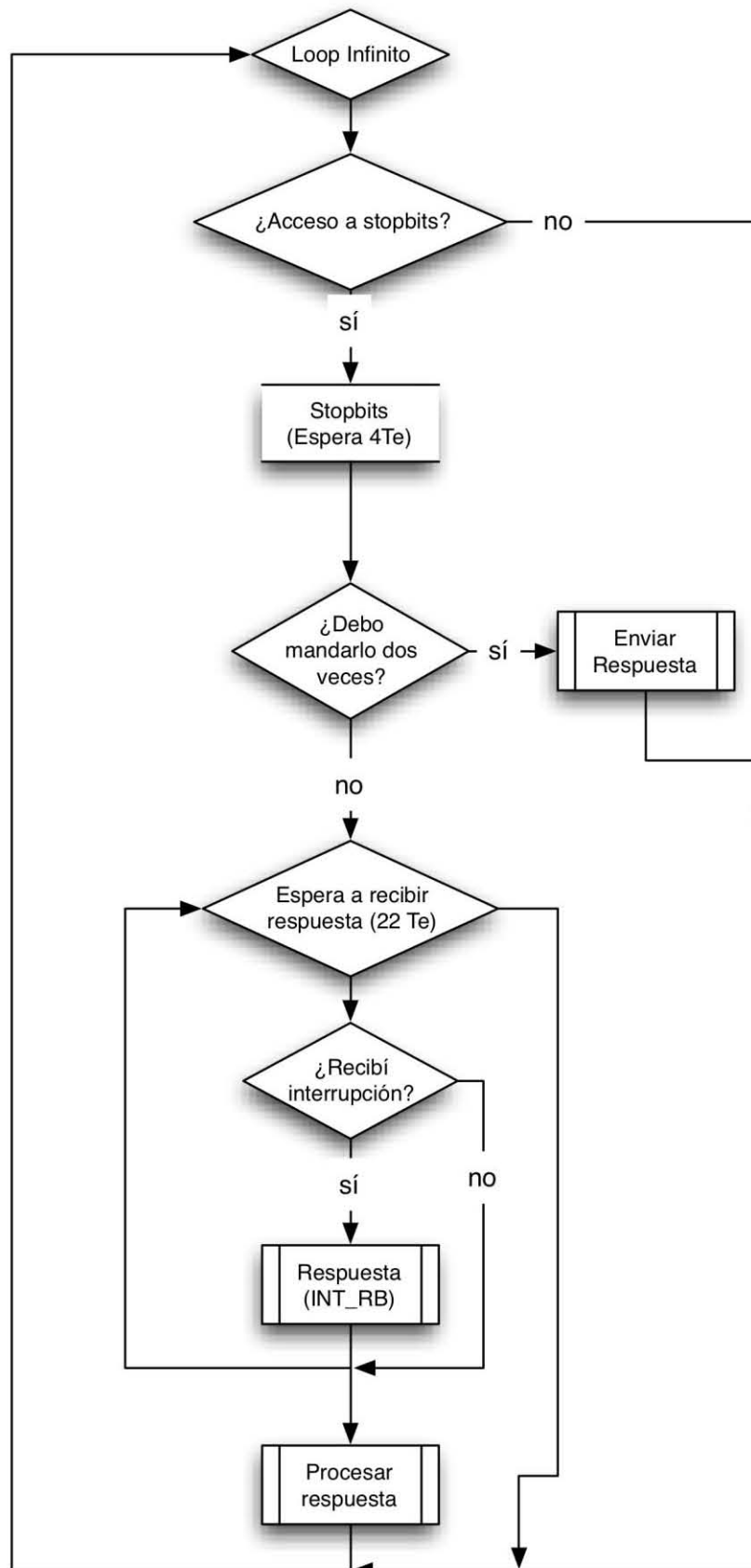
Secuencia del PIC12F629

Secuencia que muestra la generación de una señal cuadrada de 1200 Hz.



