

**Universidad Tecnológica Nacional**

Proyecto Final

---

**Sistema de Medición y Relevamiento para  
Dispositivos de Iluminación Vehicular**

---

*Autor:*

KAPPES, Franco Ivan

*Director:*

Ing. MINNI, Cesar

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos  
para acceder al título de **Ingeniero en Electrónica** en la*

**Facultad Regional Paraná**

Fecha: Noviembre de 2017



## **Declaración de autoría:**

Yo declaro que el Proyecto Final “Sistema de Medición y Relevamiento para Dispositivos de Iluminación Vehicular” y el trabajo realizado son propios. Declaro:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

---

15 de Noviembre 2017



## **Agradecimientos:**

Al Ing. Cesar Minni, Director de este Proyecto Final de Carrera, por su disposición y acompañamiento durante todo el proceso.

A mis padres, por acompañarme, alentarme y brindarme la mejor educación que estuvo a su alcance.

En especial a mi madre, por enseñarme a nunca bajar los brazos.

En especial a mi padre, por demostrarme que el esfuerzo y el sacrificio dan fruto.

A mis hermanos, los pilares y ejemplos para mi vida.

A mis compañeros de clase, con los cuales todo ha sido mucho más fácil y enriquecedor.

A mis amigos, a quienes les pertenece parte de este logro.

A todos aquellos que de alguno u otra forma me acompañan, regalándome parte de sus vidas.

Kappes, Franco Ivan



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

## Abstract

# Sistema de Medición y Relevamiento para Dispositivos de Iluminación Vehicular

KAPPES, Franco Ivan

### **Abstract:**

I developed a complete system of light intensity measurement and survey oriented especially to the design and development of motor vehicles. It consists of a network of Sensors of Ambient Light (ALS) arranged on a rigid screen that registers the luminous flux in multiple points of interest in real time. The values of the measurements are exposed in an intuitive computer graphic interface that provides the user with qualitative and quantitative results of easy interpretation. After each measurement or survey, the Software offers the possibility of generating a complete series of files such as spreadsheets and images that allow a detailed study of the results obtained.

For the implementation of the system I opted for a system that combines microcontroller technology and CMOS multiplexers, I<sup>2</sup>C communication protocol, standard cables and connectors and a free Software for the creation of the user interface. An important aspect that was taken into account is the practicality and simplicity of the hardware of the equipment, where each component is easily removable for its replacement in case of any eventual failure.

The result was a complete system of measurement and real-time measurement of light intensity with multiple scales, of great precision and resolution, where each point can be evaluated with a resolution of up to 0.2 [lux] for low intensity headlamps and with a range greater than 50,000 [lux] for road headlights or similar. The system also has the ability to adapt to the environment in which it is used and to compensate for any luminous factor that may impair the correct measurement of a light source. This equipment is capable of surveying a full photometric screen every second, a significant feature considering that manual measurement requires a time of 10 to 20 minutes per screen.

### **Keywords:**

*Environment, BH1750, Lighthouse, Fountain, GY30, Illuminance, Luminous, Lux, Light, Measurement, Motovehicle, Display, Sensor, Temperature.*

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

## Resumen

# Sistema de Medición y Relevamiento para Dispositivos de Iluminación Vehicular

KAPPES, Franco Ivan

### **Resumen:**

Desarrollé un sistema completo de medición y relevamiento de intensidad lumínica orientado especialmente al diseño y desarrollo de fatos de motovehículos. El mismo consta de una red de Sensores de Luz Ambiental (ALS) dispuestos sobre una pantalla rígida que registra el flujo luminoso en múltiples puntos de interés en tiempo real. Los valores de las mediciones son expuestos en una interfaz gráfica de computadora de uso intuitivo que brinda al usuario resultados cualitativos y cuantitativos de fácil interpretación. Luego de cada medición o relevamiento, el Software ofrece la posibilidad de generar una completa serie de archivos como hojas de cálculo e imágenes que permiten un detallado estudio de los resultados obtenidos.

Para la implementación del sistema opté por un sistema que combina tecnología de microcontrolador y multiplexores CMOS, protocolo de comunicación I<sup>2</sup>C, cables y conectores estándar y un Software libre para la creación de la interfaz de usuario. Un aspecto importante que se tuvo en cuenta es la practicidad y simpleza del hardware del equipo, donde cada componente es fácilmente extraíble para su reemplazo en caso de cualquier falla eventual.

El resultado fue un sistema completo de medición y relevamiento en tiempo real de intensidad lumínica con múltiples escalas, de gran precisión y resolución, donde cada punto puede ser evaluado con una resolución de hasta 0,2[lux] para faros de baja intensidad y con un alcance superior a los 50.000[lux] para faros de carretera o similares. El sistema cuenta además con la posibilidad de adaptarse al ambiente en que es utilizado y compensar cualquier factor luminoso que pueda perjudicar la correcta medición de una fuente de luz. Este equipo es capaz de realizar el relevamiento de una pantalla fotométrica completa cada un segundo, una característica significativa teniendo en cuenta que la medición manual requiere un tiempo de 10 a 20 minutos por pantalla.

### **Palabras Clave:**

Ambiente, BH1750, Faro, Fuente, GY30, Iluminancia, Luminosa, Lux, Luz, Medición, Motovehículo, Pantalla, Sensor, Temperatura.

## **Reconocimientos:**

A la empresa Reisender Electronic Technology S.A. por recibirme generosamente en sus instalaciones para la realización de mis Practica Profesionales, empresa en la que pude inspirarme para realizar este Proyecto.

A la Facultad Regional Paraná de la UTN y a todo su personal, por estar siempre a disposición.

A mis profesores, por brindarme una formación académica de excelencia.

Al Ing. Alberto Rousseaux por su importante colaboración.

## Índice:

Declaración de autoría: .....	3
Agradecimientos: .....	5
Abstract: .....	7
Keywords: .....	7
Resumen: .....	8
Palabras Clave:.....	8
Reconocimientos: .....	9
Índice: .....	10
Lista de Figuras: .....	12
Lista de Tablas: .....	15
Lista de Abreviaciones: .....	16
Lista de Símbolos: .....	17
Dedicado a:.....	18
Capítulo 1: Introducción .....	1
Capítulo 2: Desarrollo. Investigación de Componentes. Análisis y Selección .....	3
2.1 Definiciones y conceptos teóricos de iluminación .....	3
2.1.1 Candela.....	3
2.1.2 Lumen .....	4
2.1.3 Lux .....	5
2.1.4 Iluminancia .....	5
2.1.5 Lux y lumen .....	5
2.1.6 Función de luminosidad.....	6
2.2 Introducción al desarrollo del sistema .....	7
2.2.1 Sensor de luz ambiental con bus I <sup>2</sup> C. BH1750 .....	9
Introducción .....	9
Magnitud a medir .....	9
Descripción .....	10
Software y configuración .....	10
2.2.2 Modulo de medición de luz ambiente GY-30 .....	16
Introducción .....	16
Descripción .....	16
2.2.3 Sensor de Temperatura .....	18
Introducción .....	18
Descripción .....	18
Software y configuración .....	18
2.2.4 Microcontrolador PIC 18F4550 - Microchip .....	19
Introducción .....	19
Descripción .....	19

2.2.5 Conexionado .....	20
Introducción .....	20
Descripción .....	20
2.2.6 Pantalla .....	21
Capítulo 3: Desarrollo del sistema completo .....	22
3.1 Hardware .....	22
3.1.1 Bloque 1 - Sensores de Luz Ambiente (ALS) .....	23
3.1.2 Bloque 2 - Multiplexación .....	26
3.1.3 Bloque 3 - Sensor de Temperatura.....	30
3.1.4 Bloque 4 - Placa de Control Principal .....	32
3.1.5 Bloque 5 - Placa de Control Secundaria .....	37
3.1.6 Bloque 6 - PC .....	39
3.2 Firmware y Software .....	40
3.2.1 Firmware de Microcontrolador .....	40
3.2.1.1 Diagrama de flujo .....	42
3.2.1.2 Descripción del Firmware .....	43
3.2.2 Software de PC .....	45
3.2.2.1 Diagrama de flujo .....	46
3.2.2.2 Descripción del Software .....	46
Capítulo 4: Resultados.....	51
4.1 Hardware .....	51
4.1.1 Sensores .....	51
4.1.2 Placa de Control Principal .....	52
4.1.3 Placa de Control Secundaria .....	53
4.1.4 Pantalla .....	54
4.2 Software.....	57
4.2.1 Pantalla de Inicio .....	57
4.2.2 Visualización .....	58
4.2.3 Relevamiento .....	60
4.2.4 Medición de frecuencia.....	61
4.3 Clase.....	61
4.4 Ventajas.....	62
Capítulo 5: Análisis de Costos .....	63
Capítulo 6: Discusión y Conclusión.....	65
Capítulo 7: Bibliografía.....	66

## Lista de Figuras:

Fig. 1 - Goniómetro de precisión. Sistema de medición actual en laboratorios europeos.....	2
Fig. 2 - Distribución Isotrópica de la luz.....	4
Fig. 3 - Dispersion de la luz.....	5
Fig. 4 - Funciones de luminosidad fotópica (rojo) y escotópica (azul). ....	6
Fig. 5 - Diagrama en bloque simplificado.....	7
Fig. 6 - Imagen ilustrativa de la disposición del faro respecto a la pantalla.....	7
Fig. 7 - (Izq.) Intensidades en Candelas. (Der) Pantallas de medición (UNECE).....	8
Fig. 8 - Distribución y máscara de medición para Luz de Giro.....	8
Fig. 9 - Representación de la unidad Candela.....	9
Fig. 10 - Representación de la unidad (izq.) Lumen - (der) Lux.....	9
Fig. 11 - BH1750 - Sensor de Luz Ambiental.....	10
Fig. 12 - Iluminación solar teórica (hora legal) frente a la capacidad de medición del BH1750 a 1[lux].....	11
Fig. 13 - (Izq.) Respuesta espectral HB1750. (Der) Respuesta espectral ojo humano.....	14
Fig. 14 - Dependencia de la Fuente de Luz.....	14
Fig. 15 - Módulo GY-30.....	16
Fig. 16 - Circuito Esquemático Modulo GY-30.....	16
Fig. 17 - Sensor de temperatura MCP9801.....	18
Fig. 18 - Microcontrolador PIC 18F4550.....	19
Fig. 19 - (Izq.) Cable normalizado con conexión RJ11. (Der) Diagrama de conexión en el equipo.....	20
Fig. 20 - Chapadur perforado utilizado como pantalla.....	21
Fig. 21 - Diagrama en bloques del sistema completo.....	22
Fig. 22 - Sensor de luz ambiente BH1750.....	23
Fig. 23 - Bus I2C estandar.....	23
Fig. 24 - Tipos de conexonado posible. Operación y direccoinamiento.....	23
Fig. 25 - Esquema simplificado del primer y segundo bus I <sup>2</sup> C de los 16 necesarios.....	24
Fig. 26 - Esquema de cada Bus I <sup>2</sup> C.....	24
Fig. 27 - Diagrama esquemático. Sensor de direccion baja.....	24
Fig. 28 - Diagrama y serigrafía del PCB que aloja al sensor de direccion baja.....	25
Fig. 29 - Fotografía del PCB utilizado.....	25
Fig. 30 - Diagrama esquemático. Sensor de direccion baja.....	25
Fig. 31 - Diagrama y serigrafía del PCB que aloja al sensor de direccion alta.....	25
Fig. 32 - Fotografía del PCB utilizado.....	25
Fig. 33 - Diagrama en bloques del sistema de multiplexado.....	26
Fig. 34 - Multiplexor CD4067 (16 canales).....	26
Fig. 35 - Diagrama de multiplexado.....	27
Fig. 36 - Multiplexor CD4051.....	27
Fig. 37 - Diagrama de multiplexado.....	28
Fig. 38 - Circuito de conmutacion linea $\overline{INH}$ .....	28
Fig. 39 - Circuito de multiplexado (Placa de Control Principal).....	29
Fig. 40 - Diagrama en bloques sensado de temperatura.....	30

Fig. 41 - Diagrama esquemático. Sensor de temperatura. ....	30
Fig. 42 - Diagrama y serigrafía del PCB que aloja al sensor de temperatura .....	31
Fig. 43 - Fotografía del PCB utilizado.....	31
Fig. 44 - Diagrama en bloques de la placa de control principal .....	32
Fig. 45 - (Izq.) Fuente Switching. (Der) Bloque protecciones eléctricas .....	32
Fig. 46 - Bloque regulación 5 Voltios.....	33
Fig. 47 - Bloque microcontrolador .....	33
Fig. 48 - Fotografía microcontrolador en PCB.....	33
Fig. 49 - Bloque conexión USB .....	34
Fig. 50 - Bloque display LCD.....	34
Fig. 51 - Fotografía capa superior placa de control principal .....	34
Fig. 52 - Fotografía capa inferior placa de control principal .....	35
Fig. 53 - Fotografía placa de control principal .....	35
Fig. 54 - Placa de Control Principal. Circuito esquemático completo .....	36
Fig. 55 - Diagrama en bloques de la placa de control secundaria .....	37
Fig. 56 - Conectores RJ45.....	37
Fig. 57 - Placa de Control Secundaria.....	38
Fig. 58 - Diagrama y serigrafía del PCB placa de control secundaria.....	38
Fig. 59 - Fotografía del PCB utilizado.....	38
Fig. 60 - Presentación Software MikroC PRO for PIC.....	40
Fig. 61 - Captura configuración de Fusibles.....	40
Fig. 62 - Captura Software MikroC PRO for PIC.....	41
Fig. 63 - Diagrama de flujo del Firmware del microcontrolador.....	42
Fig. 64 - Vista de la Web de descarga del Software QT Creator .....	45
Fig. 65 - Captura del Software QT Creator.....	45
Fig. 66 - Diagrama de flujo del Software de PC .....	46
Fig. 67 - Captura de la pantalla de inicio del software de aplicación .....	46
Fig. 68 - Captura del área de propiedades.....	47
Fig. 69 - Captura del área de algunas propiedades ya desplegadas.....	47
Fig. 70 - Captura del software. Disposición de sensores antes de iniciar el ensayo .....	49
Fig. 71 - Captura del software. Disposición de sensores antes de iniciar el ensayo .....	49
Fig. 72 - Captura del software. Ventana utilizada para medición de frecuencia de destello .....	50
Fig. 73 - Fotografías implementación del sensor de dirección baja .....	51
Fig. 74 - Fotografías implementación del sensor de dirección alta .....	51
Fig. 75 - Fotografía Placa de Control Principal .....	52
Fig. 76 - Frente gabinete Placa de Control Principal.....	52
Fig. 77 - Fotografía Placa de Control Secundaria .....	53
Fig. 78 Faro de prueba y Placa de Control Secundaria .....	53
Fig. 79 - Estructura pantalla 1,5[m] de radio .....	54
Fig. 80 - Disposición de sensores para medición de Luz de Freno .....	54
Fig. 81 - Vistas ángulo de incidencia de la luz .....	55

Fig. 82 - Características Direccionales. Hoja de datos bh1750 .....	55
Fig. 83 - Captura de Pantalla de Inicio del Programa .....	57
Fig. 84 - Display LCD. Equipo se encuentra listo .....	57
Fig. 85 - Display LCD. Equipo realizando un relevamiento automatico .....	60
Fig. 86 - Captura de pantalla durante medicion de frecuencia .....	61
Fig. 87 - Display LCD. Equipo midiendo frecuencia de destello .....	61

## Lista de Tablas:

Tabla 1 - Luminosidades típicas en candelas .....	3
Tabla 2 - Valores orientativos del nivel de iluminación .....	5
Tabla 3 - L-Resolution Mode ó H-Resolution Mode .....	12
Tabla 4 - H-Resolution Mode2.....	12
Tabla 5 - Valores de MTReg.....	13
Tabla 6 - Resolución asignada faros USA.....	15
Tabla 7 - Resolución asignada faros EUROPA.....	15
Tabla 8 - Pinout MCP9801 .....	18
Tabla 9 - Tabla de verdad direccionamiento CD4067 .....	27
Tabla 10 - Tabla de verdad para dos dispositivos CD4051 .....	28
Tabla 11 - Tabla de verdad para conmutación.....	28
Tabla 12 - Factor de Corrección ej. 1 .....	55
Tabla 13 - Factor de Corrección ej. 2 .....	55
Tabla 14 - Costos de diseño.....	63
Tabla 15 - Costos de Producción .....	63

## **Lista de Abreviaciones:**

ALS	- Ambient Light Sensor
SLA	- Sensor de Luz Ambiental
CI	- Circuito Integrado
UNECE	- United Nations Economic Commission for Europe
CEPE	- Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa
FMVSS	- Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations
NHTSA	- National Highway Traffic Safety Administration

## Lista de Símbolos:

## **Dedicado a:**

Este trabajo de final de carrera esta exclusivamente dedicado a cuatro personas que formaron parte de mi formación académica y quienes hoy son parte de mi vida.

A todos ellos, Muchas Gracias!

Christian Kalivoda  
Imanol Berasategui  
Celina Bonino  
Cristian Cellino



## Capítulo 1: Introducción

Cada vez que una empresa decide lanzar un nuevo producto al mercado, éste debe cumplir con una serie de estrictas recomendaciones impuestas por organismos nacionales o internacionales antes de poder ser comercializado. Para ello, existe una lista de reglamentos donde se establece claramente qué aspectos del producto deben ser puestos a prueba, medidos y estudiados antes de conseguir su correspondiente certificación.

Una empresa de la localidad de Paraná diseña y desarrolla motocicletas eléctricas de alto rendimiento, producto que pretende comercializar tanto en territorio nacional como en el exterior, y uno de los aspectos físicos del rodado que debe ser desarrollado bajo normas internacionales de calidad son los dispositivos de iluminación vehicular. Según la normativa vigente, para cada faro se debe realizar una serie de mediciones de intensidad luminosa en múltiples puntos del espacio alrededor del mismo con la intención de asegurar una correcta distribución del flujo luminoso. Esto asegura iluminación suficiente para el conductor y una adecuada señalización del vehículo sin afectar negativamente a otros conductores.

