

Sistema inteligente de iluminación de escaleras para el hogar

Ing. Pedro Santiago Escribá

Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos

Director: Esp. Ing. Matías Nicolás Brignone (FIUBA)

Jurados:

Jurado 1 (pertenencia)
Jurado 2 (pertenencia)
Jurado 3 (pertenencia)

Ciudad de Córdoba, abril de 2026

Resumen

La presente memoria describe el trabajo realizado para el desarrollo de un sistema de iluminación de escaleras para el hogar, cuyo objetivo es añadir valor tecnológico, eficientizar la distribución lumínica y administrar la capacidad de control mediante un software. De esta manera, con el uso de un microcontrolador y sensores digitales de detección de movimiento, este sistema brinda una solución innovadora que combina la arquitectura de un hogar con los avances tecnológicos de los sistemas embebidos.

El desarrollo comprendió el diseño del hardware, la implementación del software de control y la validación del sistema mediante pruebas funcionales. Para ello se aplicaron conocimientos en electrónica, programación de microcontroladores, para alcanzar un producto confiable, adaptable y con potencial de aplicación comercial.

Agradecimientos

A mi familia, amigos y compañeros.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Introducción a los sistemas de iluminación	1
1.1.1. Iluminación en escaleras modernas	1
1.1.2. Eficiencia energética	1
1.2. Estado del arte	2
1.2.1. SuperlightingLED	2
1.2.2. GIDEALED	2
1.2.3. Análisis del estado del arte y aportes del desarrollo	3
1.3. Motivación	4
1.4. Objetivos y alcances	5
2. Introducción específica	7
2.1. Componentes de hardware del sistema	7
2.1.1. Microcontrolador STM32F4	7
2.1.2. Tira LED pixel	8
2.1.3. Sensor de movimiento PIR	8
2.1.4. Módulo extensor de puertos	8
2.1.5. Módulo de comunicación Bluetooth	9
2.2. Software y entorno de desarrollo	10
2.2.1. Visual Studio Code	10
2.2.2. STM32 CubeIDE	10
2.2.3. MIT APP Inventor	10
2.2.4. Lenguaje de programación C	10
2.2.5. Compilador GCC (GNU Compiler Collection)	10
2.2.6. Doxygen	10
2.3. Protocolos de comunicación	11
2.3.1. Protocolo I ² C[I2C]	11
2.3.2. Protocolo UART[UART]	12
3. Diseño e implementación	13
3.1. Diseño del sistema	13
3.2. Análisis del potencia	14
3.3. Análisis del software	14

Índice de figuras

1.1. Sistema de SuperlightingLED y su conexión. ¹	3
1.2. Componentes incluidos en el paquete básico. ²	3
1.3. Sistema para escaleras de GIDEALED. ³	4
2.1. Placa de evaluación Núcleo de STM. ⁴	7
2.2. Conexión en cadena de los dispositivos WS2812B. ⁵	8
2.3. Sensor PIR HC-SR501. ⁶	9
2.4. Extensor multipropósito PCF8574. ⁷	9
2.5. Módulo Bluetooth HC-05 montado sobre ZS-040. ⁸	9
2.6. Trama I2C. ⁹	11
3.1. Diagrama en bloques del sistema.	13

Índice de tablas

Capítulo 1

Introducción general

En este capítulo se introducen conceptos básicos de los sistemas de iluminación modernos, también se presentan los objetivos, la motivación, los alcances de este trabajo y se analiza el estado del arte.

1.1. Introducción a los sistemas de iluminación

A partir de la llegada de los LEDs (*Light Emissor Doide*) de alta potencia al mercado de la electrónica, los sistemas de iluminación del hogar (y en general) experimentaron una verdadera revolución comercial y tecnológica. Los bajos costos y la posibilidad de control generaron un sin fin innovador que sigue vigente hoy en día. En una casa tipo es común observar lámparas LED de colores brillantes capaces de ser controladas con un teléfono celular y producir un efecto visual poco pensado algunas décadas en el pasado o, también, su capacidad de ser encendidas o apagadas con un simple "click programado". Sin embargo, aún constituye un desafío para los ingenieros integrar estos sistemas de iluminación a la arquitectura edilicia manteniendo eficiencia, estética y bajo costo.