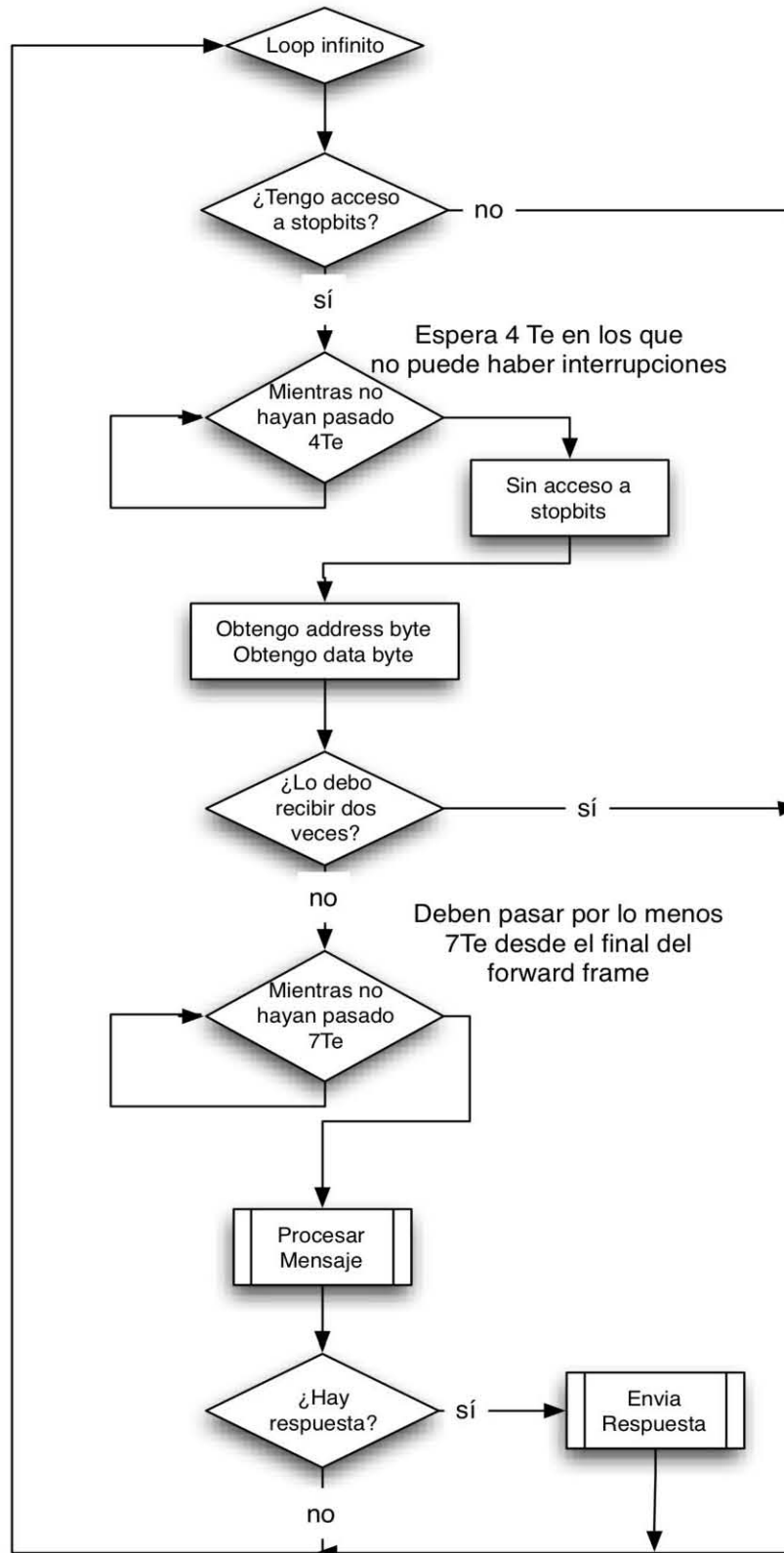
Secuencia Principal del Controlador

Diagrama que muestra la secuencia del microcontrolador una vez mandado una instrucción y el recibimiento de su respuesta.