Realizar manualmente la medición de cada uno de los puntos indicados en la norma insume un tiempo considerable haciendo que, entre otras cosas, se presenten variaciones en las condiciones entre mediciones sucesivas. Un aspecto muy importante al momento de realizar el relevamiento de cualquier parámetro físico es que todas y cada una de las mediciones que se llevan a cabo sean consistentes en tiempo y forma entre sí. Por ello, el presente trabajo pretende desarrollar un equipo constituido por múltiples luxómetros capaz de realizar en forma autónoma un gran número de mediciones de calidad en un tiempo muy reducido. Este equipo posibilitaría el relevamiento, ensayo, medición y visualización cualitativa y cuantitativa casi en tiempo real de cualquier faro o fuente luminosa, minimizando el efecto negativo del cambio en el entorno sobre las mediciones conforme transcurre el tiempo. Esta necesidad de realizar mediciones y relevamientos en forma simple y eficiente es la que da origen al presente trabajo.

Actualmente en nuestro país no hay una normativa propia a nivel nacional que establezca los requisitos que deben cumplir los faros vehiculares, sino que se rigen por las normas de seguridad europeas. Por la misma razón, tampoco existen dispositivos específicos para realizar este tipo de mediciones sobre los dispositivos de iluminación vehicular. Luego de realizar una breve investigación, se concluye que actualmente en Argentina este tipo de ensayo y relevamiento se realiza manualmente, de a una medición por vez con un luxómetro estándar siguiendo el proceso de medición según la normativa de la UNECE. Ese “vacío tecnológico” donde no existe un equipo apropiado para llevar adelante este tipo de tarea, es hacia donde apunta este dispositivo.

En los países de la Comunidad Europea donde se emplazan los laboratorios que expenden Certificados de Calidad Internacional, se utilizan un sistema de medición conformado por un único sensor de luz fijo en el centro de una pantalla, mientras el faro bajo ensayo es rotado mecánicamente un cierto ángulo en forma muy precisa para medir la intensidad de luz que éste emite en cada dirección de interés. Naturalmente, este sistema produce una única medición por vez, lo cual hace imposible un relevamiento rápido o una visualización constante de la forma en que ilumina el faro bajo estudio.

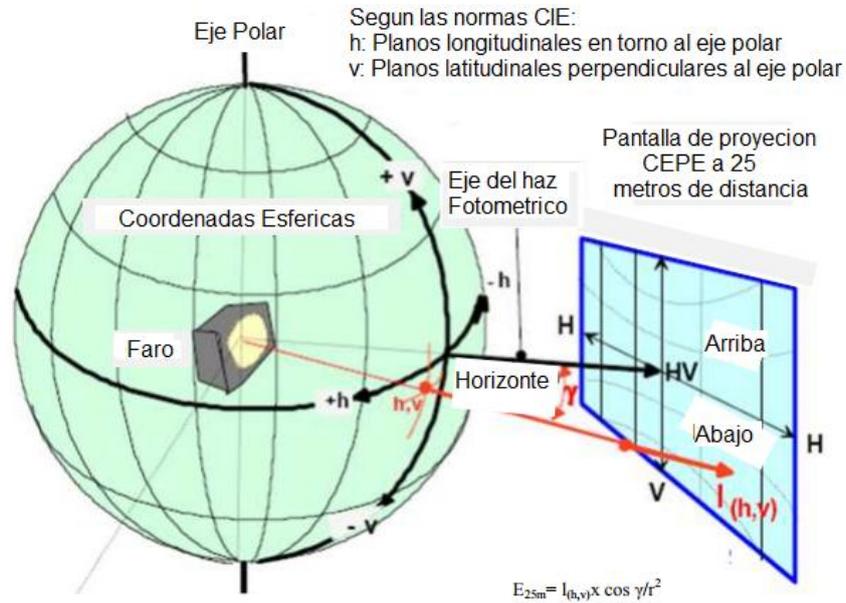


Fig. 1 - Goniómetro de precisión. Sistema de medición actual en laboratorios europeos.

Este Proyecto se presenta como un nuevo producto dirigido a satisfacer una necesidad puntual en el área de desarrollo de dispositivos de iluminación, que facilite la creación de dispositivos que cumplan con las normas internacionales de seguridad en un tiempo realmente reducido y con resultados confiables. Un producto como este permite al diseñador modificar las características lumínicas del faro mientras visualiza los resultados en una pantalla en tiempo real.

Al implementar el equipo con componentes estándar, de baja complejidad y bajo costo, se ofrece un producto que no necesita de un servicio post venta de ningún tipo y donde cada parte del hardware es fácilmente reemplazable por el usuario en caso de avería.

## Capítulo 2: Desarrollo. Investigación de Componentes. Análisis y Selección

### 2.1 Definiciones y conceptos teóricos de iluminación

#### 2.1.1 Candela

La **candela (cd)** es una de las unidades básicas del Sistema Internacional, de intensidad luminosa. Se define como:

*“La intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hercios y de la cual la intensidad radiada en esa dirección es 1/683 W vatios por estereorradián.”*

La potencia (flujo) por unidad de ángulo sólido es la terminología precisa más cercana al término común de *intensidad*. Expresa la direccionalidad de la energía radiada y es apropiada para la descripción de fuentes puntuales. En el caso de la potencia radiante, se expresa en vatios por estereorradian. Para la luz visible, se expresa en lúmenes por estereoradian = *candela*.

#### *Luminosidades típicas en candelas (cd)*

Dado que resulta un poco más complejo evaluarlas teóricamente, la valoración de las intensidades medidas en candela son señaladas a través de algunos ejemplos que podemos observar:

<b>Fuente</b>	<b>Potencia aproximada en vatios (W)</b>	<b>Luminosidad aproximada en candelas (cd)</b>
Vela de cera	no notoria	1 cd
LED poco luminoso	decenas de milivatios	decenas de milicandelas
LED de potencia	1 W	90 cd x sr
Lámpara incandescente	40 W	40 cd
Lámpara incandescente	100 W	130 cd
Lámpara fluorescente	40 W	200 cd
Proyector de alta potencia	decenas de miles de vatios	millones de candelas

Tabla 1 - Luminosidades típicas en candelas

2.1.2 Lumen

Los lúmenes se usan para medir la potencia luminosa que percibe el ojo humano

El **lumen (lm)** es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente. El *flujo luminoso* se diferencia del *flujo radiante* en que el primero contempla la sensibilidad variable del ojo humano a las diferentes longitudes de onda de la luz y el último involucra toda la radiación electromagnética emitida por la fuente según las leyes de Wien y de Stefan-Boltzmann sin considerar si tal radiación es visible o no.

$$1lm = 1cd \cdot sr = 1lx \cdot m^2$$

Si una fuente luminosa emite una candela de intensidad luminosa uniformemente en un ángulo sólido de un estereorradián, su flujo luminoso total emitido en ese ángulo es un lumen. Alternativamente, una fuente luminosa isótropa de una candela emite un flujo luminoso total de exactamente  $4\pi$  lúmenes. Se puede interpretar el lumen de forma menos rigurosa como una *medida de la "cantidad" total de luz visible en un ángulo determinado*, o emitida por una fuente dada. A su vez, cuando sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup> incide un lumen, se dice que dicha superficie cuenta con una iluminación de un *lux*.

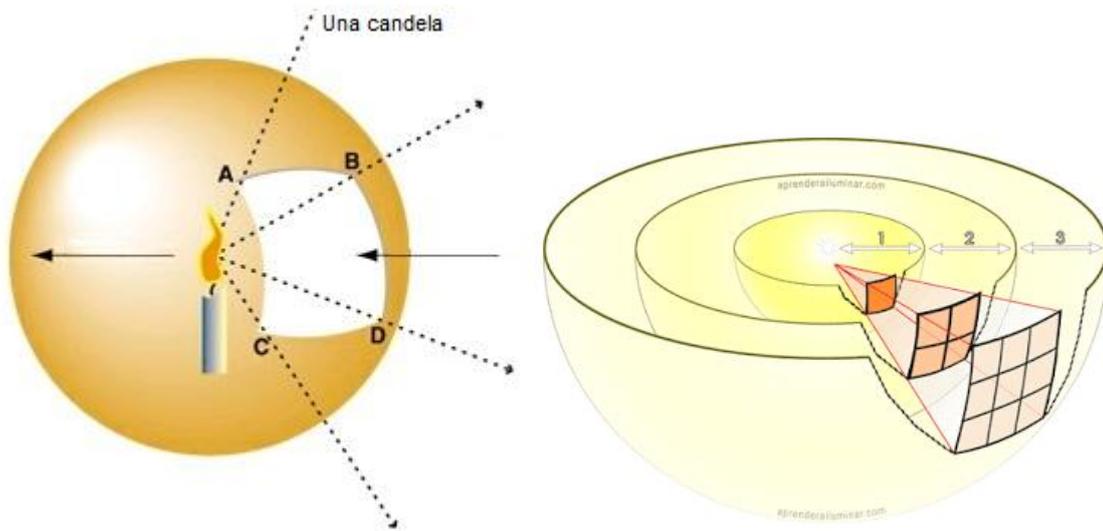


Fig. 2 - Distribución Isotrópica de la luz

2.1.3 Lux

El **Lux (lx)** es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la *iluminancia* o nivel de iluminación.

El Lux se usa en la fotometría como medida de la iluminancia, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la *función de luminosidad*, un modelo estándar de la sensibilidad del ojo humano a la luz. El lux es una unidad derivada, basada en el lumen, que a su vez es una unidad derivada basada en la candela.

$$1lx = \frac{1lm}{m^2} = 1cd \cdot \frac{sr}{m^2}$$

La siguiente tabla muestra unos valores orientativos del nivel de iluminación que se puede medir, en un plano horizontal a unos 0,70m del suelo, en diferentes situaciones

Iluminancia	Abr.	Ejemplo
0,0001 lux	100 µlx	Cielo nocturno nublado, luna nueva
0,001 lux	1 mlx	Cielo nocturno despejado, luna nueva
0,01 lux	10 mlx	Cielo nocturno despejado, cuarto creciente o menguante
0,25 lux	250 mlx	Luna llena en una noche despejada
1 lux	1 lx	Luna llena a gran altitud en latitudes tropicales
3 lux	3 lx	Límite oscuro del crepúsculo bajo un cielo despejado
100 lux	1 dlx	Pasillo en una zona de paso
300 lux	3 hlx	Sala de reuniones
500 lux	5 hlx	Oficina bien iluminada
600 lux	6 hlx	Salida o puesta de sol en un día despejado.
1000 lux	1 klx	Iluminación habitual en un estudio de televisión
32.000 lux	32 klx	Luz solar en un día medio (mín.)
100.000 lux	100 klx	Luz solar en un día medio (máx.)

Tabla 2 - Valores orientativos del nivel de iluminación

2.1.4 Iluminancia

Iluminancia es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. La unidad de medida en el Sistema Internacional es el lux.

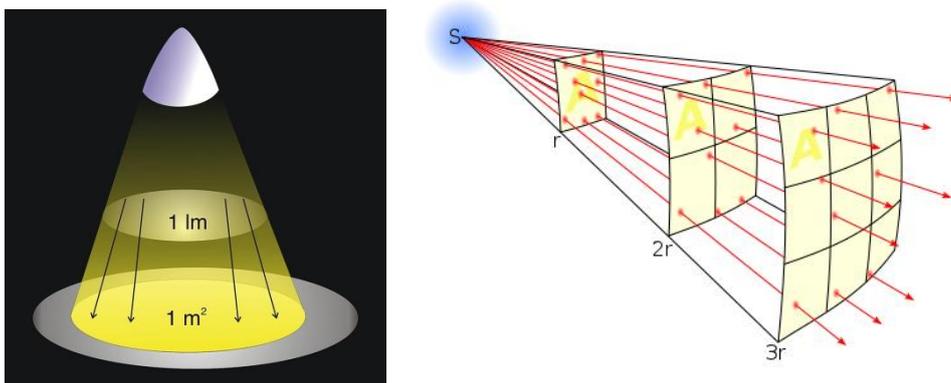


Fig. 3 - Dispersion de la luz

2.1.5 Lux y lumen

La diferencia entre el lux y el lumen consiste en que el lux toma en cuenta la superficie sobre la que el flujo luminoso se distribuye. 1000 lúmenes, concentrados sobre un metro cuadrado, iluminan esa superficie con 1000 lux. Los mismos mil lúmenes, distribuidos sobre 10 metros cuadrados, producen una iluminancia de sólo 100 lux. En otras palabras, iluminar una área mayor al mismo nivel de lux requiere de un número mayor de lúmenes.

### 2.1.6 Función de luminosidad

En fotometría la *función de luminosidad* o *función de eficiencia luminosa* describe la relación entre la sensación humana de luz y el concepto físico de luz, que es la cantidad a la cual los instrumentos de medida reaccionan. Esta función es diferente dependiendo de que el ojo se encuentre adaptado a condiciones de buena iluminación (visión fotópica) o de mala (visión escotópica). Así, en condiciones fotópicas, la curva alcanza su pico para 555 nm, mientras que en condiciones escotópicas lo hace para 507 nm.

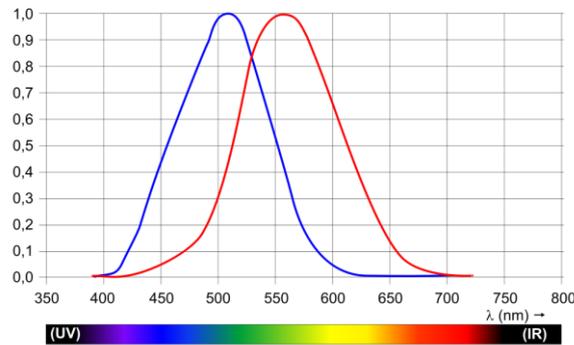


Fig. 4 - Funciones de luminosidad fotópica (rojo) y escotópica (azul).

### La curva de sensibilidad

Para ser de utilidad práctica la candela debe poder indicar la intensidad luminosa de una fuente de luz de cualquier color. Por ejemplo en la realización de un panel luminoso donde se ubican dispositivos que emiten luces de diversos colores se debe tener una medida o mensura que indique *cómo son percibidos por el ojo humano*. Ya que el ojo humano no posee la misma sensibilidad a los diversos colores (es máxima para el color verde, y siempre más baja para el rojo).

Para los colores ha sido definido un estándar de sensibilidad para un ojo normal en una curva obtenida con un test sobre muestras o ejemplos representativos de la población humana. La curva obtenida es generalmente llamada  $\gamma(\lambda)$  tiene un valor de longitud de onda de aproximadamente 555[nm] descendiendo hasta cero sea hacia longitudes de onda más cortas luego del color violeta o, por el contrario, hacia longitudes de onda mayores que la del color rojo.

### 2.2 Introducción al desarrollo del sistema

A continuación se realiza una breve descripción de los componentes utilizados en el proyecto y luego, en las siguientes secciones, se dará paso al desarrollo minucioso del funcionamiento del equipo, el análisis de fallas y los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas.

Como se mencionó en la introducción de este informe, se pretende desarrollar un equipo que sea capaz de medir y analizar, en forma simultánea en múltiples puntos, el flujo luminoso procedente de un faro u otra fuente. Se comienza con un diagrama en bloques muy simplificado del sistema completo para luego ir analizando detalladamente cada una de sus partes

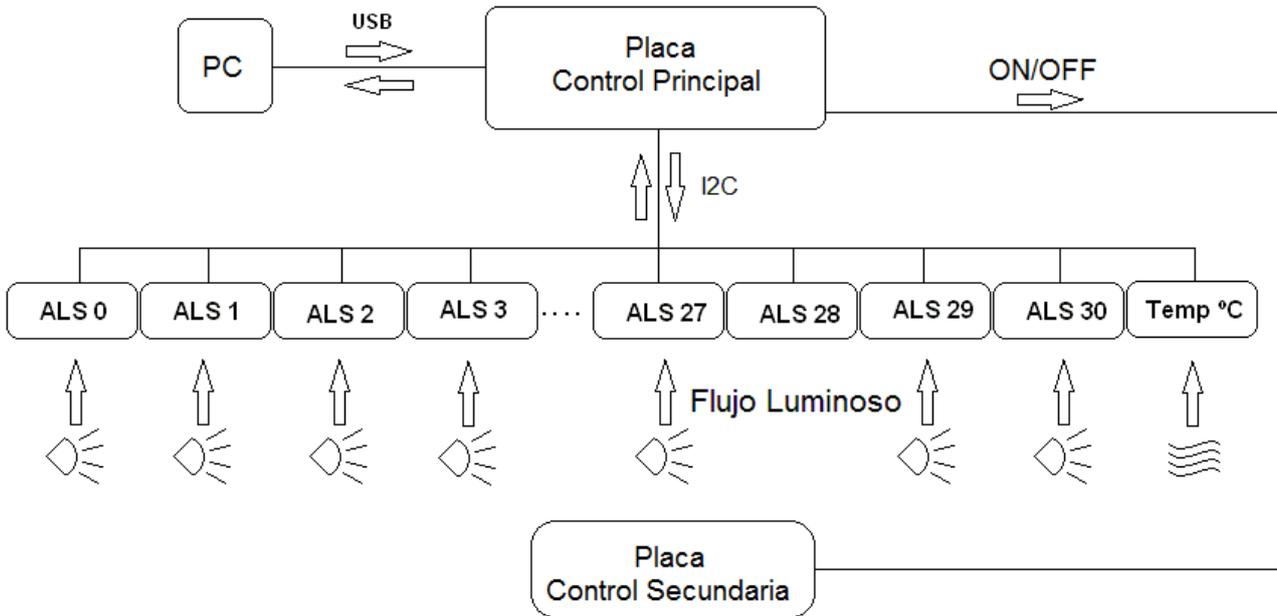


Fig. 5 - Diagrama en bloque simplificado

Como se puede apreciar, el sistema realiza la medición de la intensidad de luz proveniente de una fuente luminosa mediante 31 Sensores de Luz Ambiente (*Ambient Light Sensor*, ALS de aquí en adelante) dispuestos en lugares específicos sobre una pantalla, los envía hacia una placa de control principal a través de una interfaz I<sup>2</sup>C para ser procesada y enviada luego a una PC mediante una conexión USB. Una vez que la información llega al ordenador, ésta la representa en forma cualitativa y cuantitativa mediante una interfaz de usuario muy sencilla e intuitiva.

