

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS
EMBEBIDOS



MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

**Sistema para conversión de semáforos
convencionales en semáforos para no
videntes**

Autor:

Ing. Sebastián Alejandro Suárez

Director:

Esp. Ing. Sergio Renato de Jesús Meleán

Jurados:

Esp. Ing. Franco Bucafusco (FIUBA)

Esp. Ing. Diego Fernandez (FIUBA)

Esp. Ing. Marcelo E. Romeo (UNSAM, UTN-FRBA)

*Este trabajo fue realizado en las Ciudad Autónoma de Buenos Aires, entre
octubre 2018 y agosto de 2019.*

Resumen

En esta memoria se describe el diseño e implementación de un sistema para la inclusión de personas no videntes o con disminución visual, el cual advierte los cambios de luces de un semáforo vehicular a través de una red inalámbrica por medio de las vibraciones de un teléfono inteligente.

Para la elaboración del proyecto se aplicaron los conocimientos adquiridos a lo largo de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos tales como la programación de microcontroladores, conceptos de sistemas operativos de tiempo real, procesamiento de eventos asíncronos, protocolos de comunicación y diseño de circuitos impresos.

Este trabajo fue desarrollado para la empresa Adox la cual está interesada en la creación de este equipo, siendo el código y hardware público a la comunidad.

Agradecimientos

A mi esposa Mary por su compañía, paciencia, consejo y apoyo incondicional a lo largo de toda la especialización.

A mis padres José y Graciela que me forjaron como la persona que soy y me alentaron en el estudio.

A mi director Sergio por su tiempo y sabiduría en todo momento.

A Roberto Zelarayán por prestarme la EDU-CIAA.

A los profesores de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos que me acompañaron en esta formación profesional.

Índice general

Resumen	III
1. Introducción General	1
1.1. Motivacion	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Alcance	2
2. Introducción Específica	3
2.1. Funcionamiento de los semaforos	3
2.1.1. Secuencia	4
2.2. Esquema general del sistema	4
2.3. Requerimientos	4
2.4. Propuesta de implementación	5
2.4.1. Entradas	6
Detección de tension	6
Detección de ruido ambiente	6
2.4.2. Plataforma de desarrollo	6
2.4.3. Salidas	7
Modulo wifi	7
Modulo generador de sonido	7
3. Diseño e Implementación	9
3.1. Arquitectura	9
4. Ensayos y Resultados	11
4.1. Pruebas funcionales del hardware	11
5. Conclusiones	13
5.1. Conclusiones generales	13
5.2. Próximos pasos	13
Bibliografía	15

Índice de figuras

2.1. Esquema general del sistema.	4
2.2. Módulo de aislamiento opto-acoplador de 1 bit	6
2.3. Módulo para la detección de sonido	6
2.4. La EDU-CIAA posee un microcontrolador LPC4337 (dual core ARM Cortex-M4 y Cortex-M0).	7
2.5. ESP8266 (ESP-01) 2.4GHz Módulo Inalámbrico.	7
2.6. Circuito amplificador basado en el amplificador operacional LM386.	8
3.1. Estructura de capas para el <i>firmware</i>	10

Índice de Tablas

Dedicado a... [OPCIONAL]

Capítulo 1

Introducción General

Este capítulo introduce al lector al tema abordado en este trabajo, su propósito y su alcance.

1.1. Motivacion

En Argentina 1 de cada 10 personas poseen algún tipo de discapacidad, siendo la que más prevalece la discapacidad motora, seguida por la visual, la auditiva y la mental [5].

En este marco nos enfocamos en las personas con discapacidad visual, las cuales se enfrentan diariamente con el desafío de calcular distancias en un lugar determinado, con el fin de evitar accidentes. El uso del bastón es el elemento empleado a la hora de desplazarse para evitar dicha problemática. Bajo este contexto el mayor inconveniente surge en la vía publica al querer cruzar una calle. Esto se debe a que en general no tienen ningún tipo de señal que les indique si está libre de autos circulando o si se produjo el cambio de semáforo. Para estas situaciones el bastón no es de utilidad, ya que no brinda ningún tipo de información. Si bien en algunas oportunidades pueden valerse de la buena intención de algún transeúnte es importante para toda persona poder valerse por sí misma y no depender de un tercero.