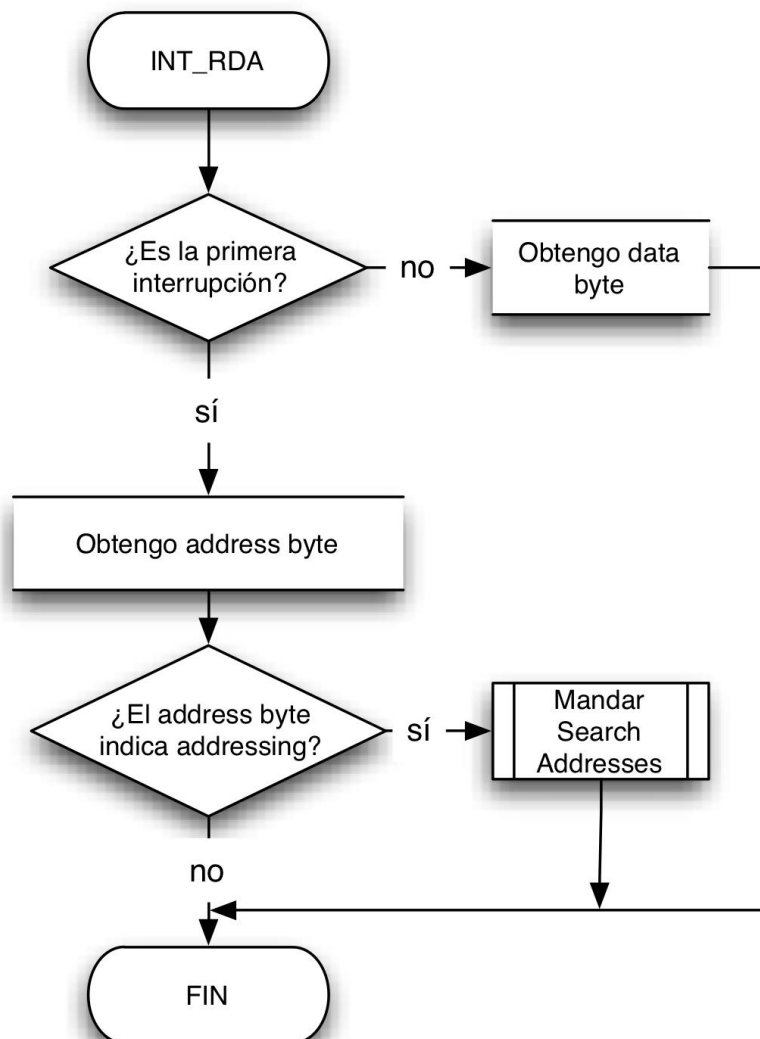
Secuencia Principal del ECG

Diagrama que muestra la secuencia del microcontrolador una vez recibida una instrucción y el envío de la respuesta correspondiente.