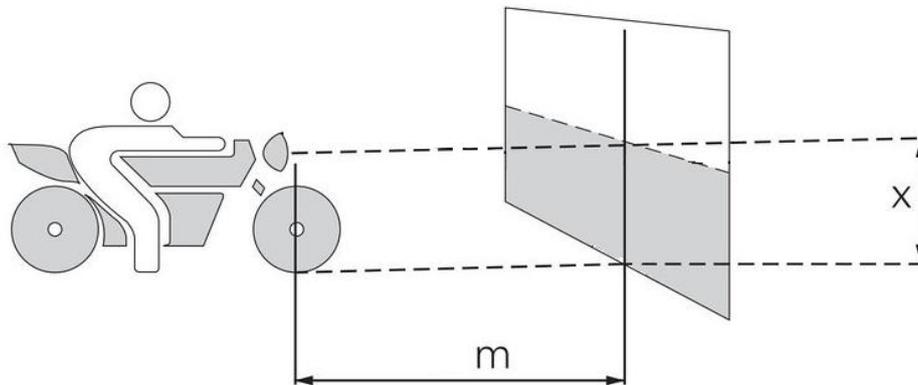


Fig. 6 - Imagen ilustrativa de la disposición del faro respecto a la pantalla

Para brindar una mejor idea de las posibles disposiciones que pueden tener los sensores sobre la pantalla donde realizar mediciones, se presenta una serie de imágenes extraídas de los reglamentos vigentes para la normalización de flujo luminoso de motovehículos según la Unión Europea.

Como primer ejemplo se muestra un extracto de la del Reglamento 113 de normativa europea (UNECE) con información relativa a los Faros de Luz de Cruce. En el cuadro se registra la ubicación de los *Puntos de Medición* (donde se colocaran los sensores) en coordenadas esféricas, el *Tipo de Faro* que se puede elegir, y los *Mínimos y Máximos* de intensidad lumínica en Candelas. A la derecha, una representación gráfica de los puntos de medición sobre una pantalla.

6.2.5.3. For Class C, D or E headlamp (Figure D in Annex 3):

Test point / line / zone	Test point angular coordinates degrees*		Required luminous intensity in cd				
			Minimum			Maximum	
			Class C	Class D	Class E	Classes C,D,E	
1	0.86°D	3.5°R	2,000	2,000	2,500	13,750	
2	0.86°D	0	2,450	4,900	4,900	-	
3	0.86°D	3.5°L	2,000	2,000	2,500	13,750	
4	0.50°U	1.50°L and 1.50°R	--	--	--	900	
5	2.00°D	15°L and 15°R	550	1,100	1,100	--	
6	4.00°D	20°L and 20°R	150	300	600	-	
7	0	0	--	--	--	1,700	
Line 1	2.00°D	9°L to 9°R	1,350	1,350	1,900	-	
8**	4.00°U	8.0°L	$\Sigma 8 + 9 + 10 \geq 150 \text{ cd}^{**}$				700
9**	4.00°U	0					700
10**	4.00°U	8.0°R					700
11**	2.00°U	4.0°L	$\Sigma 11 + 12 + 13 \geq 300 \text{ cd}^{**}$				900
12**	2.00°U	0					900
13**	2.00°U	4.0°R					900
14**	0	8.0°L and 8.0°R	50 cd**	50 cd**	50 cd**	-	
15**	0	4.0°L and 4.0°R	100 cd**	100 cd**	100 cd**	900	
Zone 1	1°U/8°L-4°U/8°L-4°U/8°R-1°U/8°R-0/4°R-0/1°R-0.6°U/0-0/1°L-0/4°L-1°U/8°L		--	--	--	900	
Zone 2	>4U to <15 U	8°L to 8°R	--	--	--	700	

\* 0.25° tolerance allowed independently at each test point for photometry unless indicated otherwise.  
 \*\* On request of the applicant during measurement of these points, the front position lamp approved to Regulation No. 50 or Regulation No. 7; if combined, grouped, or reciprocally incorporated shall be switched ON.

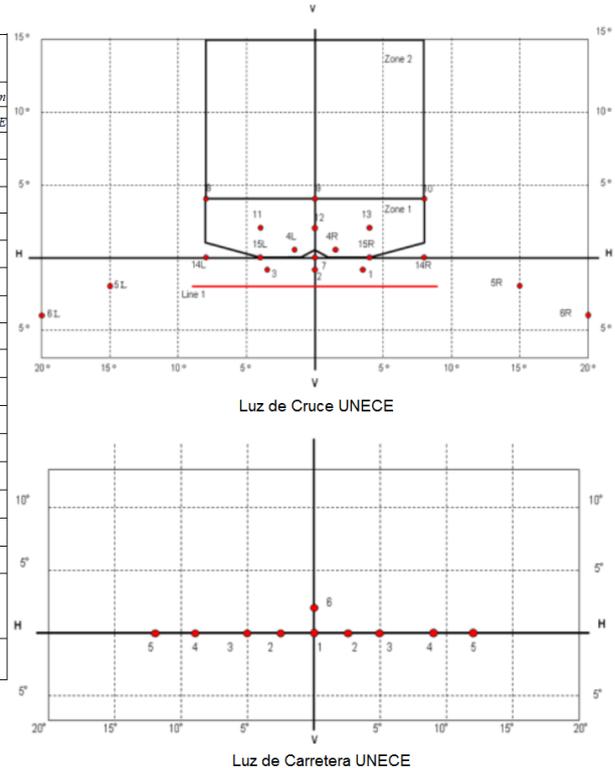


Fig. 7 - (Izq.) Intensidades en Candelas. (Der) Pantallas de medición (UNECE)

Como segundo ejemplo se presenta una ilustración que indica el ángulo de apertura máxima de iluminación de un Faro de Posición según la misma noema. A la derecha, un diagrama marca la ubicación de los puntos de medición sobre la pantalla y el porcentaje de intensidad lumínica respecto del punto central de la misma para el faro bajo estudio.

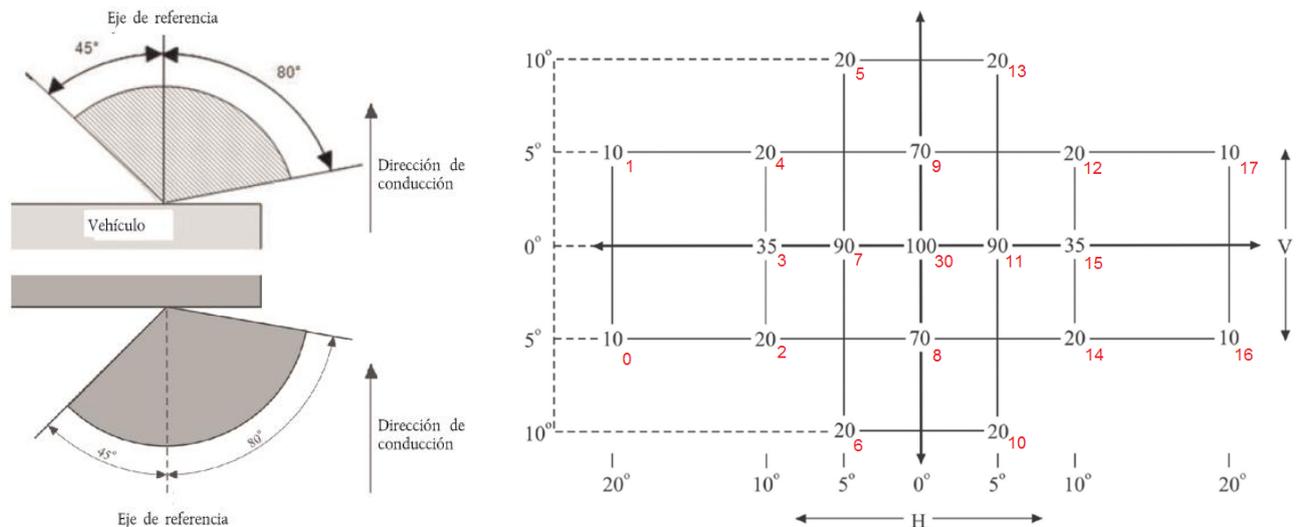


Fig. 8 - Distribución y máscara de medición para Luz de Giro

La selección de los componentes que integran el hardware se realiza bajo la sólida premisa de fabricar un equipo robusto, con conexiones inequívocas, estandarizadas, de bajo costo y de fácil reparación en caso de ser necesario.

### 2.2.1 Sensor de luz ambiental con bus I<sup>2</sup>C. BH1750

#### Introducción

El ALS elegido es el BH1750, un sensor preciso, rápido y muy estable que se encarga de la captura de luz, conversión Analógico-Digital y la transmisión vía I<sup>2</sup>C de forma autónoma. Debido a su reducido tamaño, el mismo se presenta insertado en un módulo comercial llamado GY-30, el cual cuenta con las resistencias de pull-up en su bus, un conversor de nivel para sus datos y un regulador de tensión que permite operar el sensor con tensiones mayores a los 3,3V necesarios.

#### Magnitud a medir

Antes de proseguir con la descripción del dispositivo, se explica muy brevemente la magnitud física que mide este sensor. Toda fuente luminosa tiene una “potencia luminosa”, la cual hace referencia a la “cantidad” de luz visible que esta puede emitir isotrópicamente. Esta potencia se mide en Candelas.

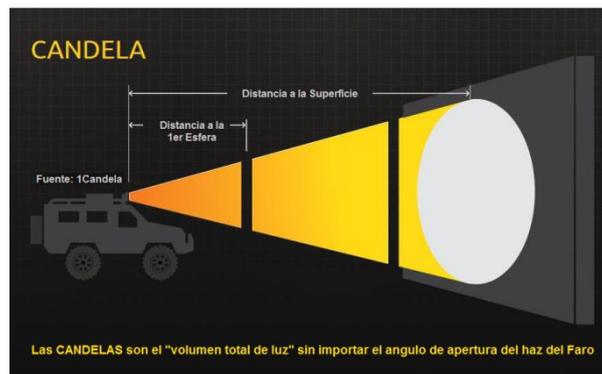


Fig. 9 - Representación de la unidad Candela

Cuando esa potencia se redirige mediante reflectores (en el caso puntual de un faro vehicular), esta cantidad de luz emitida ahora por ángulo sólido de salida, puede ser medida en una unidad conocida como LUMEN. Podríamos decir, entonces, que esa fuente tiene una “potencia de salida” de x Lúmenes. Por último, cuando la luz dirigida ilumina un área frente a ella, la medida de la cantidad de Lúmenes presentes en cada metro cuadrado de dicha superficie se mide en LUX. A esa relación se la conoce como *iluminancia*, y es exactamente lo que mide el BH1750.

$$1Lux = \frac{1Lumen}{1m^2}$$

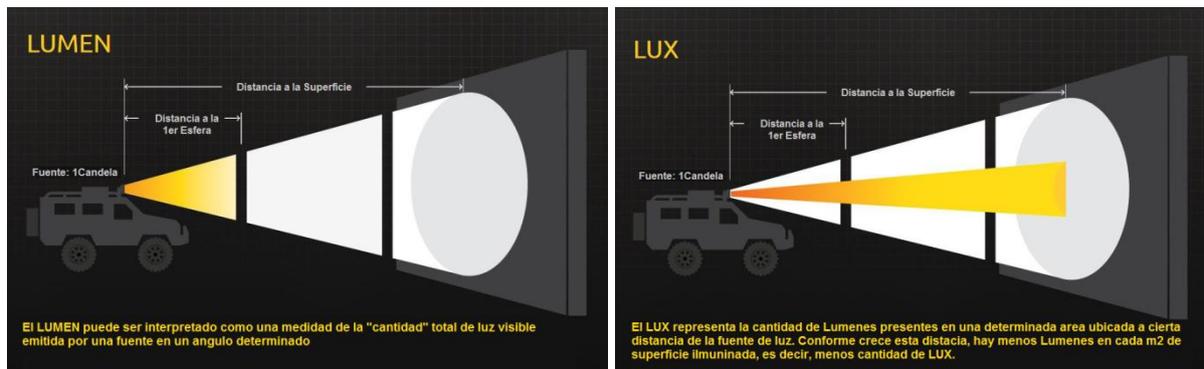


Fig. 10 - Representación de la unidad (izq.) Lumen - (der) Lux

*Descripción*

El BH1750 es un sensor de iluminación ambiental con una resolución y sensibilidad razonablemente altas. Se comporta frente a la luz visible de una forma equiparable a la del ojo humano y no se ve afectado por la radiación infrarroja ni depende de la temperatura de color del tipo de iluminación, es decir, funciona bien con luz natural y con diferentes tipos de iluminación artificial. Se comunica de forma digital con el microcontrolador, con el bus I<sup>2</sup>C, por lo que es resistente a interferencias electromagnéticas externas. Este dispositivo cuenta además con un sistema interno de rechazo a señales de 50/60[Hz] para disminuir el efecto de interferencia proveniente de la red eléctrica. Su tiempo de respuesta es razonablemente bajo, aún en circunstancias desfavorables.

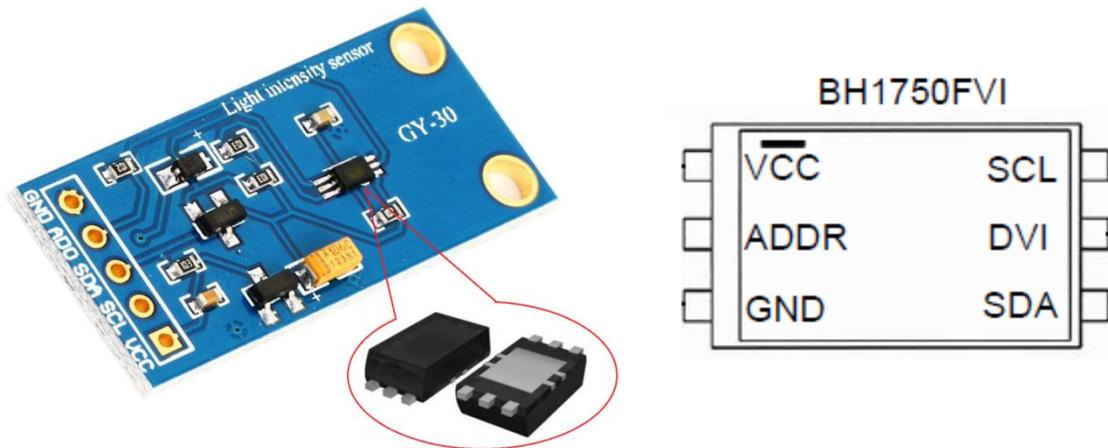


Fig. 11 - BH1750 - Sensor de Luz Ambiental

*Principales Características*

- Interfaz de bus I<sup>2</sup>C
- Respuesta espectral similar igual a la del ojo humano
- Amplia gama y alta resolución (1 - 65535 lx)
- Alta función de rechazo de ruido de 50/60[Hz]
- No necesita de componentes extras
- Baja dependencia del tipo de fuente de luz (lámpara incandescente, fluorescente, halógena, LED, luz solar)
- 2 valores posibles de direccionamiento I<sup>2</sup>C (1 pin de direccionamiento)
- Resultado de medición ajustable según influencia de la ventana óptica (permite detectar un mínimo de 0,11[lux] y un máximo de 100000[lux] utilizando esta función)
- Baja influencia del luz en el espectro infrarrojo

*Software y configuración*

El BH1750 tiene tres *Estados* posibles: Encendido (ON), Apagado (OFF) y Bajo Consumo (STAND BY). A continuación se presenta el set de instrucciones para seleccionar uno de estos estados.

Estados	
0000000x	Modo de bajo consumo o inactividad.
0000001x	Modo encendido.
0000111x	Reset. (Borra registros de datos del BH1750)

Los Modos de Operación de este sensor son dos, lectura individual “One Time Mode” o lectura continua “Continuous Mode” y corresponden a dos formas diferentes de operación. En el Primer caso, el dispositivo se enciende, realiza una única medición y luego se apaga. Si se utiliza el modo de lectura continua el BH1750 sigue activo tras el muestreo, después de realizar una medición individual entra automáticamente en el modo de reposo o bajo consumo. Su hoja de datos establece que la primera lectura del modo continuo tarda a lo sumo 180[ms] y las sucesivas entre 16[ms] y 120[ms] dependiendo de la resolución; valores que se comprobarán más adelante.

Resolución			
0010011x	Medición continua	- 4	lux de resolución (16 ms)
0010000x	Medición continua	- 1	lux de resolución (120 ms)
0010001x	Medición continua	- 0,5	lux de resolución (120 ms)
0100011x	Medición Única	- 4	lux de resolución (16 ms)
0100000x	Medición Única	- 1	lux de resolución (120 ms)
0100001x	Medición Única	- 0,5	lux de resolución (120 ms)
Donde x:	0.- Write - Escritura sobre el esclavo		
	1.- Read - Lectura sobre el esclavo		

Además de los dos modos de operación, el sensor tiene a su vez tres tipos de resolución: “L-Resolution Mode” de 4[lux], “H-Resolution Mode” de 1[lux] y “H-Resolution Mode2” capaz de medir a intervalos de 0,5[lux] utilizando la configuración que tiene por defecto, aunque puede configurarse el tiempo de medición para desarrollar una resolución de hasta 0,11[lux]. Las resoluciones de 1[lux] y 4[lux] utilizan 16 bits de datos para representar la parte entera de la medición, por lo que se puede alcanzar una medida máxima de 65.535 cuentas. A este resultado arrojado por el ADC del IC debe aplicarse un factor de corrección de 5/6 (1÷1.2) para obtener el resultado real en [lux]. Con esto presente, y utilizando estas resoluciones, pueden realizarse mediciones máximas de 54.612[lux] (día soleado sin exposición directa).