1.2. Objetivos

El objetivo de este proyecto fue desarrollar un prototipo abierto, autónomo y económico, que permita ser conectado a cualquier semáforo convencional, aprendiendo su comportamiento. Tomando como entradas la secuencia de luces del semáforo y como salida advierta a las personas con discapacidades visuales cuando puede o no cruzar la calle sin peligro. Esta advertencia se realiza por medio de una señal sonora y/o vibraciones de su teléfono inteligente el cual se conecta a una red wifi [2] provista por el sistema.

Dicho prototipo fue realizado de manera abierta, es decir, que su código y hardware están disponibles para todas las personas que lo deseen.

1.3. Alcance

El desarrollo del presente proyecto incluyó:

- Desarrollo de un prototipo funcional.
- Desarrollo de una aplicación en android.
- Desarrollo de un protocolo para lograr la escalabilidad en las formas de comunicación con dispositivos de advertencia.
- Ajuste de nivel de sonido automáticamente según ruido ambiente.
- Posibilidad de activar el sistema por medio de un comando a distancia.

Capítulo 2

Introducción Específica

Este capítulo provee una introducción más detallada de todo el trabajo realizado. Se presenta al lector una explicación del funcionamiento de los semáforos, una vista general del sistema, requerimientos y una explicación de las tecnologías involucradas en el desarrollo.

2.1. Funcionamiento de los semáforos

Los semáforos, también conocidos técnicamente como señales de control de tráfico, son dispositivos de señales que se sitúan en intersecciones viales y otros lugares para regular el tráfico, y por ende, el tránsito peatonal [8].

Los semáforos se dividen en tres clases, que son:

- Vehicular: Tiene por objeto regular el tránsito de vehículos en las intersecciones. Está compuesto esencialmente por tres faros programados para que proyecten durante un tiempo determinado.
- Peonales: Se hallan instalados en combinación con los vehiculares y tienen por objeto regular el paso de los peatones en intersecciones con alto volumen de tráfico.
- Direccional: Tiene como fin informar mediante flechas, el momento adecuado para girar.

En cuanto al funcionamiento del semáforo vehicular se puede decir que, cuando la luz es verde, significa que hay vía libre y se puede pasar. La luz amarilla advierte al conductor que se aproxima un cambio de luz. Al ver la luz roja se debe detener el auto, pues otro flujo de vehículos se interceptará en la dirección de su marcha.

En los semáforos peatonales, el significado es el siguiente: la silueta roja indica que el peatón no debe cruzar la calle, mientras que la silueta verde o blanca lo permite.

En los semáforos direccionales, la flecha roja prohíbe el giro, y la verde autoriza el cruce en ese sentido.

2.1.1. Secuencia

En base a la observación del funcionamiento de los semáforos vehiculares en distintas provincias de la República Argentina como ser Córdoba, Catamarca y Tucumán se detectaron las siguientes secuencias:

- Rojo, rojo-amarillo , verde, amarillo y rojo
- Rojo, amarillo, verde, amarillo y rojo
- Rojo, amarillo, verde y rojo

2.2. Esquema general del sistema

Se observa en la siguiente figura 2.1 una version simplificada del sistema.

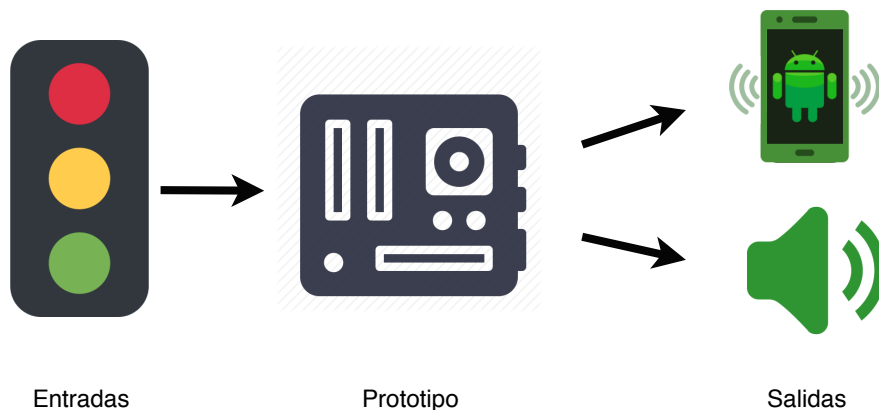


FIGURA 2.1: Esquema general del sistema.