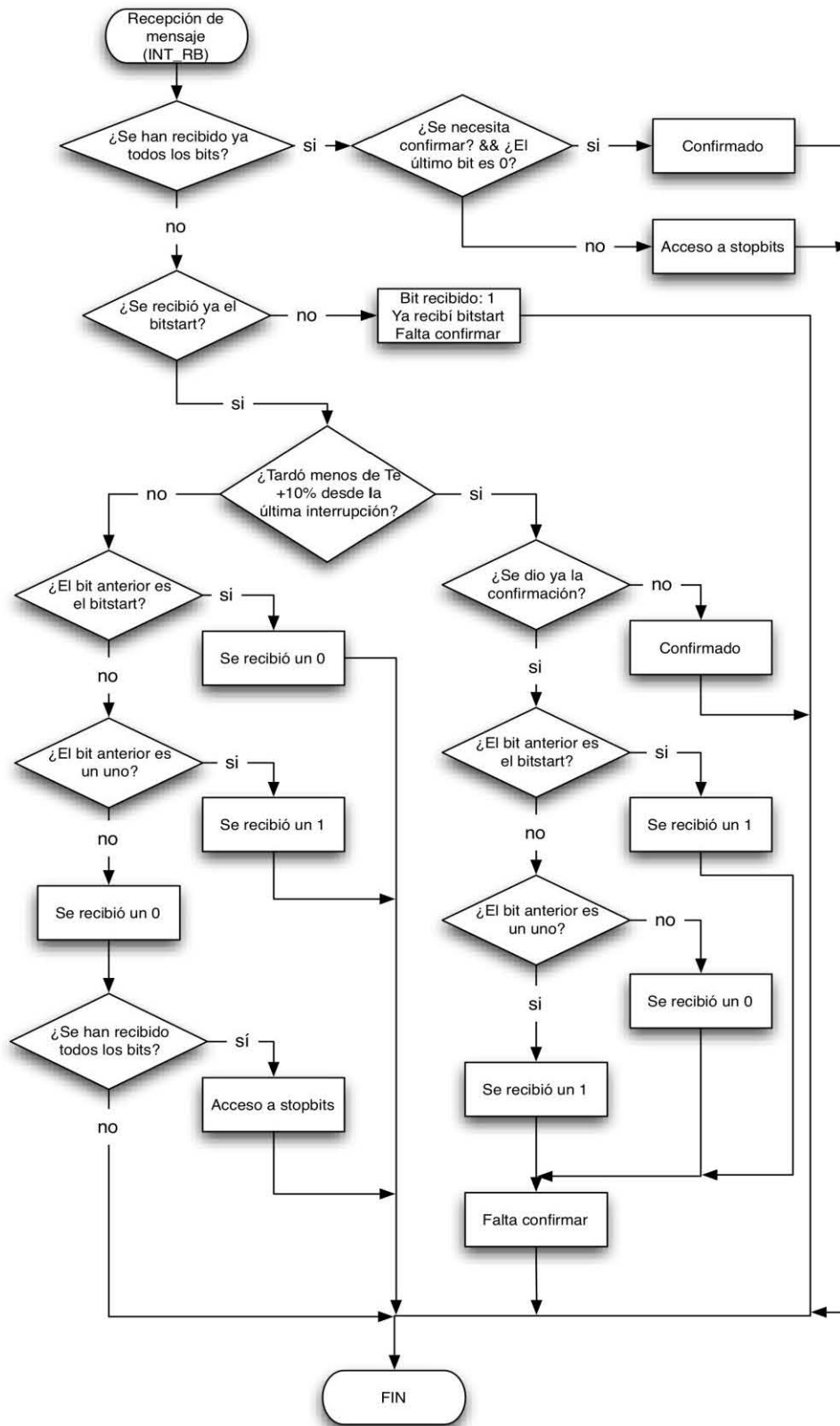
Interrupción por RDA

Muestra el recibimiento de datos por medio de comunicación serial.