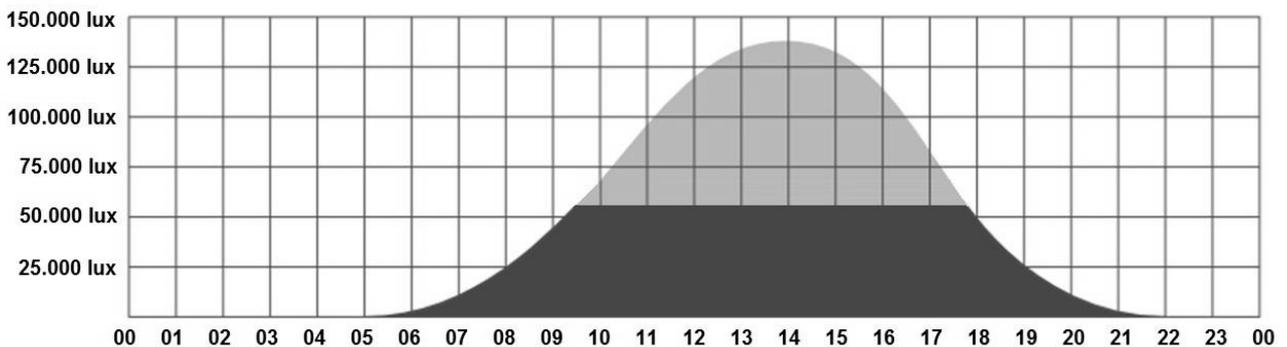


Fig. 12 - Iluminación solar teórica (hora legal) frente a la capacidad de medición del BH1750 a 1[lux]



$$\text{H-Resolution Mode} \frac{Lux}{Cuenta} = \frac{1}{1,2} \cdot \frac{69}{MTReg}$$

$$\text{H-Resolution Mode2} \frac{Lux}{Cuenta} = \frac{1}{1,2} \cdot \frac{69}{MTReg} \cdot \frac{1}{2}$$

1,2: Precisión de Medición

MTReg: valor de MTReg

69: valor de MTReg por defecto

Valor de MTReg			
	Mínimo	Típico	Máximo
Decimal	31	69	254
Binario	00011111	01000101	11111110
H-Resolution Mode [Lux/Cuenta]	1,85	0,83	0,23
H-Resolution Mode2 [Lux/Cuenta]	0,93	0,42	0,11

Tabla 5 - Valores de MTReg

Ejemplo 2: Medición por defecto. Resolución hasta 0,11 [Lux]. Tiempo de medición 240[ms] max.

1.- Configura parte alta de MTReg						
ST	Slave Address	R/W 0	ACK	01000_100	ACK	SP
2.- Configura parte baja de MTReg						
ST	Slave Address	R/W 0	ACK	011_01010	ACK	SP
3.- Ingresas la instruccion de la operacion a realizar						
ST	Slave Address	R/W 0	ACK	H-Resolution Mode OpCode H-Resolution Mode2 OpCode	ACK	SP

4.- Es necesario esperar dos veces el tiempo normal de operación antes de recibir el dato proveniente del sensor ya que el mismo debe realizar múltiples mediciones con ventana óptica reducida para realizar una medición del alta resolución.

ST	Slave Address	R/W 1	ACK	2 <sup>14</sup> 2 <sup>13</sup> 2 <sup>12</sup> 2 <sup>11</sup> 2 <sup>10</sup> 2 <sup>9</sup> 2 <sup>8</sup> 2 <sup>7</sup>	ACK	
				2 <sup>6</sup> 2 <sup>5</sup> 2 <sup>4</sup> 2 <sup>3</sup> 2 <sup>2</sup> 2 <sup>1</sup> 2 <sup>0</sup> 2 <sup>-1</sup>	ACK	SP

 Desde el Maestro hacia el Esclavo

 Desde el Esclavo hacia el Maestro

5.- Cálculo del resultado para "H-Resolution Mode"

MSB = 00000000

LSB = 00010010

$$(2^3+2^0) / 1,2 = 7,5 \text{ [Lux]}$$

Cuando se habla de ventana óptica se hace referencia al espectro electromagnético que está siendo tenido en cuenta en cada medición que el sensor realiza. Para las mediciones por defecto, con resolución inferior a 0,5[Lux], se contempla una ventana óptica o espectral completa y el tiempo necesario para realizar esta operación es de 120[ms] como máximo. Cuando se desea realizar una medición con una resolución mayor a 0,5[Lux] el sensor segmenta el ancho total de la ventana y realiza múltiples mediciones sobre dichos espacios. Una vez que termina el barrido el dispositivo entrega el resultado en forma digital. Naturalmente este tipo de proceso requiere de un tiempo de operación mayor al que necesita una medición estándar, llegando inclusive a los 400[ms].

Siguiendo con lo relacionado a la ventana óptica se presenta debajo una ilustración comparativa entre la respuesta espectral del ojo humano y la respuesta del sensor que se está utilizando. A simple vista puede notarse que la respuesta de ambos es muy similar entre sí, lo cual es muy importante ya que asegura que los resultados que brinda el sensor se corresponden satisfactoriamente con la percepción de iluminancia del ojo humano.

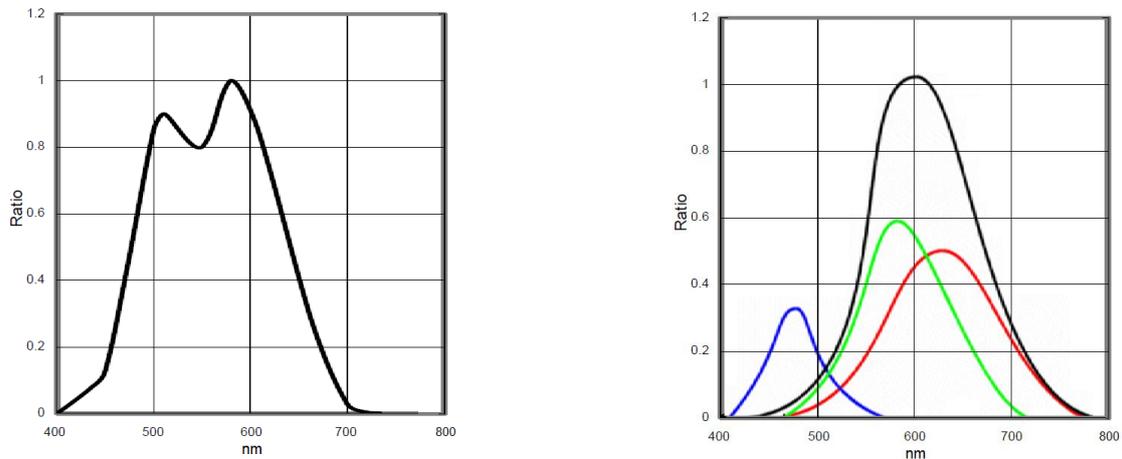


Fig. 13 - (Izq.) Respuesta espectral HB1750.

(Der) Respuesta espectral ojo humano

Otra característica muy importante que presenta este tipo de sensores, y que tiene gran importancia para el tipo de ensayos que se pretenden realizar, es la baja influencia que tiene el tipo de fuente luminosa. Esta propiedad asegura mediciones consistentes para evaluar el flujo luminoso de una amplia gama de fuentes luminosas, aportándole al sistema una gran versatilidad.

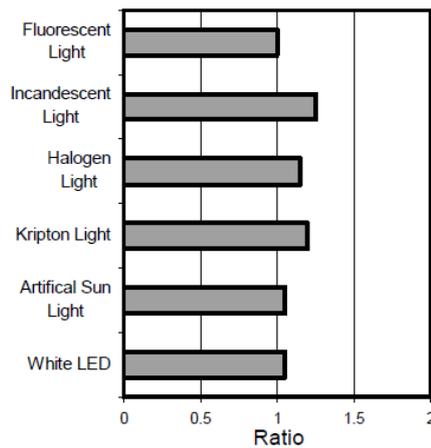


Fig. 14 - Dependencia de la Fuente de Luz

Antes de pasar a la siguiente sección, se detalla el valor de resolución que se asigna a cada uno de los faros

USA					
Faro	Ubicación en Grados		Distancia de Medición [m]	Intensidad Mínima [lx]	Resolución asignada [lx]
	Horizontal	Vertical			
Carretera	12L-12R	2U-4D	5	12	1
Cruce	12L-12R	1,5U-4D	5	28	1
Freno	20L-20R	10U-10D	3	1,3	0,5
Giro	20L-20R	10U-10D	3	1,1	0,5
Pos. Delantera	20L-20R	10U-10D	1,5	0,18	0,15
Pos. Trasera	20L-20R	10U-10D	1,5	0,22	0,15

Tabla 6 - Resolución asignada faros USA

EUROPA					
Faro	Ubicación en Grados		Distancia de Medición [m]	Intensidad Mínima [cd]	Resolución asignada [lx]
	Horizontal	Vertical			
Carretera	12L-12R	2U-0D	5	24	1
Cruce	20L-20R	4U-4D	5	1,8	0,5
Freno	20L-20R	10U-10D	3	0,44	0,2
Giro	20L-20R	10U-10D	3	0,55	0,2
Pos. Delantera	20L-20R	10U-10D	1,5	0,17	0,15
Pos. Trasera	20L-20R	10U-10D	1,5	0,17	0,15

Tabla 7 - Resolución asignada faros EUROPA

### 2.2.2 Modulo de medición de luz ambiente GY-30

#### Introducción

El sensor BH1750 es un dispositivo especialmente dirigido a equipos móviles de baja potencia, por lo que su tensión de operación tiene un valor típico de 3,3[V] y su tamaño es considerablemente reducido. Debido a su excelente relación costo-precisión se hizo necesario el lanzamiento comercial de un módulo dedicado exclusivamente a alojar este pequeño sensor, facilitando la realización de pruebas, prototipos y/o dispositivos de aplicación directa. Dicho modulo se conoce como GY-30.

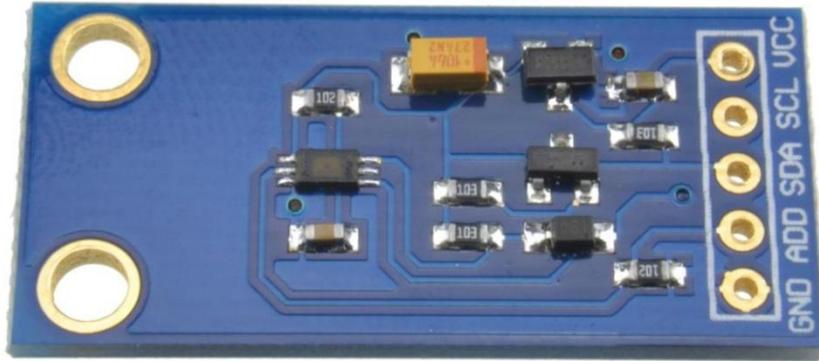


Fig. 15 - Módulo GY-30

#### Descripción

La fisionomía del PCB que conforma el modulo GY-30 cuenta con dos orificios en uno de sus extremos que permiten la sujeción mecánica del módulo al *housing* o carcasa que lo contendrá y otros 5 orificios donde coloca un conector de 5 pines en línea (*Single in Line*, SIL-5) que facilita su conexión eléctrica tanto en protoboard como a circuitos impresos. Sus pines de conexión se listan a continuación: 1.- **GND** 2.- **Address** 3.- **Serial Data** 4.- **Serial Clock** 5.- **VCC**.

Debido a que la tensión típica de operación del sensor BH1750 es de 3,3[V] y la tensión CMOS de la mayoría de los circuitos microcontrolados es de 5[V], fue necesario implementar un convertor de nivel de 5[V] a 3,3[V] y viceversa para manipular en forma segura el bus I<sup>2</sup>C (SDA y SCL) del sensor. Dicho convertor se compone de un transistor MOSFet de canal N y dos resistencias (R2 y R3) conectadas a los distintos niveles de tensión presentes en la placa formando una especie de “frontera” que separa ambas tensiones. En la imagen que se presenta debajo se puede observar el circuito esquemático del módulo completo.

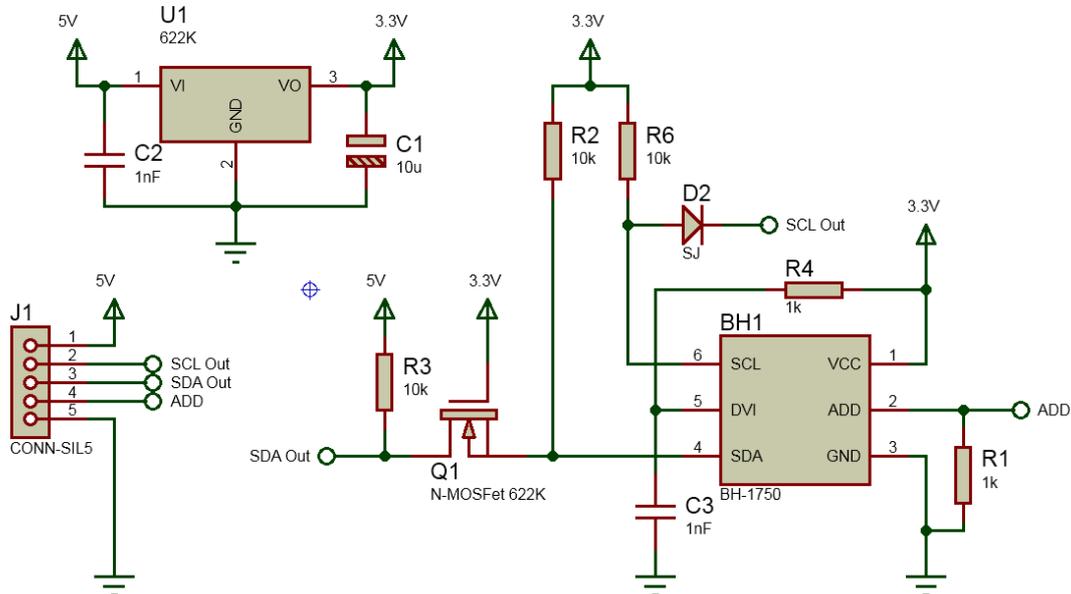


Fig. 16 - Circuito Esquemático Modulo GY-30

En el esquema puede notarse que la tensión de alimentación del módulo es de 5[V], por lo que se implementa un regulador de tensión (utilizando un CI 622K) a 3,3[V] que permite energizar el sensor directamente con tensiones CMOS típicas de la mayoría de los microcontroladores. Por último, se observa que la resistencia R1 referencia a masa el pin 2 de direccionamiento dejando al sensor en condiciones de ser operado como único dispositivo en el bus I<sup>2</sup>C sin necesidad de colocar ningún otro componente externo al módulo.

### 2.2.3 Sensor de Temperatura

#### Introducción

Además de la medición y registro de la intensidad lumínica que pretende realizar este equipo, otro parámetro que debe ser monitoreado es la temperatura de la fuente luminosa y, en algún caso particular, la temperatura ambiente en que se está realizando el ensayo. Conociendo de antemano la ventaja que ofrecen los sistemas digitales en cuanto a la inmunidad a interferencias electromagnéticas y teniendo en cuenta que la estructura del sistema es completamente digital, se buscará un sensor de temperatura que sea capaz de comunicarse mediante protocolo I<sup>2</sup>C para facilitar su implementación.

#### Descripción

Luego de una breve búsqueda en el mercado nacional, se decide utilizar un circuito integrado de medición de temperatura ambiente que reúne las características necesarias para este proyecto, el MCP9801. Este sensor de temperatura pertenece a la firma Microchip, convierte temperaturas entre -55[°C] y 125[°C] a un valor digital de 2 Bytes con una precisión típica de ±0,5[°C] (para temperaturas cercanas a 25[°C]) y de ±1[°C] promedio en el rango comprendido entre los -10[°C] y 85[°C], más que suficiente para la aplicación que se desarrolla.

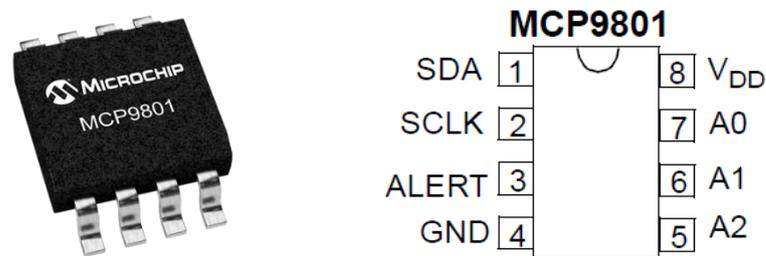


Fig. 17 - Sensor de temperatura MCP9801

#### Software y configuración

Este dispositivo viene dotado de registros programables por el usuario que proporcionan flexibilidad para aplicaciones de detección de temperatura. Los ajustes de estos registros permiten modificar la resolución de medición de temperatura, que se puede organizar en datos de 9 a 12 bits, configurar modos de apagado, ahorro de energía o de disparo único, configuración de salida de alarma de temperatura y de histéresis cuando la temperatura varía más allá de los límites especificados. Este sensor tiene una interfaz serie compatible con el protocolo I<sup>2</sup>C de 2 hilos estándar, permitiendo controlar hasta ocho dispositivos en un solo bus serie. Estas características hacen que el MCP9801 sea ideal para aplicaciones sofisticadas de monitorización de temperatura en múltiples zonas. En la siguiente tabla se detalla cada uno de sus pines.

MCP9801	Symbol	Function
1	SDA	Bidirectional Serial Data
2	SCLK	Serial Clock Input
3	ALERT	Temperature Alert Output
4	GND	Ground
5	A2	Address Select Pin (bit 2)
6	A1	Address Select Pin (bit 1)
7	A0	Address Select Pin (bit 0)
8	V <sub>DD</sub>	Power Supply Input

Tabla 8 - Pinout MCP9801

## 2.2.4 Microcontrolador PIC 18F4550 - Microchip

### Introducción

Para el control y procesamiento del hardware se emplea un microcontrolador PIC 18F4550 de 8bits de la firma Microchip debido a su buen desempeño y a la posibilidad de generar la comunicación USB con el ordenador a través de uno de sus periféricos.

### Descripción

El PIC18F4550 es uno de los más populares microcontroladores cuando de conectividad USB se trata. Ideal para pequeñas potencias (nanovatio) y aplicaciones de conectividad que benefician de la disponibilidad de los tres puertos seriales: FS-USB (12 Mbit/s), I<sup>2</sup>C y SPI (hasta 10 Mbit/s). Su gran capacidad de memoria RAM para almacenamiento temporal y su memoria FLASH de programa mejoradas hacen que sea ideal para el control integrado y aplicaciones de monitoreo que requieren conexión periódica con un ordenador personal a través de USB para la carga-descarga de datos y/o actualizaciones de firmware.