1.1.1. Iluminación en escaleras modernas

Uno de los mayores problemas de la iluminación de los hogares modernos es lograr un efecto lumínico vistoso sobre espacios asimétricos, con un número elevado de bordes irregulares donde las sombras juegan un desafío. Un claro ejemplo son las escaleras, donde los propios escalones proyectan sombras sobre sus predecesores o antecesores.

La ingeniería en iluminación se encarga de determinar la cantidad de luz que requiere un espacio, en función de sus características y de las normas vigentes. El Código Residencial Internacional recomienda 100 lúmenes por pie cuadrado (alrededor de 100 centímetros cuadrados) en sectores de interior con escaleras y cuya temperatura de color ronde entre 2700 y 3000 kelvin.

Sin embargo, hay otro aspecto que este tipo de códigos no contemplan del todo: la eficiencia energética. Este factor es fundamental a la hora de efectuar una obra lumínica en un hogar, ya que define la estrategia constructiva de la escalera.

1.1.2. Eficiencia energética

Tanto la disponibilidad de energía eléctrica como la potencia requerida por el sistema de iluminación constituyen aspectos clave en el diseño de una instalación

lumínica para una escalera. Si se dispone de pocos puntos de alimentación eléctrica, la oportunidad de agregar puntos de luz al espacio estará completamente limitado, lo que afecta la capacidad de cubrirlo con los niveles de lúmenes adecuados. Además, deben considerarse el consumo total sobre dicho acceso energético y la capacidad de la infraestructura para soportarlo.

A pesar de estos inconvenientes, los avances tecnológicos han generado soluciones a partir de la invención de las tiras LED, cuyo consumo energético es alrededor de un 90 % menor que el de un sistema de iluminación tradicional. De manera general, estas tiras logran iluminar 100 lúmenes por vatio, mientras que una bombilla incandescente ofrece aproximadamente 20 lúmenes por vatio. Además, su extensión lineal permite distribuir la energía eléctrica desde un único punto de alimentación a lo largo de toda la escalera sin requerir cableado adicional.

1.2. Estado del arte

En esta sección se presentan algunos productos similares al desarrollado en este documento que se encuentran disponibles en el mercado. Se realiza un breve análisis de las prestaciones y costos, y se describen las diferencias y similitudes con la solución propuesta en este trabajo.

1.2.1. SuperlightingLED

La empresa de tecnología LED SuperlightingLED [SuperlightingLED] ofrece en el mercado internacional un sistema de iluminación de escaleras con tecnología de tiras LEDs y sensores de movimientos (SCSSLKIT-12V-COB). Según la información publicada en su página de ventas, el sistema incluye un controlador ES32, que actúa como unidad de control principal, y dos sensores de movimiento ubicados en los extremos de la escalera. Es importante aclarar que el ES32 no es un microcontrolador, sino un controlador dedicado para tiras LED, diseñado para gestionar efectos de iluminación, la activación por sensores y la intensidad del brillo. Además, cuenta con una fuente de alimentación de 12 V y las tiras LED (de color y temperatura variables) para cubrir hasta 32 escalones de un ancho total de 1,2 m cada uno y que deben cablearse hasta la unidad controladora. El sistema se comercializa en dos versiones principales: una para interior (IP20) y otra para exterior (IP67). Adicionalmente, puede incluir perfiles de aluminio para facilitar su instalación. En las figuras 1.1 y 1.2 se pueden apreciar los componentes de este sistema que actualmente tiene un costo de unos USD 160 en su versión más económica y hasta USD 630 en su versión premium.