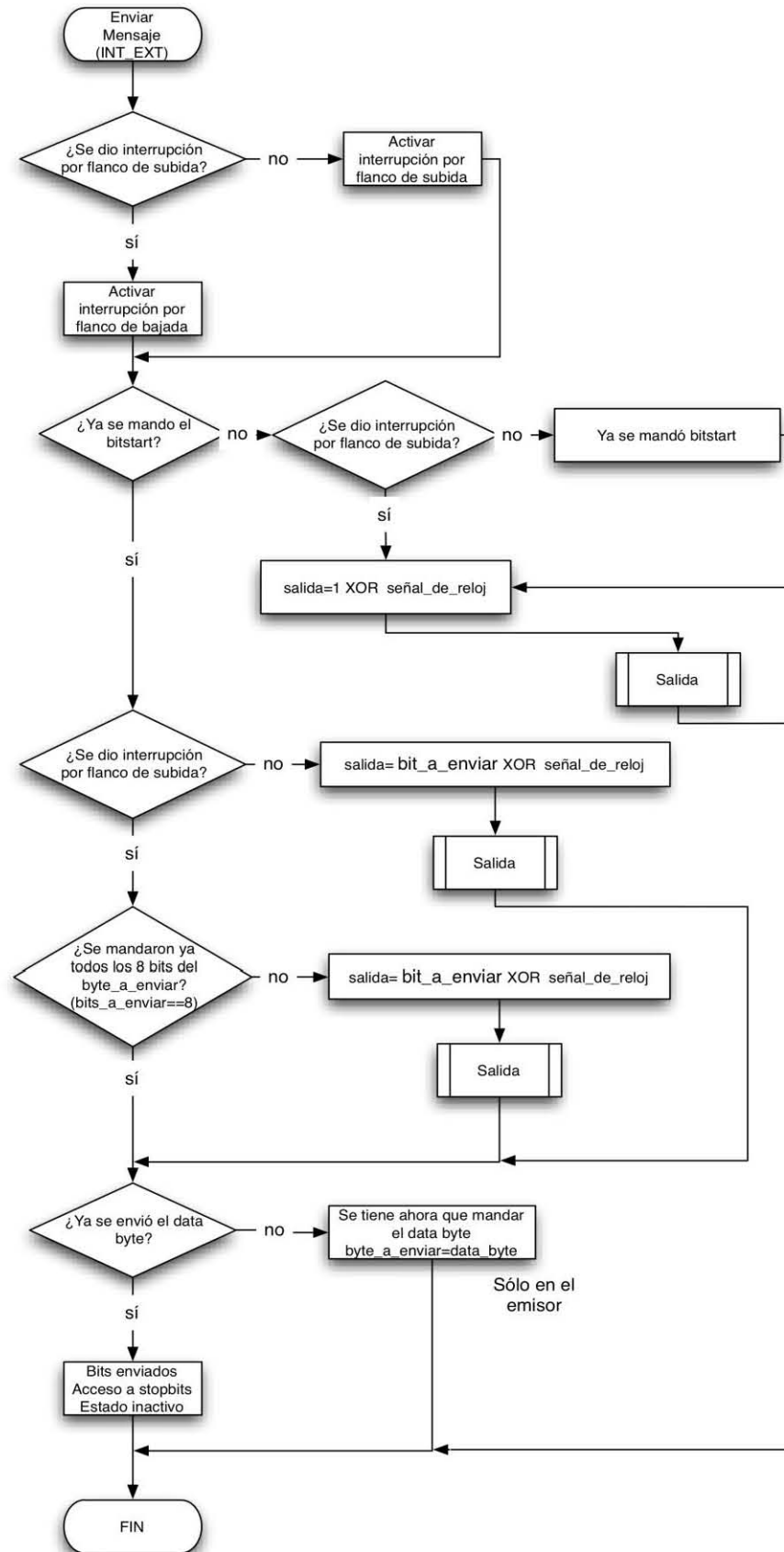
Interrupción por Puerto RB

Diagrama que muestra la recepción de datos.