Se toman como entradas las luces del semáforo, que se encuentran conectadas al prototipo a través de interfaces que detectan la tensión presente en los focos. Esta información se procesa y según el caso se envían las señales correspondientes. El sistema puede advertir a una persona con discapacidad visual de dos maneras diferentes:

1. Por medio del módulo Wi-Fi hacia una aplicación instalada previamente en su teléfono inteligente.
2. Mediante una bocina que emite una señal sonora. Para esto el prototipo toma el ruido ambiente y limita la intensidad de esta señal de manera directamente proporcional al ruido presente.

2.3. Requerimientos

De acuerdo a la necesidad que se necesita satisfacer y a lo expuesto, se encontraron los siguientes requerimientos:

R1. Hardware:

R1.1. Operar con cargas de entradas de 220 V, 50 Hz y 5 A.

R1.2. El hardware involucrado en la detección del cambio de luces debe estar totalmente aislado del módulo principal.

R2. Comunicación:

R2.1. El sistema debe proveer un red Wi-Fi que cumpla con las normas IEEE 802.11.

R2.2. Se debe proveer una señal sonora, su intensidad debe poder variar automáticamente dependiendo del ruido presente.

R3. Software embebido:

R3.1. El sistema deberá ser capaz de aprender la secuencia de cambio de luces.

R3.2. El sistema deberá ser capaz de detectar el semáforo fuera de servicio.

R3.3. Se deberá implementar un protocolo para la fácil escalabilidad de los distintos tipos de comunicación.

R3.4. El sistema deberá implementarse en base a un sistema operativo de tiempo real.

R4. Metodología de desarrollo:

R4.1. Se utilizará GIT como herramienta de control de versiones.

R4.2. Se utilizará Doxygen como herramienta para generar la documentación.

R4.3. Se realizarán pruebas unitarias para cada módulo.

R5. Aplicación móvil:

R5.1. Conectarse automáticamente a la red wifi que provee el sistema.

R5.2. Definir un protocolo de vibraciones según los mensajes del sistema.

2.4. Propuesta de implementación

Para abordar una solución integral a la problemática planteada y satisfacer los requerimientos enunciados, se propuso un sistema con componentes de hardware y software los cuales se describen de la siguiente manera.

Para el software se utilizaron las siguientes tecnologías:

- FreeRTOS como sistema operativo de tiempo real.
- sAPI como framework para manejo de periféricos [7].
- Colas para mensajes entre tareas.
- Eventos asincronicos.

En cuanto al hardware, los elementos se dividieron en tres secciones:

- Elementos de entrada.
- Plataforma de desarrollo.

- Elementos de salida.

2.4.1. Entradas

Detección de tension

Para censar si hay tensión presente en algún foco del semáforo vehicular, se utilizaron módulos de aislamiento con opto-acopladores para corriente alterna 220 V figura 2.2 en cada luz.

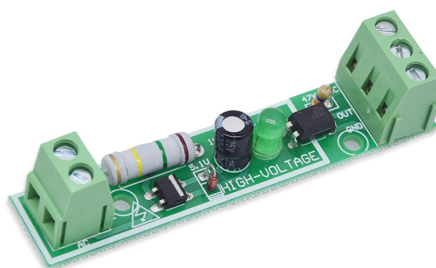


FIGURA 2.2: Módulo de aislamiento opto-acoplador de 1 bit

Detección de ruido ambiente

Para la detección del nivel de ruido ambiente presente se utilizó un módulo que tiene un micrófono y un circuito amplificador con un integrado LM393 figura 2.3.

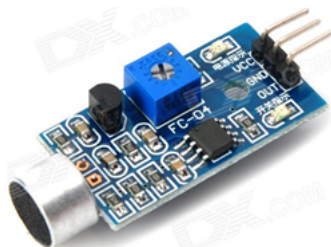


FIGURA 2.3: Módulo para la detección de sonido

2.4.2. Plataforma de desarrollo

Se optó por la EDU-CIAA-NXP figura 2.4 como base para el desarrollo del proyecto por ser una plataforma ya conocida, de amplia disponibilidad, económica y de hardware abierto. Dicha placa posee un microcontrolador LPC4337 de la empresa NXP, el cual cuenta con dos núcleos ARM Cortex-M; un Cortex-M4 y un Cortex-M0.