1.2.2. GIDEALED

Otro producto presente en el mercado que se lo puede vincular con el trabajo desarrollado en esta memoria, es el sistema de iluminación de escaleras de la empresa GIDEALED [GIDEALED] modelo RL-STEP-09. Este sistema es apto para hasta 20 escalones de un metro de ancho, funciona a 12 V y consta de dos sensores de movimientos del tipo PIR (*Passive Infrared Sensor*, por sus siglas en inglés) a instalar en los extremos de la escalera, además de un control remoto infrarrojo

¹<https://www.superlightingled.com/>

²<https://www.superlightingled.com/>

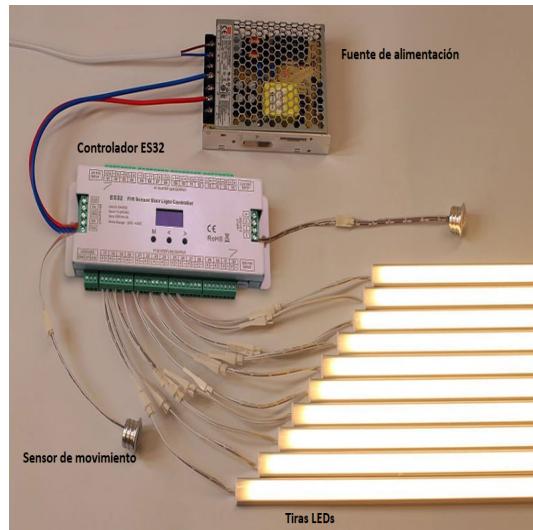


FIGURA 1.1. Sistema de SuperlightingLED y su conexión.¹

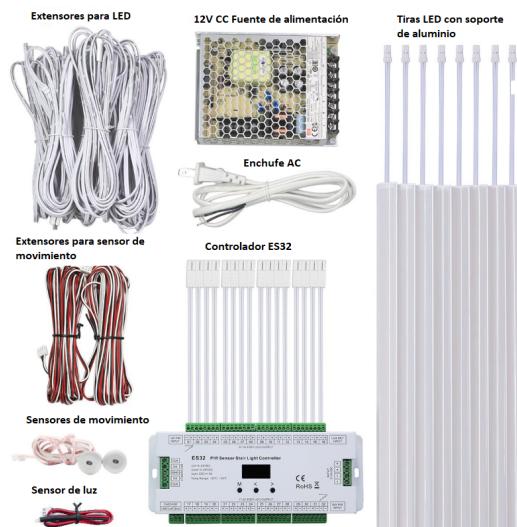


FIGURA 1.2. Componentes incluidos en el paquete básico.²

para el encendido y apagado. Las tiras LED incluidas en el kit son de color fijo, de temperatura de color de 3000 K, e incorporan control de brillo e intensidad. No cuentan con protección frente al agua o humedad. La figura 1.3 muestra los componentes del kit, que se encuentra a la venta en la República Argentina por un precio aproximado de \$210000.

1.2.3. Análisis del estado del arte y aportes del desarrollo

Luego de realizar un análisis exhaustivo de los distintos productos disponibles en el mercado, se concluye que, si bien existen soluciones que abordan la problemática planteada, la mayoría de ellas carece del grado de innovación y personalización que se busca en este desarrollo. La incorporación de sensores individuales en cada escalón permite un control de iluminación más preciso y adaptativo, constituyendo uno de los principales factores diferenciales del sistema propuesto. A

³<https://www.amazon.com/stores/GIDEALED/page/55B6DBC4-21FB-439B-AC80-13FDE4121084>



FIGURA 1.3. Sistema para escaleras de GIDEALED.³

ello se suman su bajo costo de implementación, la posibilidad de instalación directa por parte del usuario sin asistencia técnica y la integración de tecnologías modernas de control.

En la siguiente lista se destacan las principales ventajas del sistema frente a los productos analizados:

- Bajo costo de desarrollo y mantenimiento.
- Instalación sencilla, sin necesidad de herramientas especializadas.
- Mayor precisión y personalización del control lumínico.
- Posibilidad de control mediante teléfono celular vía conexión Bluetooth.
- Configuración en conexión serie de los módulos de luz.
- Compatibilidad con escaleras de hasta 64 escalones.