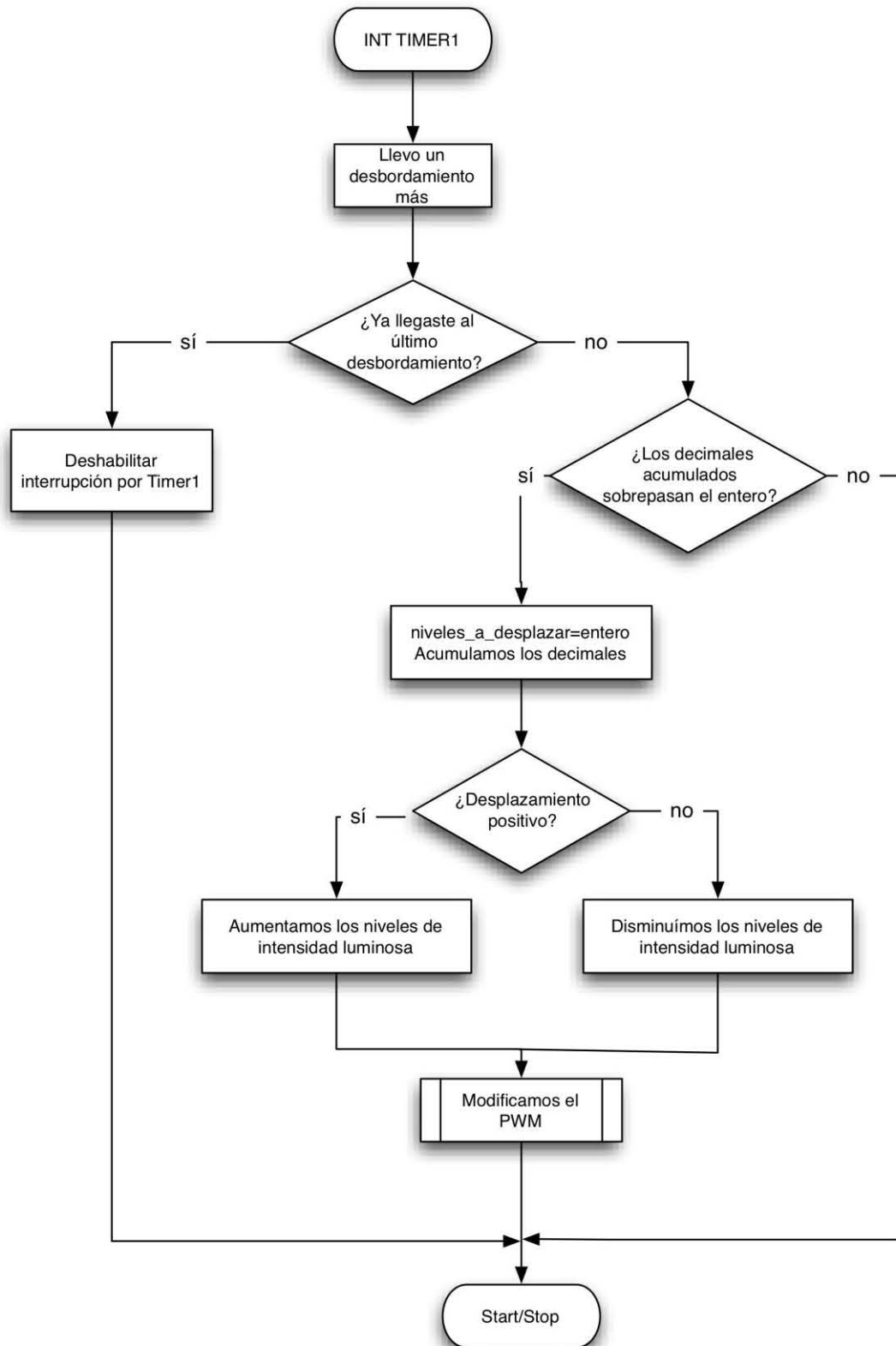
Interrupción Externa

Diagrama que muestra el envío de datos.