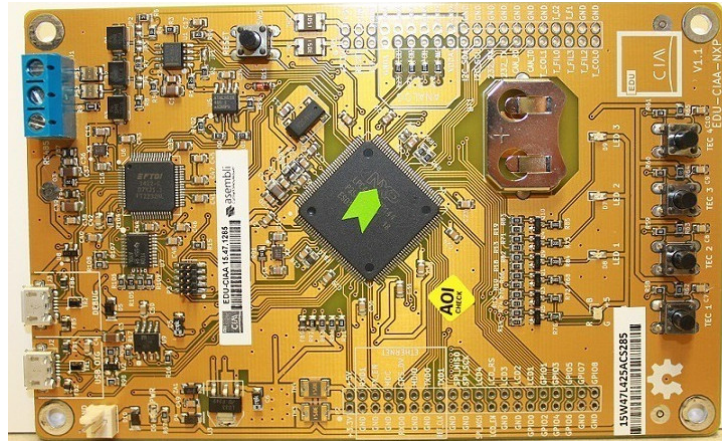


FIGURA 2.4: La EDU-CIAA posee un microcontrolador LPC4337 (dual core ARM Cortex-M4 y Cortex-M0).

2.4.3. Salidas

Modulo wifi

El ESP01[1] es un modulo que contiene un microcontrolador ESP8266[4] de bajo coste con Wi-Fi integrado fabricado por la empresa Espressif[3] figura 2.5. En cuanto a comunicación Wi-Fi, este modulo tiene comunicación integrada 802.11 b/g/n, incluidos modos Wi-Fi Direct (P2P)[10] y softAp[9]. Incluye una pila de TCP/IP completa, lo que libera de la mayor parte del trabajo de comunicación al procesador.

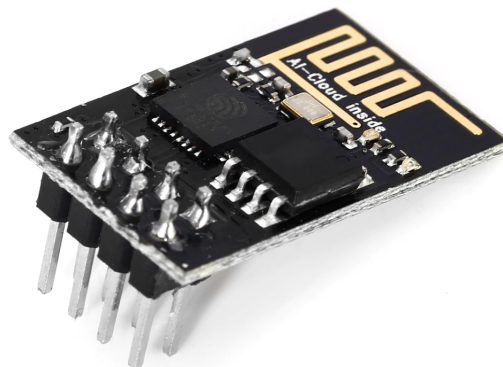


FIGURA 2.5: ESP8266 (ESP-01) 2.4GHz Módulo Inalámbrico.

Modulo generador de sonido

El módulo fue desarrollado específicamente para este proyecto en base a diagramas de la hoja de datos del fabricante figura 2.6 para el amplificador operacional LM386[6], el cual provee un amplificador de audio de baja potencia, capaz de funcionar con una fuente de alimentación simple entre 4 y 12 V. Este módulo genera una señal sonora a través de un parlante de 8 Ω .

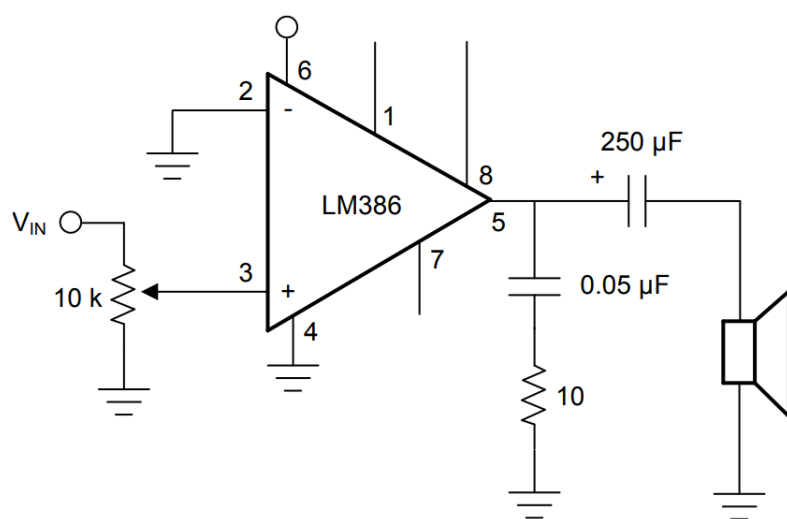


FIGURA 2.6: Circuito amplificador basado en el amplificador operacional LM386.

Capítulo 3

Diseño e Implementación

En este capítulo se presenta la arquitectura del *firmware* y el patrón de diseño usado para los módulos del sistema. Asimismo, se detallan aspectos funcionales de cada módulo y se fundamentan las elecciones de los distintos componentes de hardware utilizados.