1.3. Motivación

Si bien existen múltiples sistemas de iluminación destinados al hogar, las escaleras resultan un ámbito poco explorado en cuanto a propuestas innovadoras de diseño lumínico. Este espacio, por sus características arquitectónicas y su uso cotidiano, ofrece un amplio potencial para la experimentación con nuevas formas de iluminación funcional y estética. En este sentido, los avances en electrónica y domótica desempeñan un papel fundamental al permitir el desarrollo de sistemas más inteligentes, eficientes y adaptables. Gracias a ellos, el usuario no solo puede decidir qué iluminar, sino también cómo hacerlo, ajustando la intensidad, el color o el comportamiento de la luz según sus preferencias o necesidades específicas.

Por otra parte, la disponibilidad de sensores, actuadores y microcontroladores de bajo costo ha permitido el acceso a tecnologías que antes eran exclusivas de instalaciones complejas o costosas. A esto se suman los sistemas de comunicación inalámbrica, que facilitan la implementación sin requerir cableados extensos ni

modificaciones estructurales. Estos factores en conjunto constituyen una motivación central para generar un nuevo módulo lumínico transformable que responda a las necesidades de un usuario particular.

1.4. Objetivos y alcances

Este trabajo de desarrollo pretende integrar los avances e innovaciones tecnológicas en la iluminación del hogar agregando valor a bajo costo y control por parte del usuario. Es así que, integrando los conocimientos adquiridos a lo largo de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos de la FIUBA, se desarrolla el firmware en lenguaje de programación C de un sistema embebido basado en tiras LED y controlado mediante sensores de proximidad que permita iluminar una escalera de una cantidad fija de escalones. También es parte de este trabajo la incorporación de un control mediante tecnología Bluetooth de la tonalidad de la luz, brillo y color, así como su encendido o apagado de acuerdo a la circulación del usuario por la escalera.

Por otro lado, no es parte de este trabajo el desarrollo de un Hardware integral, si no que se produce un prototipo funcional utilizando componentes de fabricantes comerciales. Tampoco se contempla el desarrollo de una interfaz de usuario ni soporte post venta.

Capítulo 2

Introducción específica

En este capítulo se describen los componentes, software y programas de terceros utilizados para el desarrollo del sistema expuesto en esta memoria.

2.1. Componentes de hardware del sistema

El sistema de iluminación cuenta con un conjunto de componentes necesarios para su funcionamiento, que van desde lenguajes de programación hasta pequeños componentes electrónicos. A continuación se hace mención a cada uno de ellos con una breve descripción.

2.1.1. Microcontrolador STM32F4

El sistema propuesto incorpora un microcontrolador de 32 bits de la marca ST-Microcontroller, modelo F4, basado en el núcleo Arm Cortex-M4[STM32F4] con un frecuencia de trabajo de hasta 180 MHz. Dispone de una unidad de punto flotante de precisión simple y memorias embebidas de alta velocidad, entre ellas 2 Mbytes de memoria Flash y hasta hasta 256 kbytes de SRAM.

Cuenta con un gran número de entradas/salidas, convertidores analógicos-digitales y hasta 12 temporizadores, incluidos dos destinados a modulación por pulsos. Posee además diversas interfaces de comunicación entre las que se destacan UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), I²C (*Inter-Integrated Circuit*), SMBus (*System Management Bus*) y SPI (*Serial Peripheral Interface*). Para el desarrollo de este trabajo se da uso a la placa de evaluación Nucleo de la marca STM modelo F429ZI que dispone de todos los periféricos necesarios para el uso del microcontrolador y sus componentes.

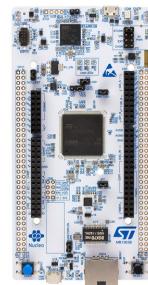


FIGURA 2.1. Placa de evaluación Núcleo de STM.¹

¹<https://www.distrelec.ch/en/stm32-nucleo-board-2mb-256kb-st-nucleo-f429zi/p/30176552>

2.1.2. Tira LED pixel

Para el desarrollo del sistema de iluminación se utiliza una tira LED del tipo pixel. Está formada por conjuntos de tres diodos emisores de luz, uno para cada color primario RGB, con un controlador modelo WS2812B[LEDPIXEL] conectado en cadena. Este controlador incluye un registro de datos digitales, un circuito de amplificación y reformado de señal y un oscilador interno de alta precisión.