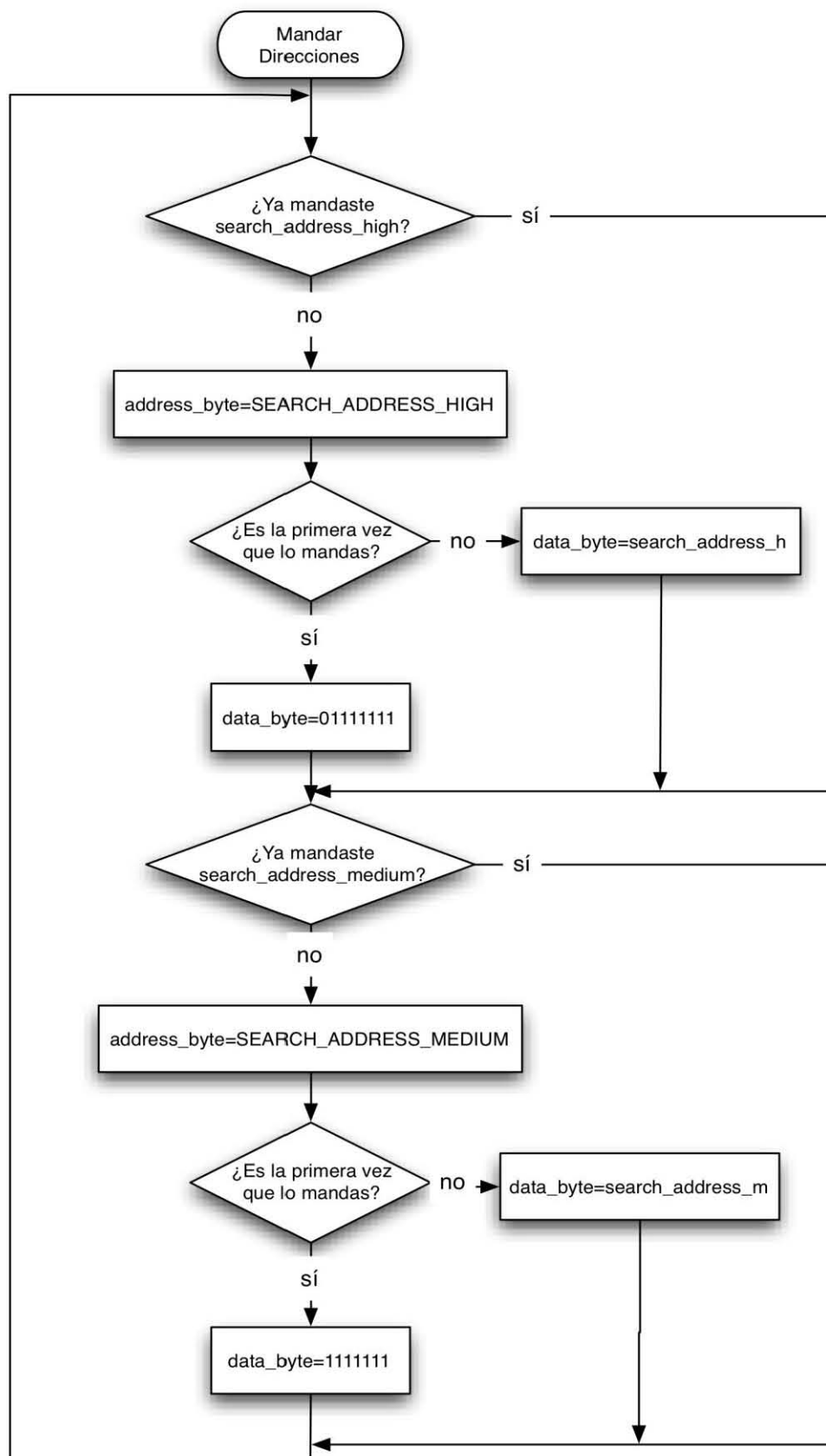
Interrupción por Timer 1

Secuencia de modificación del nivel de intensidad de luz ya sea por medio de la tasa de desvanecimiento o por tiempo de desvanecimiento.

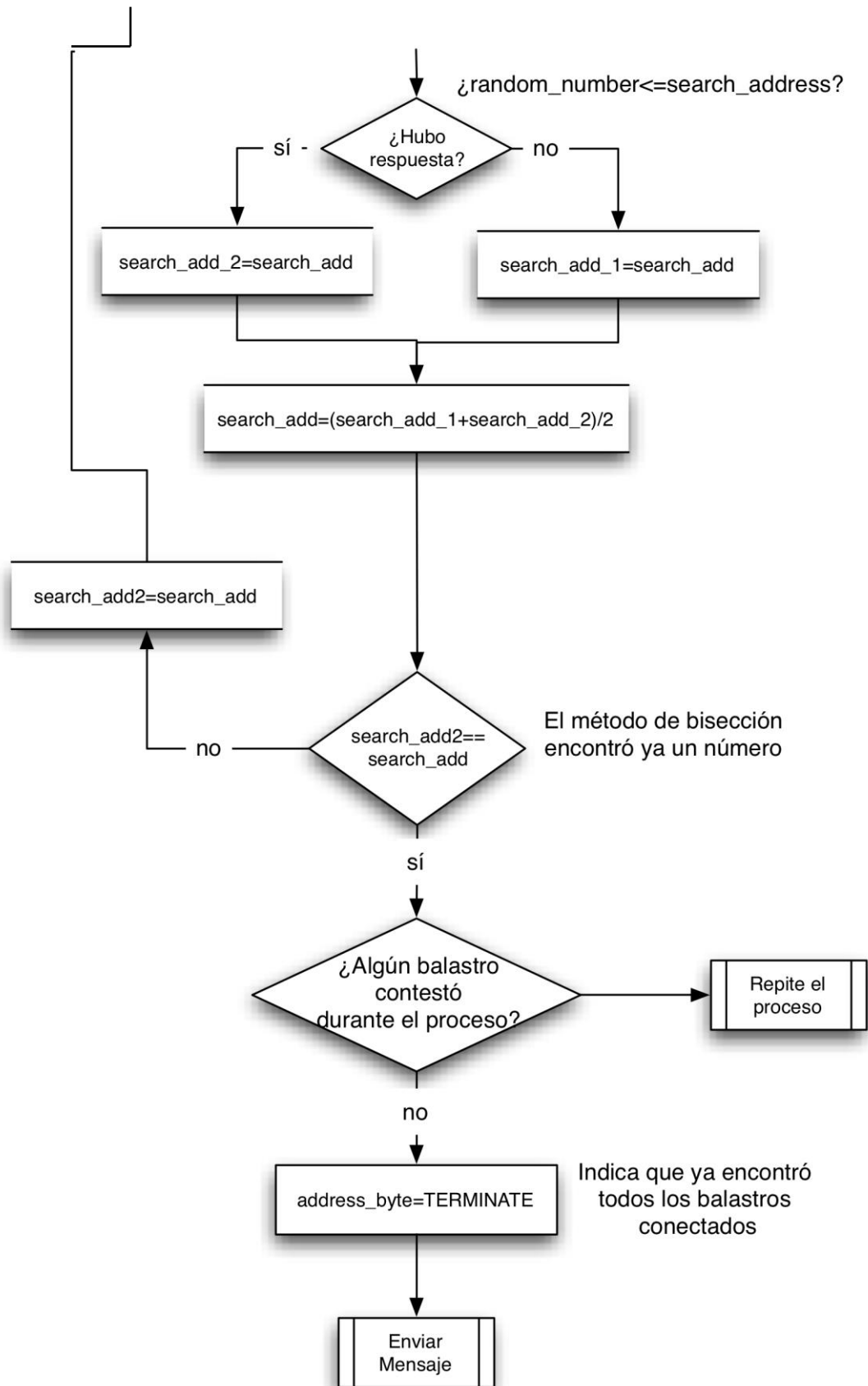


Envío de SEARCH ADDRESSES

Diagrama que muestra la secuencia para la asignación de direcciones.