El código fuente asociado puede consultarse en la siguiente URL: <https://github.com/alesuarez/soniforo>

3.1. Arquitectura

A este proyecto se le dió el nombre de Soniforo, de la conjunción de las palabras Sonido y semáforo.

Se optó por un modelo de capas jerárquico para organizar el código en los distintos niveles de abstracción.

En la figura 3.1 se puede observar como se planteó este trabajo.

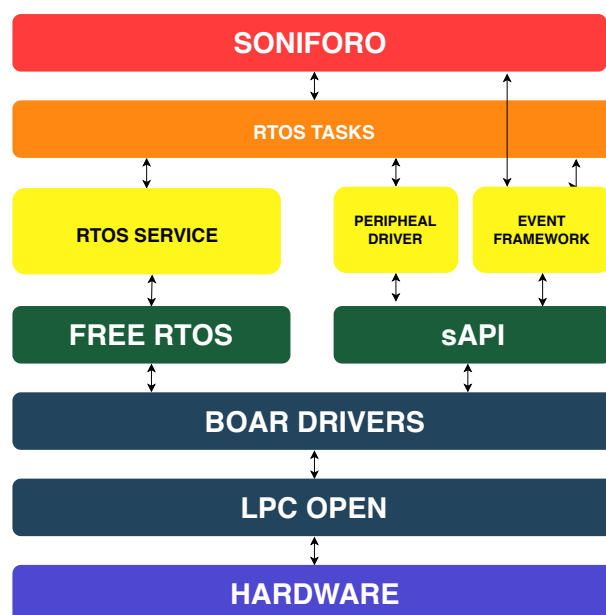


FIGURA 3.1: Estructura de capas para el *firmware*.

En cuanto a los niveles de abstracción, la primera capa constituye el hardware de la plataforma EDU-CIAA. La segunda capa, *Hardware Abstraction Layer* (HAL), permite desacoplar las capas superiores del hardware. Aquí se encuentran los drivers del fabricante del microcontrolador, en el bloque funcional LPC Open. La capa Hardware Independent Layer (HIL) incluye los módulos del RTOS (no está asociada a ningún hardware en particular) y sAPI que permite el manejo de los periféricos de la placa con mayor facilidad. Sobre esta base se observa una capa orientada a servicio que nos permiten procesar la información del sistema, estas son:

- Rtos service: Se encarga de la creación de tareas, temporizadores, semáforos binarios.
- Peripheral driver: Se encarga de la configuración de los periféricos, como ser las interrupciones.
- Envent framework: esta capa se encarga de la definición y creación de todos los eventos del sistema.

Sobre estas capas se ubican todas las tareas que corren y son propias del sistema, a esta se la llama Rtos task. Finalmente, la última capa contiene la aplicación Soniforo.

Capítulo 4

Ensayos y Resultados

4.1. Pruebas funcionales del hardware

La idea de esta sección es explicar cómo se hicieron los ensayos, qué resultados se obtuvieron y analizarlos.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y cómo se podría continuar. Debe ser especialmente breve y concisa. Es buena idea usar un listado para enumerar los logros obtenidos.

5.2. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

Bibliografía

- [1] Esp01. *Hoja de datos Esp01*. Disponible: 2019-07-31. URL: <http://www.microchip.ua/wireless/esp01.pdf>.
- [2] Real academia española. *Definicion de wifi*. Disponible: 2019-07-13. URL: <https://dle.rae.es/?id=c6ehZd8>.
- [3] Espressif. *Espressif Systems*. Disponible: 2019-07-31. URL: <https://www.espressif.com/>.
- [4] Espressif. *Hoja de datos ESP8266*. Disponible: 2019-07-31. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf.
- [5] Indec. *Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad*. Disponible: 2019-07-13. URL: https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/estudio_discapacidad_12_18.pdf.
- [6] Texas Instrument. *Hoja de datos LM386*. Disponible: 2019-07-31. URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf>.
- [7] sAPI. *simpleAPI*. Disponible: 2019-07-20. URL: <https://github.com/epernia/sAPI>.
- [8] Wikipedia. *Semáforo*. Disponible: 2019-07-11. URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sem%C3%A1foro>.
- [9] Wikipedia. *SoftAP*. Disponible: 2019-07-31. URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/SoftAP>.
- [10] Wikipedia. *Wi-Fi Direct*. Disponible: 2019-07-31. URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Direct.