Emplea un protocolo de comunicación NZR de un solo cable. El puerto de entrada recibe los datos enviados por el microcontrolador, los almacena en un registro interno y los transfiere por el puerto de salida al siguiente dispositivo conectado en la cadena, como se ilustra en la figura 2.2. El dato está compuesto por 24 pulsos, ocho por cada color. Un cero lógico debe estar formado por 0,4 microsegundos en alto y 0,85 microsegundos en bajo, mientras que un uno lógico corresponde a 0,8 microsegundos en alto y 0,45 microsegundos en bajo.

El voltaje de trabajo es de 5 V y el consumo depende de la cantidad de LEDs de la tira cercano a 60 mA por LED.



FIGURA 2.2. Conexión en cadena de los dispositivos WS2812B.²

2.1.3. Sensor de movimiento PIR

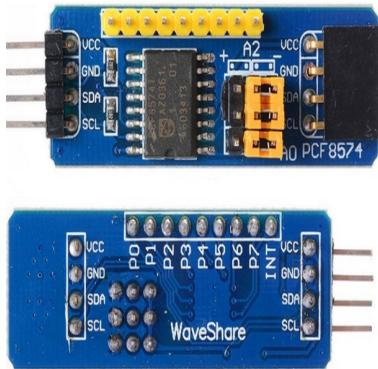
El sistema utiliza sensores infrarrojos de detección de movimiento del tipo PIR (*Passive Infrared Sensor*) modelo HC-SR501. Este dispositivo detecta la variación de la radiación infrarroja emitida por un cuerpo y, mediante un controlador, envía un pulso digital por su canal de comunicación. Como se observa en la figura 2.3, dispone de dos potenciómetros para ajustar la sensibilidad y el tiempo de retardo. Su tensión de trabajo es de entre 5 V y 20 V con un consumo promedio de 65 mA.

2.1.4. Módulo extensor de puertos

El sistema incorpora un módulo extensor de 8 puertos de entrada que permite la conexión de hasta 64 sensores PIR. Para este desarrollo se utiliza el componente PCF8574 de la marca Texas Instruments, que opera mediante una interfaz I²C de 100 kHz con el microcontrolador y permite direccionar hasta 8 módulos en la misma línea de comunicación. Su tensión de trabajo es de 5 V y su consumo promedio es de 25 mA. La figura 2.4 muestra ambas caras del componente.

²<https://lastminuteengineers.com/ws2812b-arduino-tutorial/>

³<https://www.hobbytronica.com.ar>

FIGURA 2.3. Sensor PIR HC-SR501.³FIGURA 2.4. Extensor multipropósito PCF8574.⁴

2.1.5. Módulo de comunicación Bluetooth

El módulo para la interacción con el usuario que se usa en este trabajo es el HC-05, en conjunto con la placa de evaluación ZS-040, como se puede observar en la figura 2.5. Su protocolo es Bluetooth 2.0 y permite una configuración simultánea tanto en modo maestro y como esclavo y se conecta al microcontrolador a través de interfaz serie. Requiere una tensión de 5 V y un consumo aproximado de 100 mA.

FIGURA 2.5. Módulo Bluetooth HC-05 montado sobre ZS-040.⁵

³<https://forum.arduino.cc>

⁴<https://naylampmechatronics.com/>

2.2. Software y entorno de desarrollo

En esta sección se mencionan los software, lenguajes de programación y herramientas desarrolladas por terceros utilizados para el desarrollo de este trabajo.

2.2.1. Visual Studio Code

Visual Studio Code[VS CODE] es un editor de código fuente gratuito y multiplataforma desarrollado por la empresa Microsoft. Posee un conjunto de extensiones que permite añadir soporte para cualquier lenguaje de programación y depuración.