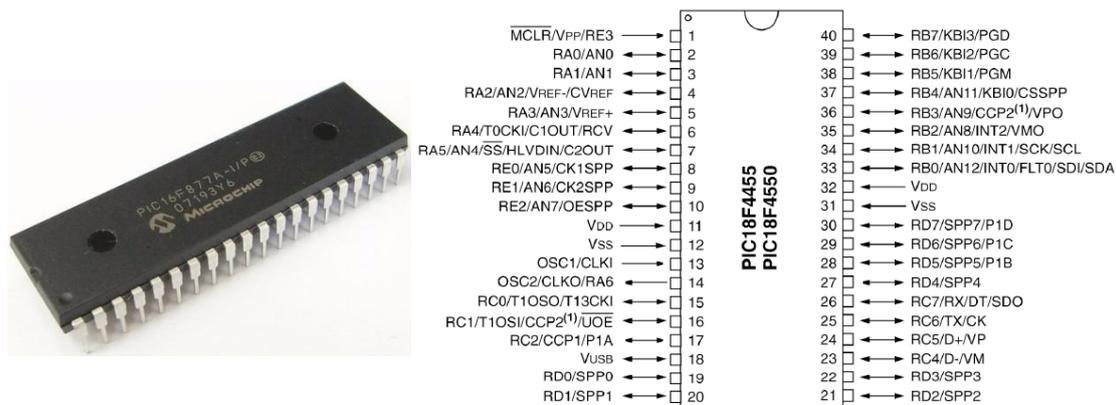


Fig. 18 - Microcontrolador PIC 18F4550

### Principales Características

- Puerto USB V2.0 que puede trabajar en modo low speed (1,5 Mb/s) y full speed (12Mb/s).
- RAM 1-Kbyte accesible por USB.
- Reloj externo hasta de 48 MHz.
- Oscilador interno de 31 KHz - 8 MHz configurable por software.
- Pines con salida de alta corriente de hasta 25 mA.
- 4 temporizadores de los cuales: hasta 2 pueden ser utilizados como módulos de captura-comparación-PWM.
- Puerto USART con soporte para comunicaciones MSSP, SPI e I<sup>2</sup>C.
- Hasta 13 canales ADC de 10 bits.
- Memoria FLASH con 100.000 ciclos de lecturas escritura típicos.
- Memoria EEPROM con 1.000.000 ciclos de lectura escritura típicos y retención de datos de hasta 40 años.
- Programación con código de protección.
- Programación ICSP vía dos pines.

### 2.2.5 Conexionado

#### Introducción

El conexionado físico tanto entre los sensores y la unidad de control como entre esta última y la PC se realiza mediante cables estandarizados y de fácil adquisición en el mercado local.

#### Descripción

Se pretende que la elección del conductor a utilizar se realice en función de los siguientes aspectos: debe poseer 4 conductores (VCC, GND, SDA y SCL), tener un formato estandarizado, contar con una forma inequívoca de conexión, ser económico y de fácil adquisición en el mercado local. Luego de una breve búsqueda se decide utilizar un cable plano de 4 hilos con conectores RJ11 macho comúnmente utilizados en extensiones de telefonía fija. Los mismos se pueden adquirir ya crimpados y en una gran variedad de longitudes y calidades.

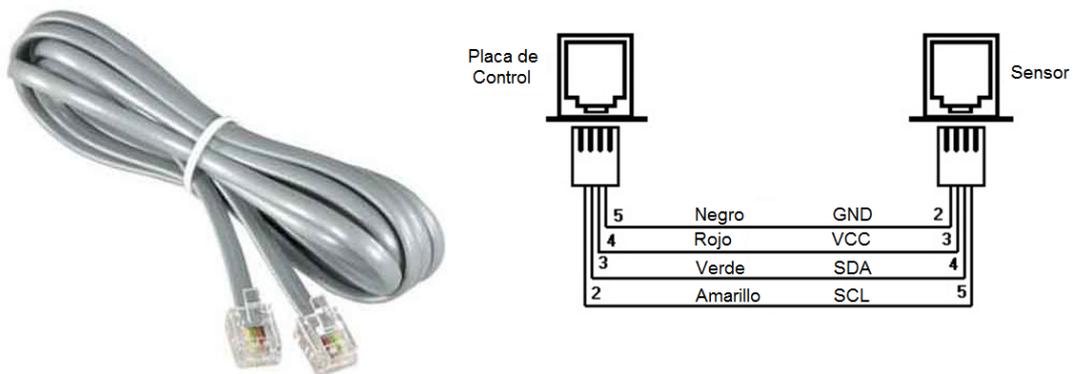


Fig. 19 - (Izq.) Cable normalizado con conexión RJ11. (Der) Diagrama de conexión en el equipo

### **2.2.6 Pantalla**

Uno de los elementos importantes del proyecto es el medio que se va a utilizar para alojar los sensores en los puntos de interés para realizar las mediciones de iluminancia. Se necesita una superficie lo suficientemente amplia para recibir el flujo luminoso de un faro con un haz de  $40^\circ$  de apertura en dirección horizontal y hasta  $20^\circ$  en dirección vertical a una distancia de hasta 5 metros entre el faro y la pantalla. Un cálculo rápido estima que las dimensiones que debería tener una pantalla para realizar ese tipo de ensayos deberían ser de aproximadamente 1.2[m] de alto y 3[m] de ancho.

Inicialmente la idea fue utilizar como pantalla una chapa metálica lisa donde los sensores se podrían fijar mediante imanes para lograr una rápida ubicación o reorganización de los mismos. Sin embargo, al revisar la hoja de datos se encuentra que el fabricante recomienda alejar el sensor de campos magnéticos fuertes para preservar la calidad de las mediciones. Esto es, sin dudas, motivo suficiente para abandonar esta opción. Como alternativa surge la utilización de una hoja de chapadur perforado de 1,22 x 3,05 metros como pantalla donde se colocaran los sensores mediante burlonería convencional de fácil colocación.

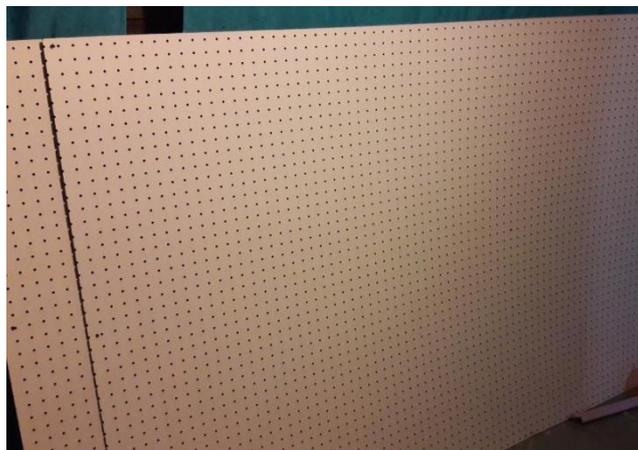


Fig. 20 - Chapadur perforado utilizado como pantalla

## Capítulo 3: Desarrollo del sistema completo

### 3.1 Hardware

En esta sección se desarrollará detalladamente cada una de las partes y circuitos que integran el sistema completo, comenzando desde los ALS en un extremo, pasando por la placa de control principal y secundaria y culminando, en la sección 4, con la aplicación para PC que utilizará el operario. Para lograr un correcto entendimiento, se divide el diagrama completo en 6 bloques, donde se respetará un orden específico de presentación; descripción, diagramas eléctricos, serigrafías, pruebas realizadas y resultados obtenidos.

En primer lugar se toman 6 sub-bloques del diagrama completo numerados por orden en que se irán desarrollando. Dicho orden se toma bajo el supuesto del sistema operando normalmente, comenzando desde el ingreso de la luz y la temperatura a los sensores, pasando por el sistema de Multiplexación, el funcionamiento de las placas de control y finalizando con el análisis de la aplicación de usuario en PC.

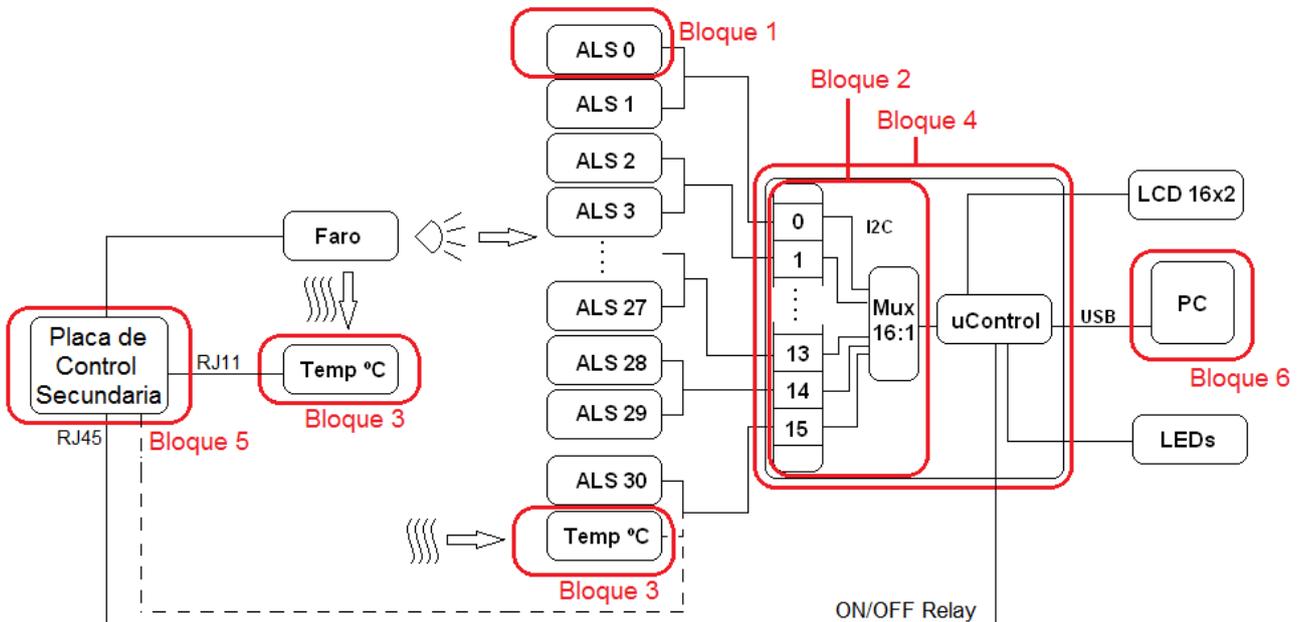


Fig. 21 - Diagrama en bloques del sistema completo

3.1.1 Bloque 1 - Sensores de Luz Ambiente (ALS)

Comenzamos con el ingreso de luz a cada sensor. Como ya se ha mencionado en la sección 2, debido al reducido tamaño de su encapsulado, el ALS BH1750 que se utiliza viene implementado en un módulo circuital que facilita el conexionado eléctrico de sus pines de alimentación, su bus I<sup>2</sup>C y su pin de direccionamiento.

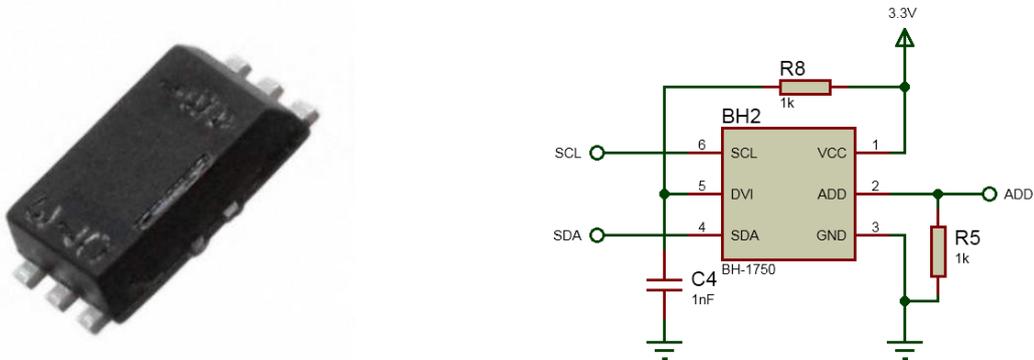


Fig. 22 - Sensor de luz ambiente BH1750

Cuando se planteó la idea inicial de la red de sensores que debe colocarse sobre la pantalla fotométrica iba a utilizarse el conexionado tradicional que emplea el estándar I<sup>2</sup>C tal como se muestra más abajo. Esta configuración permitiría utilizar un bus común, un único cable de dos hilos que recorrería todos los sensores llevando DATA y CLOCK a cada uno de ellos.

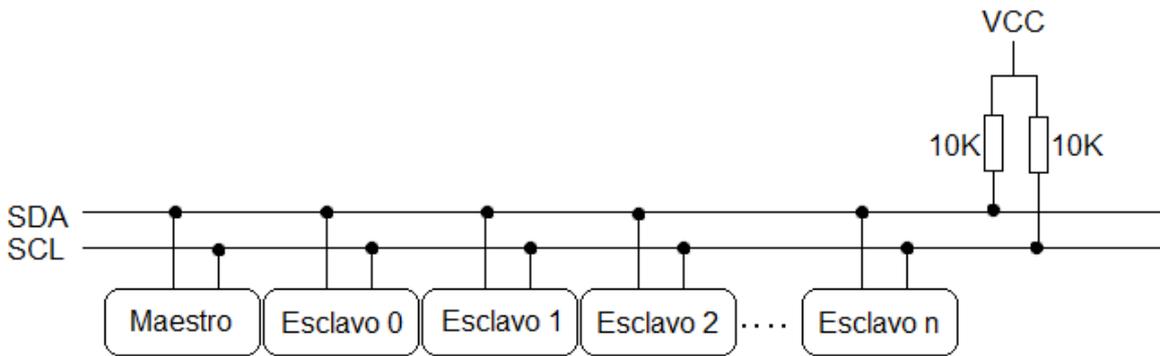


Fig. 23 - Bus I2C estandar

Sin embargo, el encapsulado del sensor posee solo un pin de ADDRESS con lo cual el direccionamiento se limita a solo dos alternativas posibles, una dirección baja (ADD=0) o una dirección alta (ADD=1). Para comprender lo que se acaba de mencionar, se presenta debajo las dos posibles formas de conexión.

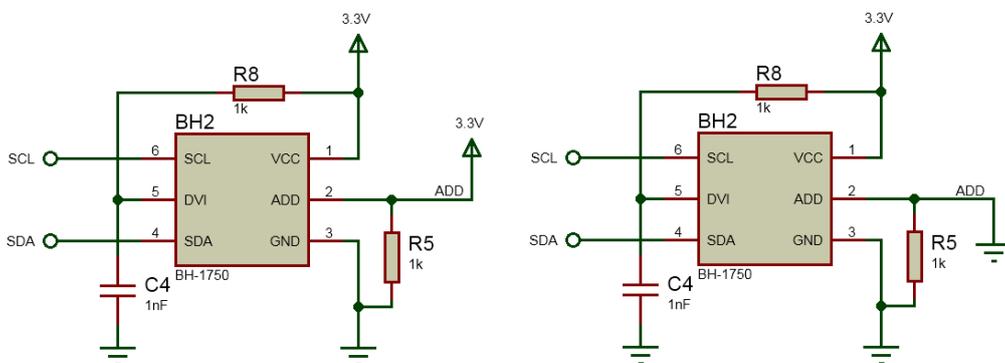


Fig. 24 - Tipos de conexionado posible. Operación y direccionamiento

Esta limitada capacidad de direccionamiento hace imposible utilizar el esquema inicial para interconectar todos los sensores en un mismo bus. Consecuentemente es imprescindible contar con un algún sistema que cuente con 16 buses I<sup>2</sup>C diferentes donde alojar 2 sensores en cada uno de ellos para lograr manipular los 32 sensores que se necesitan para formar la “matriz de medición” que se pretende realizar.

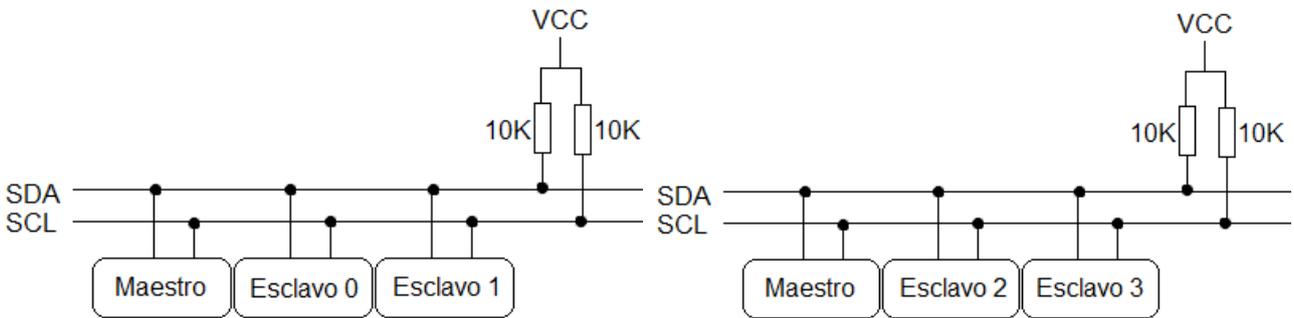


Fig. 25 - Esquema simplificado del primer y segundo bus I<sup>2</sup>C de los 16 necesarios

Una vez analizada y entendida la situación anterior, se procede a diseñar y construir las placas que soportarán cada *par de sensores*. Cada uno de los 16 buses I<sup>2</sup>C contendrá dos sensores conectados en serie uno después de otro, compartiendo ambos los hilos GND, VCC, SDA y SCL. El pin ADD del primer sensor se conecta a GND (Dirección Baja) y el pin ADD del segundo a VCC (Dirección Alta).



Fig. 26 - Esquema de cada Bus I<sup>2</sup>C

Utilizando un Software apropiado, creamos el circuito esquemático y luego el PCB para conectar en ellos el módulo GY30 con el sensor. Comenzamos con el circuito que contiene el esclavo de dirección 0, el cual se usa además como “puente” de conexión hacia el próximo sensor.