Anexo D / Código

A continuación se muestra el código de la secuencia principal del programa del PIC18F4520 del emisor. El código de las interrupciones y demás funciones se omitirá.

Emisor

```
void main()
{
    set_tris_b(0b10100001);
    set_tris_d(0b00000000);
    printf(" #T* ");
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_RDA);
    output_high(PIN_B1);
    output_high(PIN_B6);
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
    output_low(PIN_B2);
    output_b(input_b());
    clear_interrupt(INT_RB);
    enable_interrupts(INT_RB);
    for(direccion_eeprom=1;direccion_eeprom<=8;direccion_eeprom++){
        write_eeprom(direccion_eeprom,banco_eeprom);
    }
    while(1) {
        if(stopbits==1){
            delay_us(416*4);
            stopbits=0;
        }
        if((direccion2==SEARCH_ADDRH || direccion2==SEARCH_ADDRM || direccion2==SEARCH_ADDR
L)&&bandera_addressing==1){
            reposo_entre_adresses=1;
        }
        else{
            bandera_tiempo_en_reposo=1;
        }
        if(bandera_100ms==0)
            enable_interrupts(INT_RB);
    }
    if(bandera_100ms==1&&bandera_tiempo_en_reposo==1){
        delay_us(416*25);
        direccion=direccion2;
        bandera_100ms=0;
        bandera_tiempo_en_reposo=0;
        enviar_respuesta();
    }
}
```

```

else
if(bandera_100ms==0&&bandera_tiempo_en_reposo==1&&bandera_addressing==0){
    aceptar_respuesta=1;
    set_timer1(0);
    output_high(PIN_B6);
    tiempodereposo=get_timer1();
    while(tiempodereposo<=22*te&&hubo_respuesta==0){
        tiempodereposo=get_timer1();
    }
    output_low(PIN_B6);
    aceptar_respuesta=0;
    if(stopbits_recepcion==1){
        set_timer1(0);
        tiempostop=get_timer1();
        while(tiempostop<=4*te)
        {
            tiempostop=get_timer1();
        }
        stopbits_recepcion=0;
        banderarecepcion=0;
        confirmacion=0;
        contbits=8;
        bitstart_recepcion=0;
        enable_interrupts(INT_RB);
    }
    aceptar_respuesta=0;
    bandera_100ms=0;
    if(bandera_clear_addresses==0)
    bandera_tiempo_en_reposo=0;
    procesar_respuesta();
    if(addressing_todos_balastros==1){
        bandera_addressing=1;
        addressing_en_proceso=1;
        mandar_search_addresses();
    }
    else if(addressing_todos_balastros==0&&bandera_todo_el_proceso==0){
        enable_interrupts(INT_RDA);
        //if(bandera_dapc_sequence==0)
        //printf("Direccion\r");
    }
}
if(bandera_addressing==1&&reposo_entre_adresses==1)
{
    set_timer1(0);
    tiempodereposo=get_timer1();
    while(tiempodereposo<=22*te){

```

```

    tiempodereposo=get_timer1();
    }
    if(bandera_mandar_addresses<2){
    reposo_entre_addresses=0;
    bandera_mandar_addresses++;
    delay_ms(30);
    mandar_search_addresses();
    }
    else{
delay_ms(10);
    reposo_entre_addresses=0;
    bandera_mandar_addresses=0;
bandera_addressing=0;
    direccion=COMPARE;
    comando=0x00;
    enviar_respuesta();
    }}
    if(bandera_clear_addresses==1&&bandera_tiempo_en_reposo==1){
    direccion=VERIFY_SHORT_ADDRESS;
    comando=(numero_ecg<<1)+1;
    delay_ms(10);
bandera_tiempo_en_reposo=0;
    if(numero_ecg==64){
    direccion=TERMINATE;
    comando=0;
    numero_ecg=0;
    bandera_clear_addresses=0;}
    enviar_respuesta();
    }}}

```

Contacto para mayor información sobre el código y el sistema implementado:
hans_devilbiss@hotmail.com, enrico_jm@yahoo.com