2.2.2. STM32 CubeIDE

STM32 CubeIDE[STM32CUBE] es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) de código abierto para programar microcontroladores y microprocesadores de la familia STM32. Permite configurar periféricos, generar código automáticamente, compilarlo y depurarlo en la misma plataforma. Se encuentra basado en el entorno de desarrollo Eclipse.

2.2.3. MIT APP Inventor

MIT APP Inventor[MITAPP] es una plataforma gratuita y en línea para la creación de aplicaciones para dispositivos Android. Desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, permite a los usuarios no técnicos diseñar y crear aplicaciones funcionales a través de un navegador web.

2.2.4. Lenguaje de programación C

El Lenguaje de programación C[C] es un lenguaje de programación de propósito general e imperativo que permite el control directo del hardware. Fue creado por Dennis Ritchie y Ken Thompson entre 1969 y 1972 y se caracteriza por su eficiencia, portabilidad y la capacidad de manipular memoria mediante punteros, ideal para sistemas operativos, software embebido y controladores de hardware.

2.2.5. Compilador GCC (GNU Compiler Collection)

El Compilador GCC (GNU Compiler Collection)[GCC] es un conjunto de compiladores creado por el Proyecto GNU y distribuido como software libre que permite compilar código en lenguaje C, C++, Objective-C, Fortran entre otros. Su propósito es tomar un programa escrito en un lenguaje de alto nivel (como C) y transformarlo en un programa ejecutable en lenguaje de máquina.

2.2.6. Doxygen

Doxygen[DOXI] es una herramienta de generación automática de documentación técnica a partir de los comentarios en el código fuente de lenguajes como C++, C, Java y Python. Analiza el código para extraer y formatear la información en formatos HTML o PDF y permite mantener la documentación sincronizada con el código.

2.3. Protocolos de comunicación

El sistema de iluminación desarrollado hace uso de dos protocolos de comunicación para la transferencia de datos entre el microcontrolador y los periféricos mencionados en la sección 2.1.

2.3.1. Protocolo I²C[I2C]

Se emplea el protocolo I²C para la comunicación entre el microcontrolador y distintos módulos del sistema. Este protocolo consiste en un bus de comunicación serial síncrono, bidireccional y semidúplex, organizado bajo una arquitectura maestro–esclavo. La transferencia de datos siempre es iniciada por el maestro y permite la conexión de múltiples dispositivos gracias al uso de direcciones de 7 bits, lo que habilita la existencia de hasta 128 esclavos en el mismo bus.

El I²C utiliza dos líneas eléctricas: SCL (Serial Clock), encargada de proporcionar los pulsos de sincronización, y SDA (Serial Data), destinada al intercambio de datos. La comunicación se basa en tramas que incluyen la dirección del dispositivo, un bit que indica el tipo de operación y un mecanismo de confirmación mediante señales ACK (acknowledge) y NACK (not acknowledge), lo que asegura una transferencia ordenada y confiable entre los dispositivos conectados. En la figura 2.6 se puede observar la trama completa empleada por el protocolo.