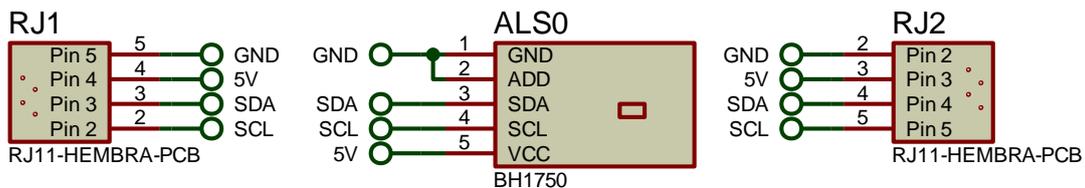


Fig. 27 - Diagrama esquemático. Sensor de dirección baja.

El PCB correspondiente contiene dos conectores tipo RJ11 Hembra 6P4C, uno de entrada a la izquierda, desde donde recibe alimentación y el bus I<sup>2</sup>C del microcontrolador y otro de salida a la derecha, desde donde se envían estos 4 hilos al sensor de dirección 1. Entre éstos últimos se encuentra una bornera tipo SIL-5 Hembra donde será colocado el modulo GY-30. En el centro geométrico de esta pequeña placa se encuentra demarcado el lugar donde se realizará un agujero de 4[mm] de diámetro que permite la sujeción mecánica de la pieza completa a la pantalla mediante burlonería convencional.

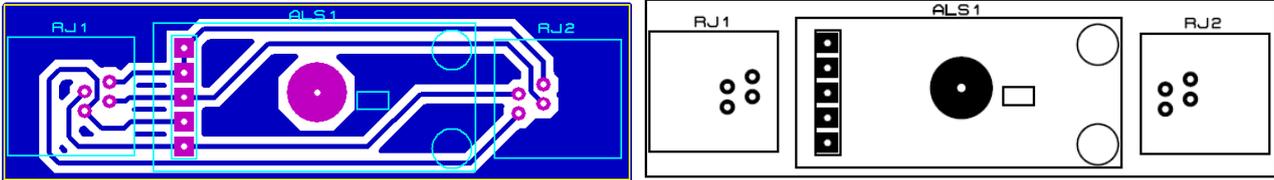


Fig. 28 - Diagrama y serigrafía del PCB que aloja al sensor de dirección baja

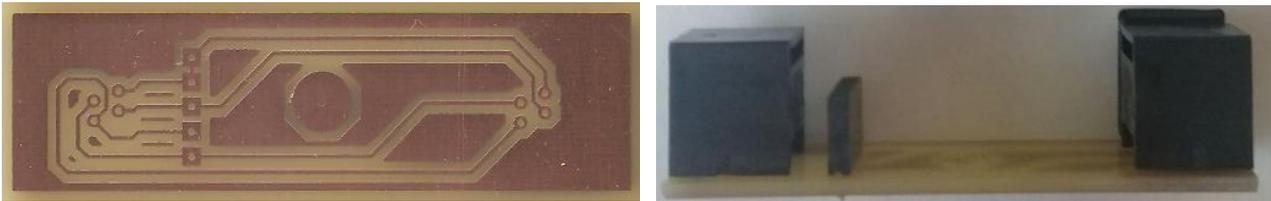


Fig. 29 - Fotografía del PCB utilizado

Para el desarrollo del circuito que contendrá al sensor de dirección alta se utiliza un diseño idéntico al sector izquierdo de la placa anterior, un conector RJ11 Hembra provee de alimentación y datos al módulo que se insertará en esta placa. En la imagen que se encuentra debajo puede apreciarse que la única diferencia entre los circuitos presentados es la conexión del pin 2 "ADD" a GND y VCC, respectivamente.

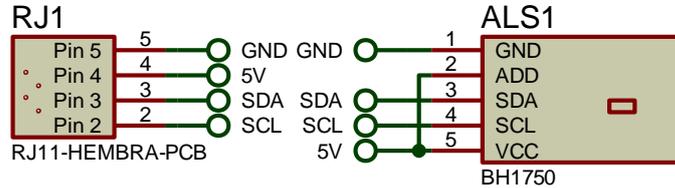


Fig. 30 - Diagrama esquemático. Sensor de dirección baja.

El diseño del PCB que aloja al sensor de dirección alta es similar al anterior, con la clara salvedad de la conexión del pin ADD a VCC y la ausencia de un segundo conector RJ11.

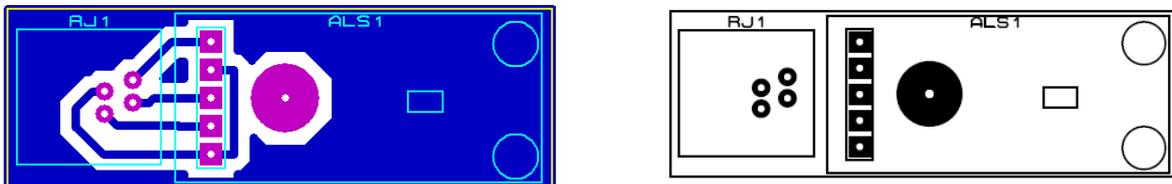


Fig. 31 - Diagrama y serigrafía del PCB que aloja al sensor de dirección alta



Fig. 32 - Fotografía del PCB utilizado

3.1.2 Bloque 2 - Multiplexación

Como se mencionó, la limitación de poder direccionar solo dos sensores por bus, hace necesario implementar una lógica de multiplexado para controlar la totalidad de los sensores, agrupándolos de dos en dos. A continuación se presenta un diagrama simplificado de la distribución de los sensores en los diferentes canales del multiplexor.

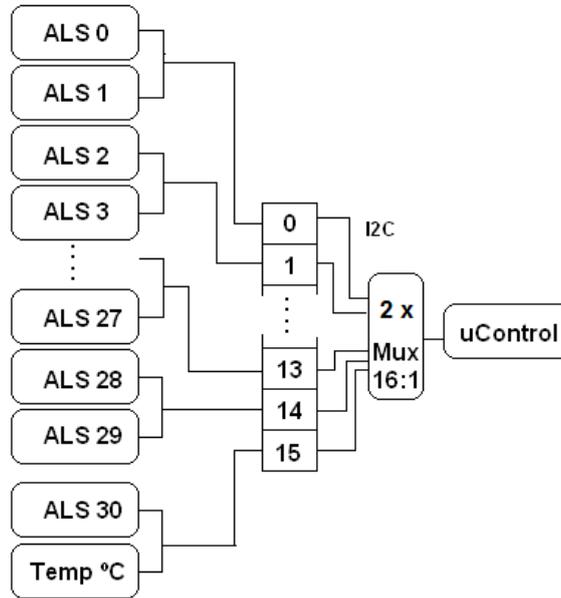


Fig. 33 - Diagrama en bloques del sistema de multiplexado

Es importante tener en cuenta que los hilos de Datos (SDA) y Reloj (SCL) son independientes uno de otro, por lo que debe hacerse un doble multiplexado en forma simultánea, uno para cada hilo. La única solución a esta situación es colocar dos multiplexores que trabajen al mismo tiempo, con un mismo bus de direcciones para lograr un funcionamiento sincronizado.

Según se observa en la imagen anterior, es necesario contar con un dispositivo de 16 canales para la línea de Datos y otro dispositivo de 16 canales para la línea de Reloj. Después de buscar circuitos integrados capaces de realizar esta tarea se encontró el CD4067, un multiplexor de tecnología CMOS de 16 canales y 4 bits de direccionamiento con el que se implementaría esta parte del equipo.

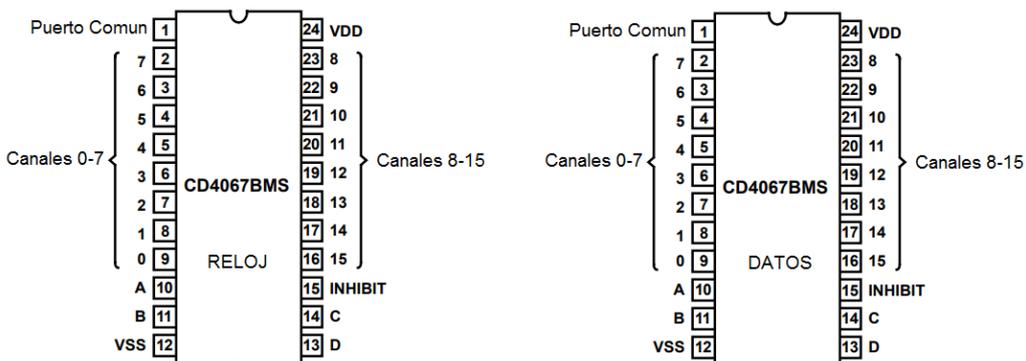
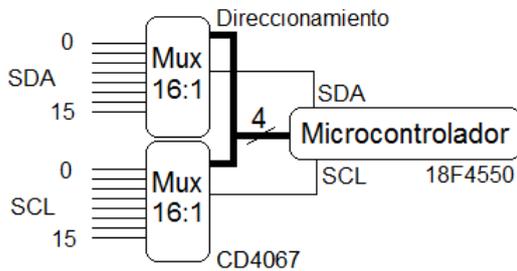


Fig. 34 - Multiplexor CD4067 (16 canales)

Con este circuito integrado se plantea un diagrama de conexión y su tabla de direccionamiento.



Canal	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Fig. 35 - Diagrama de multiplexado

Tabla 9 - Tabla de verdad direccionamiento CD4067

A pesar que el CD4067 es el indicado para esta aplicación, no fue posible adquirirlo en el mercado local, por lo que tuvo que idearse un diseño alternativo con el multiplexor que se encontraba a la venta, un dispositivo más pequeño de solo 8 canales, el CD4051.

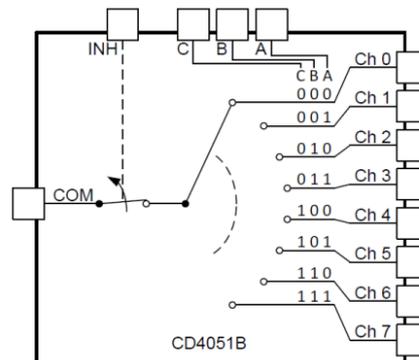
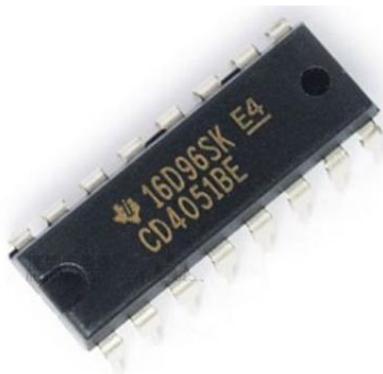


Fig. 36 - Multiplexor CD4051

El primer inconveniente que se presenta se encuentra en el direccionamiento. Como se puede observar, el CD4067 posee 4 líneas de direccionamiento (D, C, B, A) con las cuales puede acceder a cualquiera de sus 16 canales; por el contrario, el CD4051 posee solo 3 líneas, (C, B, A). En vista de esta limitación se decide utilizar el pin INH como bit de dirección más significativo (INH=D) para manipular alternativamente dos multiplexores de 8 canales.

$$2[\text{multiplexores}] * 8[\text{canales}] = 16[\text{canales}]$$

De la misma manera que se hizo con el CD4067, debajo se plantea un nuevo diagrama de conexión y su tabla de direccionamiento. Se replantea el concepto original ahora con dos multiplexores de 8 canales cada uno para los hilos SCL y SDA.

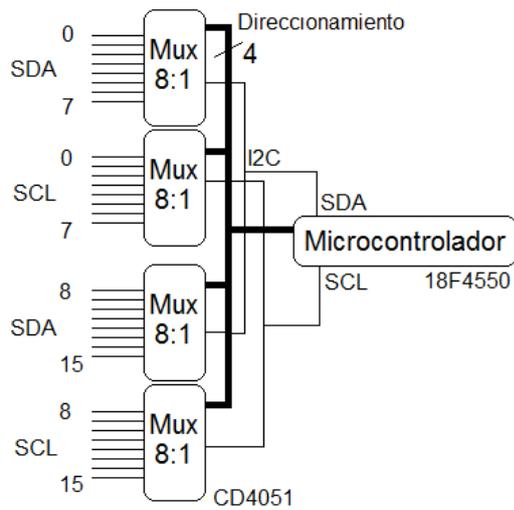


Fig. 37 - Diagrama de multiplexado

Canal	INH (D)	C	B	A	Mux 1	Mux 2
0	0	0	0	0	ON	OFF
1	0	0	0	1		
2	0	0	1	0		
3	0	0	1	1		
4	0	1	0	0		
5	0	1	0	1		
6	0	1	1	0		
7	0	1	1	1		
8	1	0	0	0	OFF	ON
9	1	0	0	1		
10	1	0	1	0		
11	1	0	1	1		
12	1	1	0	0		
13	1	1	0	1		
14	1	1	1	0		
15	1	1	1	1		

Tabla 10 - Tabla de verdad para dos dispositivos CD4051

Para implementar esta forma de direccionamiento se utiliza una lógica negadora entre el pin INH de cada multiplexor, haciendo que uno de los CI se encuentra habilitado (INH=0) mientras el otro se mantiene inhabilitado (INH=1) y viceversa. Esta lógica de "switcheo" se implementa mediante un transistor bipolar NPN y dos resistencias tal como se muestra debajo.

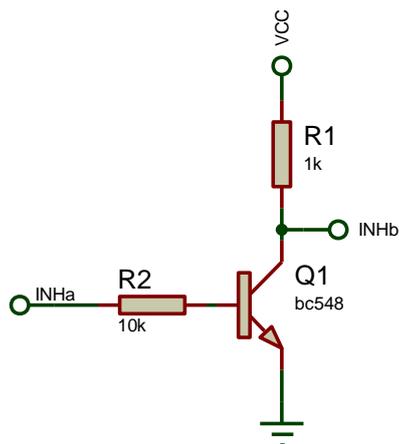


Fig. 38 - Circuito de conmutación línea INH

INH (D)	INHa (SDA)	INHb (SCL)
0	0 (ON)	1 (OFF)
1	1 (OFF)	0 (ON)

Tabla 11 - Tabla de verdad para conmutación

Antes de implementar este circuito de conmutación a la placa principal, se realizó una prueba con un generador de funciones para determinar si la frecuencia de corte-saturación del transistor era suficiente para asegurar un correcto manejo de multiplexores. El resultado del ensayo mostró que la frecuencia de conmutación es más que suficiente para la aplicación que se desarrolla.

A este punto, se está en condiciones de realizar el diseño definitivo del circuito de multiplexación con todas sus partes. Como elemento principal se tiene el microcontrolador de la placa de control, que se encarga de generar las señales SCL y SDA, en sus pines 33 y 34, y de direccionar los multiplexores CD4051 a través de los pines 22, 21, 20 y 19.

Tal como establece el protocolo I<sup>2</sup>C, se debe colocar una resistencia de pull-up de 4,7[KΩ] en cada línea del bus para generar la condición de “bus libre” permitiendo el inicio de la comunicación. Las líneas de direccionamiento tienen una resistencia de 10[KΩ] de referencia a la masa del circuito para lograr reducir la mayor cantidad de ruido eléctrico posible y evitar direccionamientos indeseados.

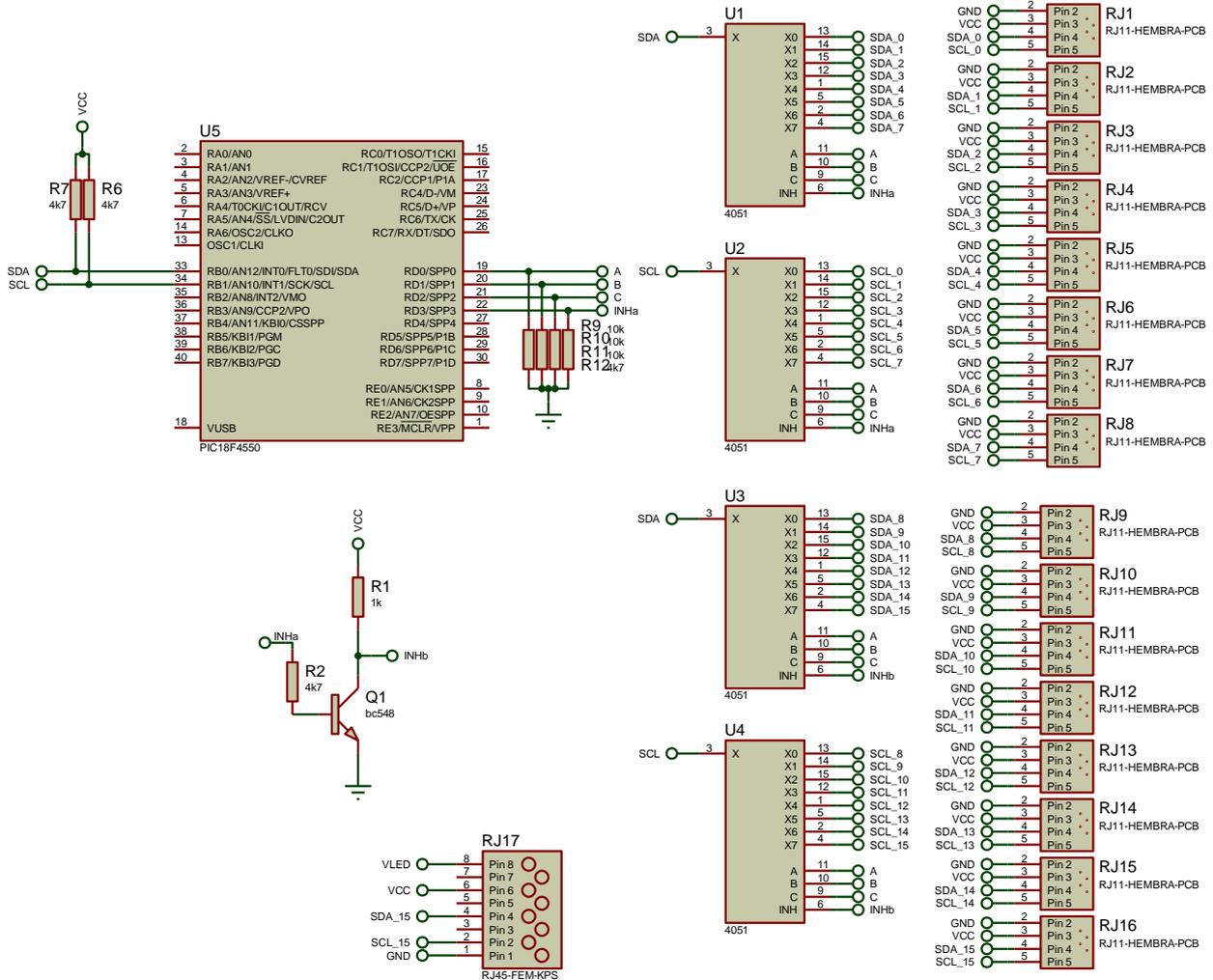


Fig. 39 - Circuito de multiplexado (Placa de Control Principal)

El circuito de la figura anterior muestra los 16 puertos de salida (RJ1 a RJ16), uno para cada bus I<sup>2</sup>C, y un puerto extra, el RJ17. Este último comparte la Dirección 1 del canal 15 con el puerto RJ16, con intención de brindar la posibilidad de colocar el sensor de temperatura en cercanías del faro para registrar la temperatura del mismo o en cercanías de la placa de control para relevar la temperatura ambiente.

3.1.3 Bloque 3 - Sensor de Temperatura

La segunda magnitud física que debe contemplar el equipo es la temperatura. Se decidió desarrollar por completo el sistema de multiplexación antes de analizar este sensor ya que, por sus características de comunicación I<sup>2</sup>C, puede acoplarse al proyecto de la misma forma que los ALS.

En los últimos años la tecnología LED ha desarrollado dispositivos de iluminación de gran eficiencia, produciendo diodos emisores con elevado flujo luminoso y larga vida útil. Sin embargo, estos atributos pueden verse afectados negativamente cuando la temperatura de trabajo es algo elevada, en especial en diodos de alta potencia, haciendo imprescindible el uso de materiales disipadores de calor. La idea de colocar este sensor es medir y registrar las variaciones térmicas presentes en el faro a medida que transcurre el tiempo de ensayo para luego confeccionar gráficos que permitan apreciar cómo esta magnitud afecta el rendimiento del mismo. En la sección anterior se describió detalladamente el sensor de temperatura que se va a utilizar, por lo que aquí se pretende desarrollar cómo se lo integra al sistema.

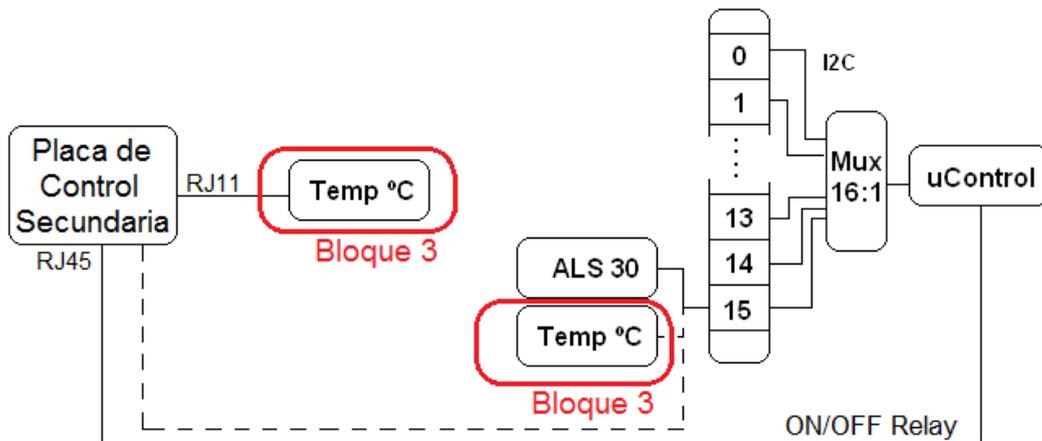


Fig. 40 - Diagrama en bloques sensado de temperatura

Teniendo en cuenta que el bus I<sup>2</sup>C que comunica a este sensor con el microcontrolador se encuentra en el canal N°15 del multiplexor (SDA 15 y SCL 15), y sabiendo además que el ALS N°30 está en este mismo canal con el pin ADD=GND (Dirección 0), no queda otra opción que asignarle al MCP9801 la dirección más alta posible para simular una Dirección 1 tal como se observa en la figura anterior. Esto se consigue colocando los pines de direccionamiento 5, 6 y 7 (A2, A1, A0) a VCC.

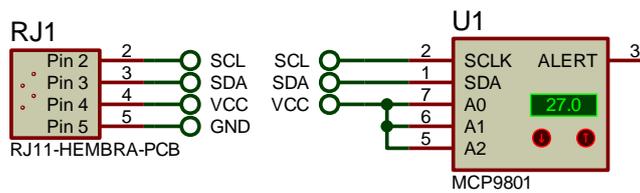


Fig. 41 - Diagrama esquemático. Sensor de temperatura.

Utilizando un software de diseño y simulación verificamos la conexión y el correcto funcionamiento del sensor ya que, al ser un dispositivo de tipo superficial, no es recomendable soldar el CI a una placa de pruebas y luego retirarlo para colocarlo en la placa definitiva. Concluida una simulación exitosa, se procede a crear un PCB adecuado para alojar el sensor. Se desarrolla una placa alargada, angosta y de bajo espesor para que pueda ser introducida en entre las paredes del disipador de calor que acompaña a la mayoría de los faros LED. En su diseño también se contempló retirar la mayor cantidad posible de cobre del PCB para evitar que éste actúe como un segundo disipador de calor que pudiese generar mediciones erróneas. Tales características se evidencian en las siguientes figuras.



Fig. 42 - Diagrama y serigrafía del PCB que aloja al sensor de temperatura

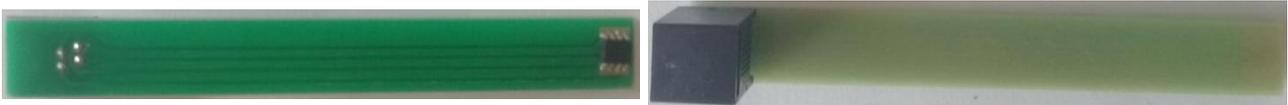


Fig. 43 - Fotografía del PCB utilizado

3.1.4 Bloque 4 - Placa de Control Principal

En esta sección se describe el bloque más importante del sistema, la placa de control principal. Este circuito se comunica con todos sus periféricos a través de sus puertos de entrada/salida, ya sea con los sensores mediante sus conectores RJ11 o con la PC mediante conexión USB. Posee también un display LCD de 16x2 caracteres que informa continuamente el estado actual del equipo o la tarea que se encuentra realizando. Por último, se utiliza un diodo LED color verde para indicar que el equipo recibe tensión de alimentación y uno rojo para indicar una correcta conexión USB con la PC. A continuación se presenta un diagrama muy simplificado de la placa de control primaria.

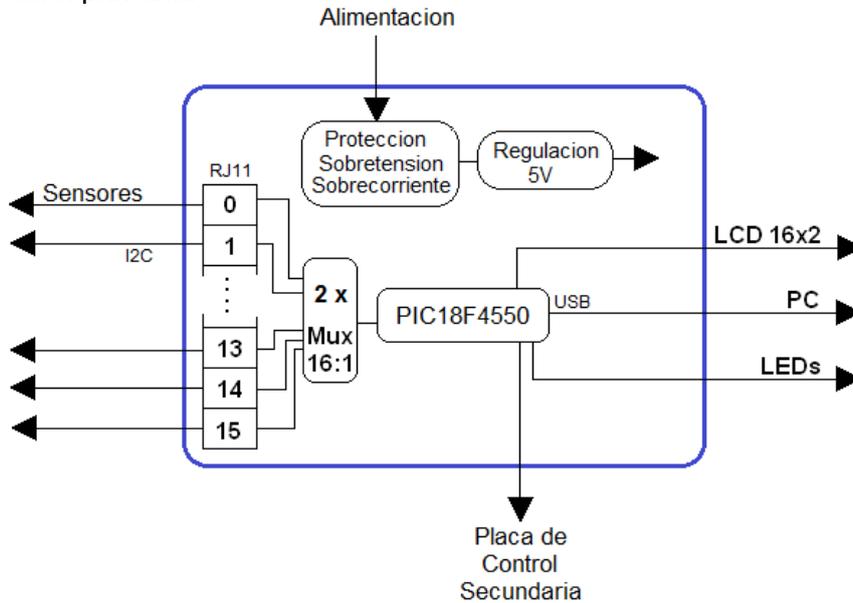


Fig. 44 - Diagrama en bloques de la placa de control principal

El circuito completo recibe alimentación eléctrica a través de un conector hembra estándar de 5[mm] y admite un rango de tensión que puede estar entre los 6 y los 12 voltios. Inmediato al conector se encuentra un fusible de 250[mA] que protege al equipo de corrientes elevadas en caso de cortocircuitos y luego un diodo Zener asegura que no ingresen tensiones superiores a los 12[V]. Si bien este tipo de protecciones eléctricas son muy sencillas, son suficientes para resguardar el equipo, ya que el mismo se alimenta con una fuente de alimentación tipo switching que posee sus propias medidas de seguridad eléctrica. El conjunto de ambos brinda un nivel de protección adecuada. Un switch tipo ON/OFF permite encender o apagar el equipo con comodidad.

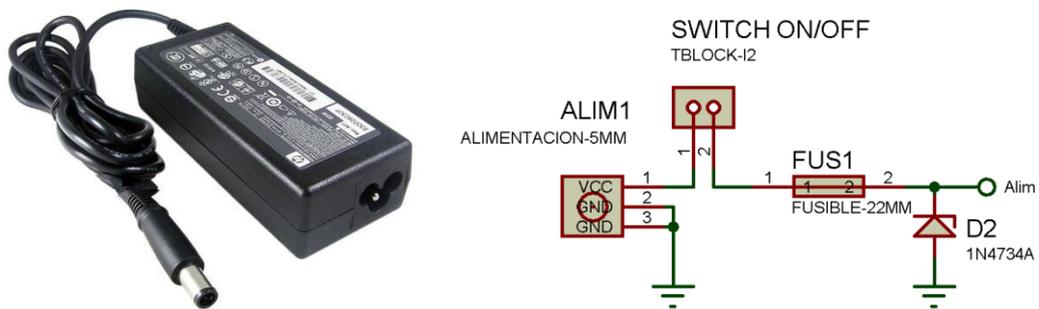


Fig. 45 - (Izq.) Fuente Switching. (Der) Bloque protecciones electricas

Luego del circuito de protección se implementa, mediante el CI LM7805, un regulador de tensión fijo en 5[V] que provee de tensión de alimentación a todas las partes del equipo (sensores, la placa de control y todos sus componentes, el Display LCD, el relé que controla el faro, etc.). Por último un LED verde indica, al encenderse, que el equipo está correctamente energizado.

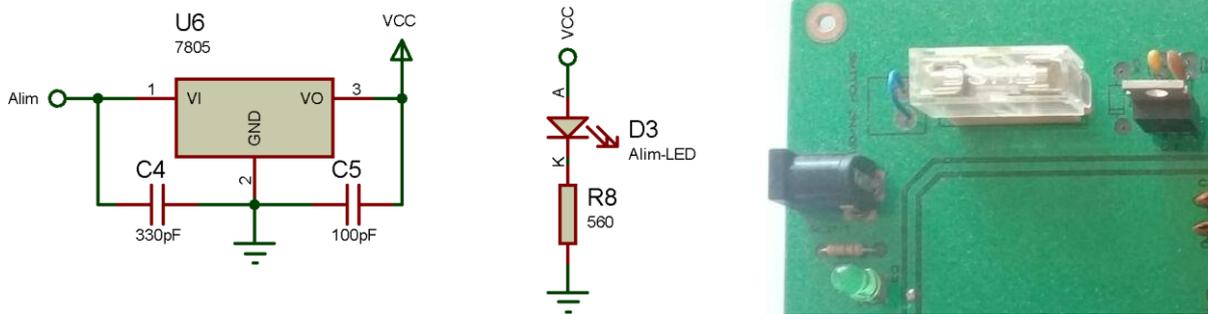


Fig. 46 - Bloque regulacion 5 Voltios

La pieza más importante de este bloque es, sin dudas, el microcontrolador 18F4550 quien se encarga de establecer la comunicación y el control sobre todos los elementos que a él se conectan. Según la configuración que se decidió darle es necesario colorar una resistencia (R3) de 10[KΩ] a VCC en su pin MCLR, un capacitor (C3) de 470[nF] en VUSB para la tensión de referencia del USB y un cristal (X1) de 16[MHz] que establece su frecuencia de trabajo.

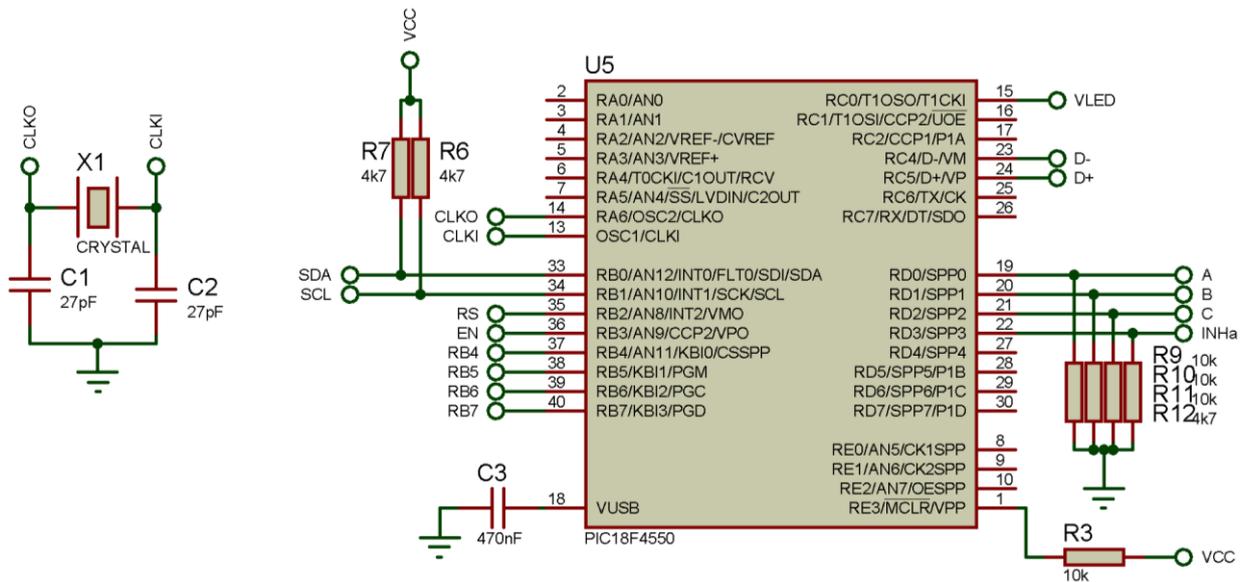


Fig. 47 - Bloque microcontrolador

En la figura anterior puede observarse cada una de las funciones que cumplen sus puertos, estos son: RB0-1 para el bus I<sup>2</sup>C, RB2-7 para el display LCD, RD0-3 para el direccionar los multiplexores, RC4-5 se utiliza para la comunicación USB y por último, RC0 controla el encendido/apagado de faro que se ensaya.



Fig. 48 - Fotografía microcontrolador en PCB

En uno de los laterales de esta placa se encuentra implementado un conector USB hembra de Tipo B para comunicar el circuito con una PC mediante un cable USB convencional. Este conector posee su pin de masa unido a la masa del circuito y sus pines de datos (D+, D-) a los pines RC4-5 del microcontrolador como se mencionó anteriormente.

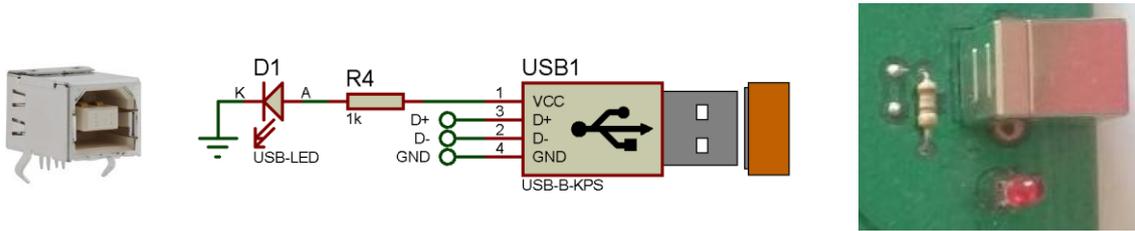


Fig. 49 - Bloque conexión USB

Debido a que la alimentación del circuito proviene de una fuente externa y no del conector USB, el pin VCC del conector se utiliza únicamente para encender un diodo LED rojo que indica una correcta conexión entre la placa de control y la PC.

Por último, se presenta el circuito dedicado a controlar un display LCD de 16x2 caracteres cuya función es informar el estado del equipo o la tarea que se encuentra realizando. Este circuito se compone de 12 pines, 7 de ellos configuran y operan al mismo mientras los 5 restantes, junto a un divisor resistivo, alimentan eléctricamente el display, su luz de fondo y el contraste de los caracteres.

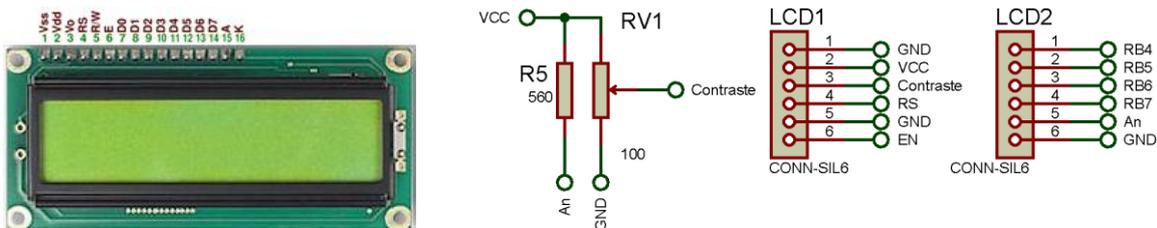


Fig. 50 - Bloque display LCD

Concluido el análisis de cada bloque, se presenta una serie de fotografías de la placa de control principal implementada.