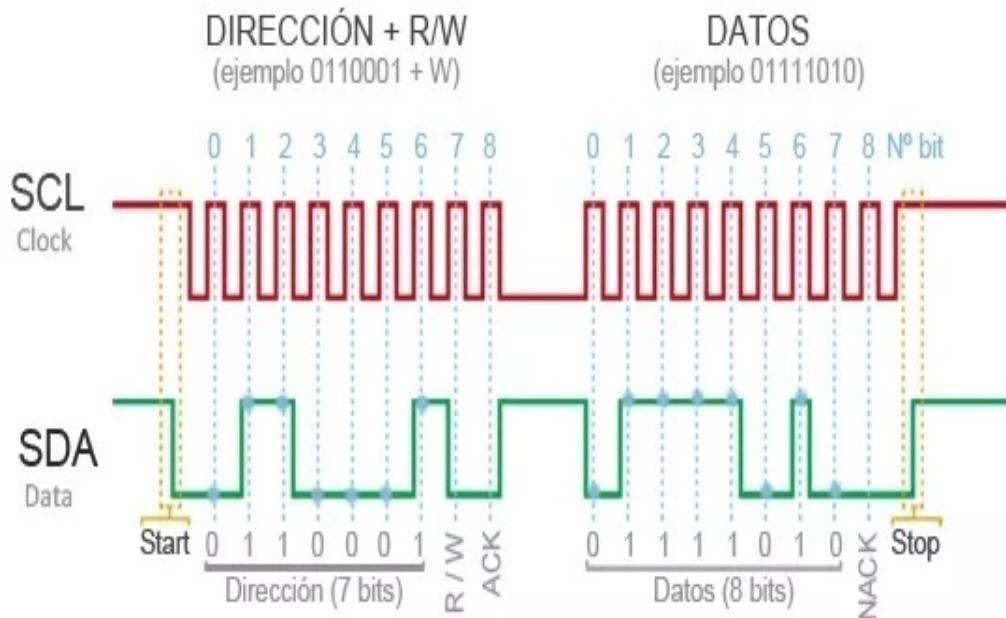


FIGURA 2.6. Trama I²C.⁶

⁶<https://naylampmechatronics.com/>

2.3.2. Protocolo UART[UART]

El sistema Bluetooth utilizado para la interacción con el usuario se comunica con el microcontrolador mediante el protocolo UART. Este protocolo corresponde a una comunicación serie asíncrona que utiliza dos líneas físicas: una de transmisión y otra de recepción. Su estructura permite distintos modos de operación, como comunicación simplex, en la que los datos se envían en una única dirección; comunicación semidúplex, donde ambos extremos pueden comunicarse pero no de manera simultánea; y comunicación dúplex completo, que permite la transmisión y la recepción al mismo tiempo.

La trama utilizada por UART está formada por un bit de inicio, los bits de datos y un bit de parada que indica el fin de la transmisión.

Capítulo 3

Diseño e implementación

En este capítulo se busca informar al lector acerca del diseño del producto y como fue implementada su arquitectura. Para ello se hace uso de diagramas de bloques y de flujo de información.

3.1. Diseño del sistema

Esta sección analiza el diseño del sistema de iluminación, la conectividad entre los diferentes componentes y la interacción entre los mismos. El diagrama de la figura 3.1 muestra en bloques la composición del producto diferenciando en un conjunto de módulos primarios: control, comunicación con el usuario y de ingreso y egreso de señales. También se puede observar como cada bloque interactúa con los demás y el flujo de la información.

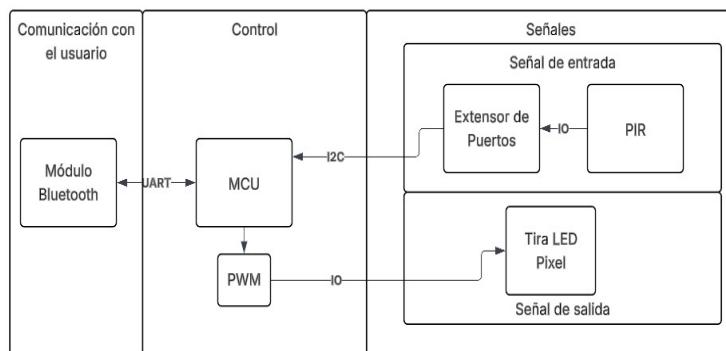


FIGURA 3.1. Diagrama en bloques del sistema.

El bloque central del sistema es el de control. Está compuesto por el microcontrolador y es el encargado del procesamiento de las señales de ingreso y la generación de las señales de salida y maneja la comunicación con los diferentes sensores a partir de los protocolos mencionados en la sección 2.3. También es el encargado de almacenar, en la memoria interna, toda información relativa a la configuración de hardware del producto.

Por otro lado, el bloque de comunicación con el usuario esta compuesto por el módulo Bluetooth, quien permite una interacción bidireccional. Así el consumidor puede enviar comandos específicos de configuración del hardware y, a su vez, comandos de control de encendido, brillo o color. Este bloque se conecta al microcontrolador mediante protocolo UART.

Finalmente, el bloque de señales se divide en dos submódulos, uno de ingreso de información al sistema y otro de respuesta. El ingreso de información está compuesto por señales binarias captadas por los sensores digitales de movimiento PIR, que detectan el movimiento escalón por escalón. Si bien podrían ir conectados al microcontrolador directamente utilizando los puertos destinados para tal fin, se decide utilizar extensores de puertos que se comunican al módulo de control mediante protocolo I²C. Una vez captado y procesado los datos, se genera la señal de egreso, necesaria por los LEDs pixel de la tira. Así, utilizando del módulo PWM del microcontrolador, se produce una serie de pulsos binarios de diferentes ciclos de trabajo y a una frecuencia de 800 kHz, respetando las especificaciones técnicas del controlador de los LEDs.

3.2. Análisis del potencia

Si bien el sistema de iluminación desarrollado en este trabajo es un prototipo funcional, este debe responder a los requisitos mínimos de tensión y corriente para que funcione dentro de los parámetros esperados. En primer lugar cabe destacar que el hardware fue pensado para iluminar cuatro escalones de un metro de ancho, necesitando de los componentes listados a continuación y ya descriptos en el capítulo 2.

- Una placa de evaluación STM32 Núcleo F429ZI.
- Cuatro metros de tira LED pixel WS2812B.
- Cuatro sensores de movimiento PIR HC-SR501.
- Un módulo Bluetooth HC-05 sobre placa de evaluación ZS-040.
- Un módulo extensor de puertos PCF8574.
- Una protoboard, cables, transistores y resistencias.

De acuerdo a las diferentes hojas de datos todos los productos mencionados poseen un voltaje de trabajo de 5 V, por lo que puede utilizarse la misma fuente de energía para todos ellos. Sin embargo, la potencia varía significativamente, siendo la tira LED quien requiere la mayor cantidad de energía del sistema. Cada LED de la tira consume un máximo aproximado de 60 mA y, considerando que la tira posee 60 LEDs por metro, se requiere de 3,6 A (o 18 W) por escalón.

Por otro lado, el microcontrolador especifica un consumo de 260 uA/MHz que, para 180 MHz, implica una potencia de 240 mA. En tanto a los sensor PIR, su hoja de datos especifica un requisito de potencia de 300 mW, mientras que los extensores de puertos requieren 500 mW. El módulo Bluetooth, considerando que ya su placa de evaluación, requiere un valor máximo de 200 mW de consumo. Finalmente, el prototipo para cuatro escalones consume aproximadamente 74 W.

Cabe destacar que el 97 % del consumo total del sistema recae en la iluminación de la escalera, por lo que

3.3. Análisis del software

La idea de esta sección es resaltar los problemas encontrados, los criterios utilizados y la justificación de las decisiones que se hayan tomado.

Se puede agregar código o pseudocódigo dentro de un entorno lstlisting con el siguiente código:

```
\begin{lstlisting}[caption= "un epígrafe descriptivo"]
las líneas de código irían aquí...
\end{lstlisting}
```

A modo de ejemplo, se muestra el fragmento de código 3.1:

```
1 #define MAX_SENSOR_NUMBER 3
2 #define MAX_ALARM_NUMBER 6
3 #define MAX_ACTUATOR_NUMBER 6
4
5 uint32_t sensorValue[MAX_SENSOR_NUMBER];
6 FunctionalState alarmControl[MAX_ALARM_NUMBER]; //ENABLE or DISABLE
7 state_t alarmState[MAX_ALARM_NUMBER]; //ON or OFF
8 state_t actuatorState[MAX_ACTUATOR_NUMBER]; //ON or OFF
9
10 void vControl() {
11     initGlobalVariables();
12
13     period = 500 ms;
14
15     while(1) {
16         ticks = xTaskGetTickCount();
17
18         updateSensors();
19
20         updateAlarms();
21
22         controlActuators();
23
24         vTaskDelayUntil(&ticks, period);
25     }
26 }
```

CÓDIGO 3.1. Pseudocódigo del lazo principal de control.