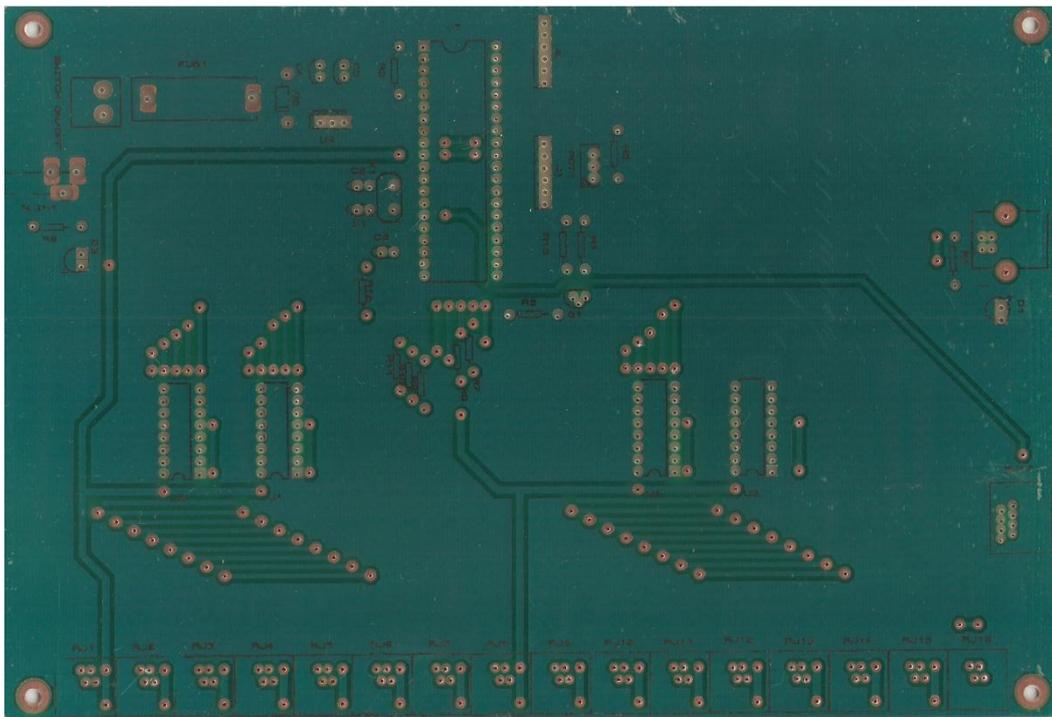


Fig. 51 - Fotografía capa superior placa de control principal

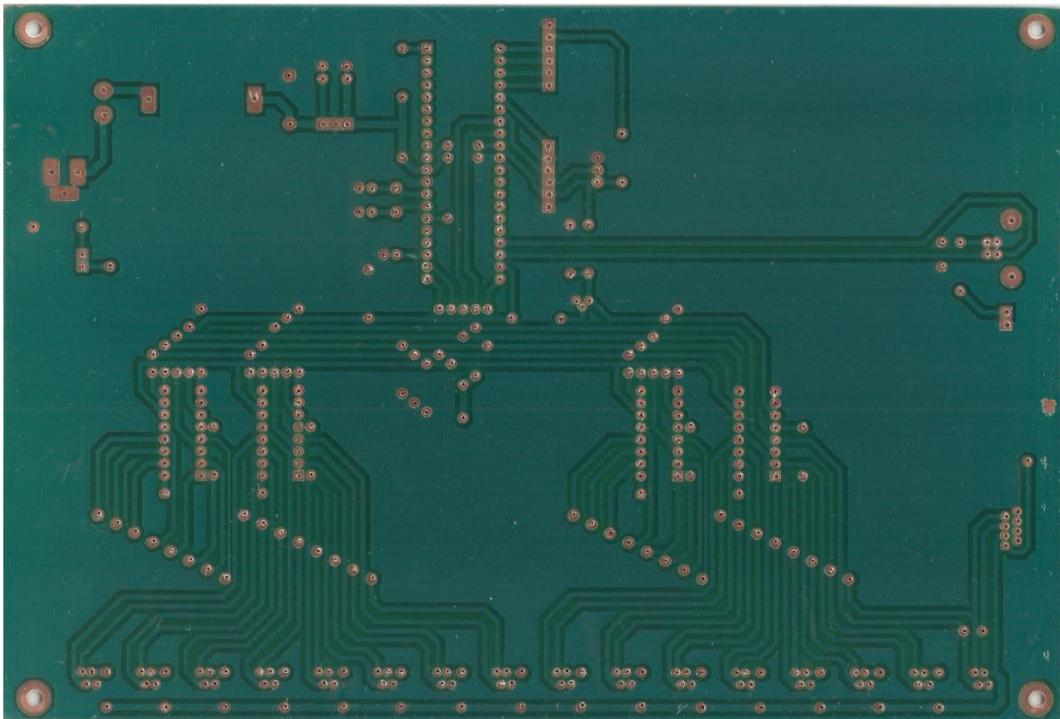


Fig. 52 - Fotografía capa inferior placa de control principal

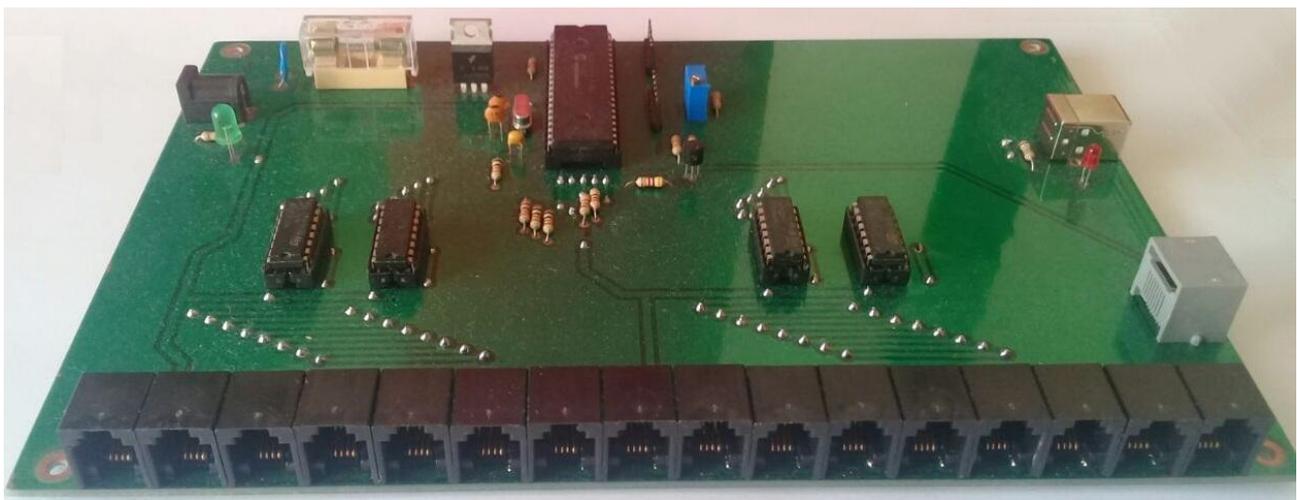


Fig. 53 - Fotografía placa de control principal

Mencionadas todas las partes de la Placa de Control Principal (excepto el bloque de multiplexado, desarrollado en la sección 3.2) se presenta a continuación su circuito esquemático completo. El mismo se presenta en forma apaisada sobre una hoja de tamaño A3 para visualizarlo con mayor comodidad.

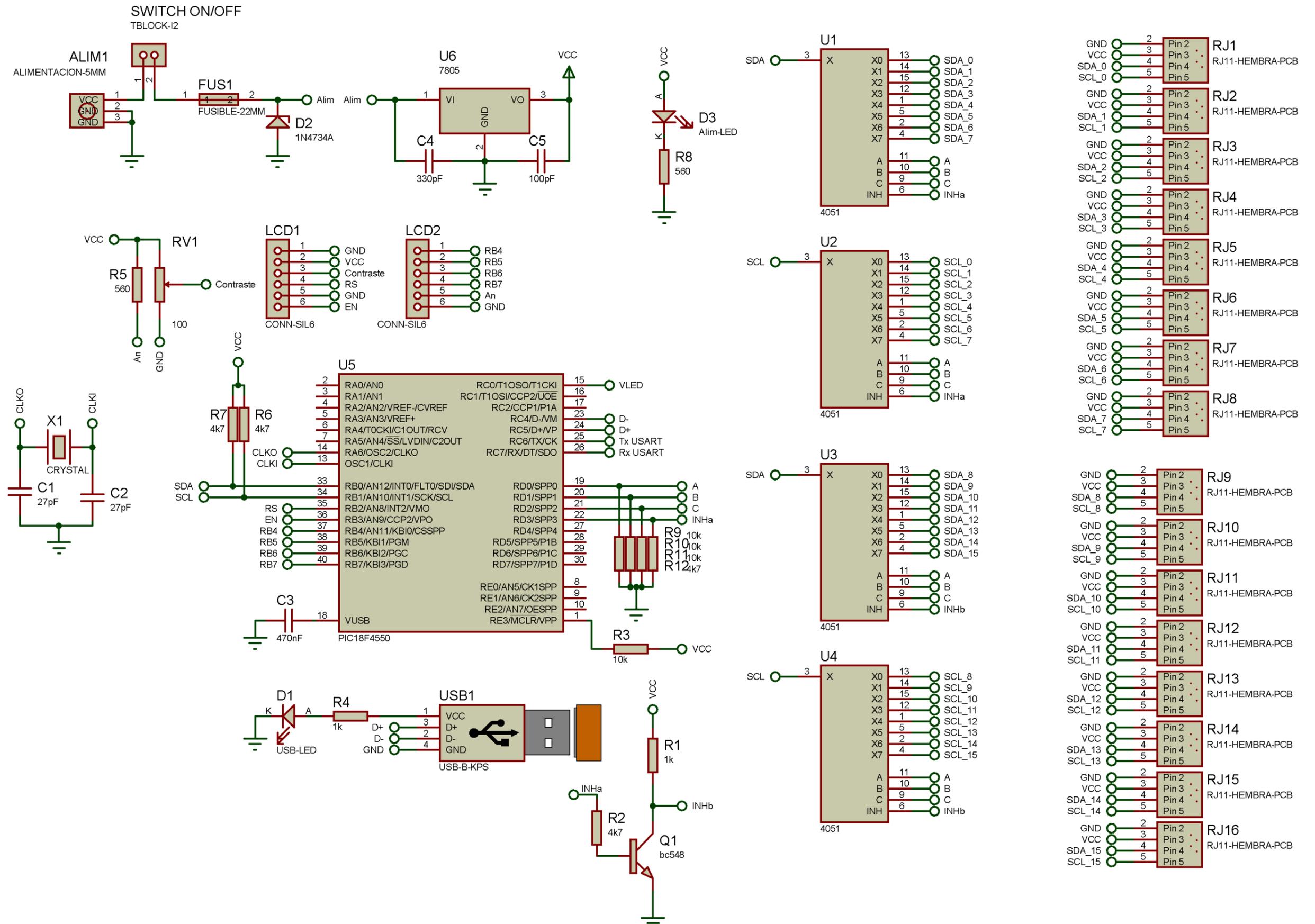


Fig. 54 - Placa de Control Principal. Circuito esquemático completo

3.1.5 Bloque 5 - Placa de Control Secundaria

El bloque 5 hace referencia a la placa de control secundaria, la cual tiene dos funciones principales. Por una parte, mediante un relé se implementa la función de encender el faro antes de comenzar la medición y de apagarlo al terminar la misma. Por otro lado, puede conectarse a ésta un sensor de temperatura que permite registrar las variaciones térmicas del faro bajo estudio conforme se desarrolla el ensayo.

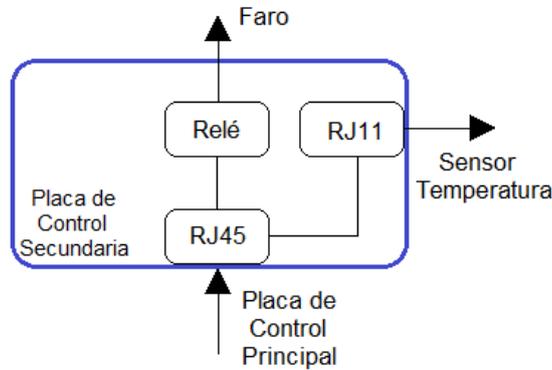


Fig. 55 - Diagrama en bloques de la placa de control secundaria

El puerto de conexión con el sensor de temperatura (RJ2) es idéntico a los utilizados en el resto de las conexiones I<sup>2</sup>C del circuito, por lo que se lo desarrolla muy poco aquí. Por el contrario, el puerto de conexión hacia la placa de control principal se implementa mediante un conector tipo RJ45 Hembra 8P8C (como se aprecia mas abajo) unido por un cable UTP estándar tipo T568B (directo).

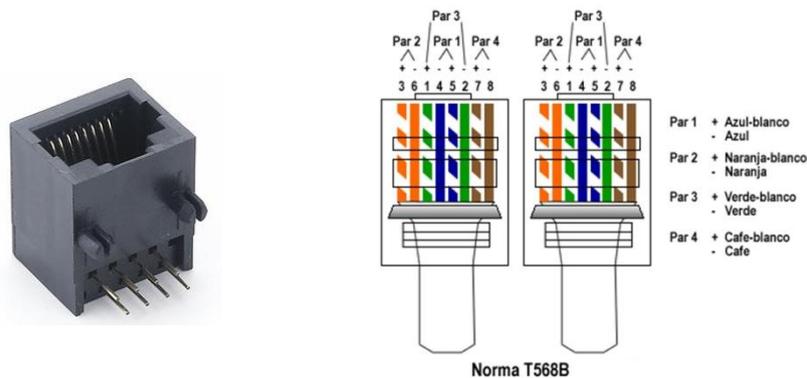


Fig. 56 - Conectores RJ45

De los 8 conectores que posee el cable UTP, se utilizan solo 5, los cuales se distribuyen en el conector de entrada (RJ1) de la siguiente manera: 1-GND, 2-SCL\_15, 4-SDA\_15, 6-VCC y 8-VLED que controla el relé que enciende y apaga el faro que se está ensayando. La bornera (J1) se utiliza como puerto de entrada/salida para la alimentación eléctrica del faro. Puede observarse que se comparte la masa eléctrica del faro (Pin 3) con la masa del sistema (Pin 2) mientras que los pines 1 y 4 se conectan a las terminales del relé que abre o cierra el circuito de alimentación.

En el esquema eléctrico de la Fig. 57 se aprecian todos los componentes que integran la placa de control secundaria.

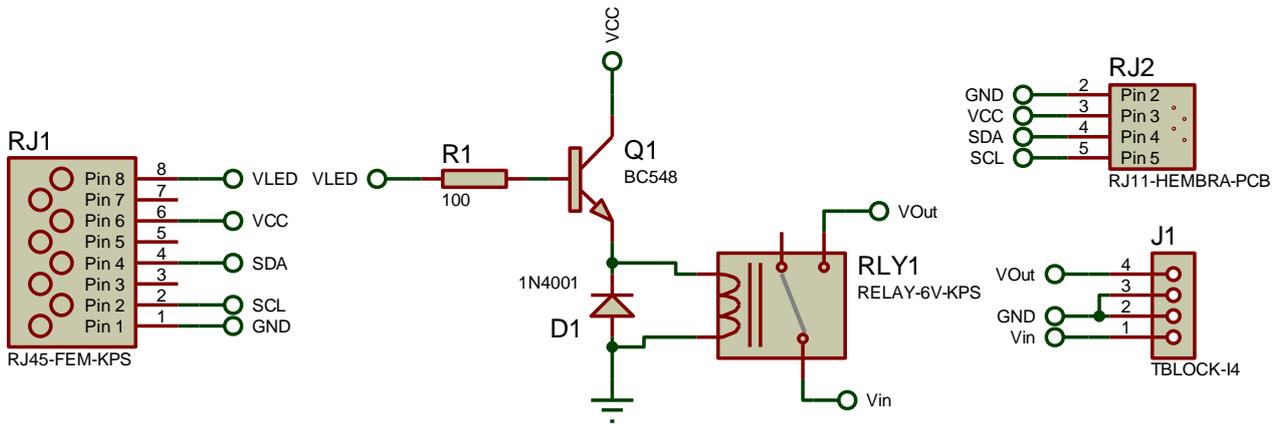


Fig. 57 - Placa de Control Secundaria

Las líneas SDA y SCL del canal 15 que ingresan en esta placa se extienden hasta el conector tipo RJ11 Hembra (RJ2) donde se puede conectar un sensor de temperatura como se mencionó anteriormente. Este sensor de temperatura se enlaza al resto del equipo utilizando exactamente el mismo tipo de conexión que utiliza cualquiera de los 31 ALS.

A continuación se muestra la serigrafía de la placa de control que venimos describiendo. En ella puede apreciarse fácilmente los 3 zócalos de conexión, el relé con su diodo de marcha libre y al centro de la misma un buffer para alimentar la bobina del relé mediante un transistor BC558.

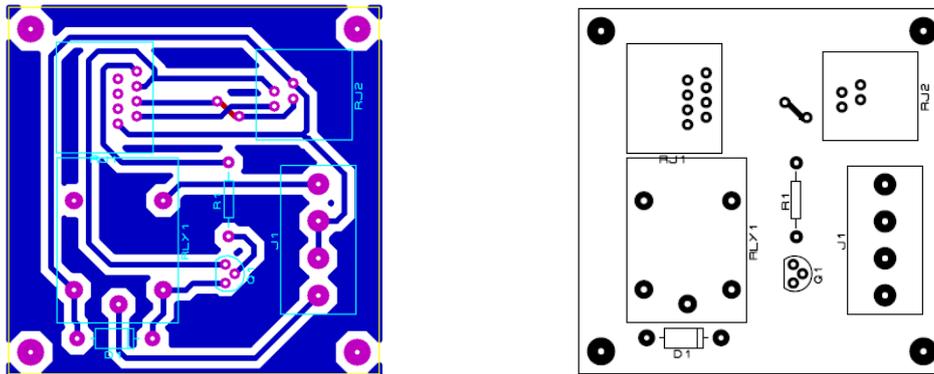


Fig. 58 - Diagrama y serigrafía del PCB placa de control secundaria

Cuatro marcas en los extremos de la placa indican el lugar donde se coloca los elementos de fijación mecánica al gabinete que lo contiene.

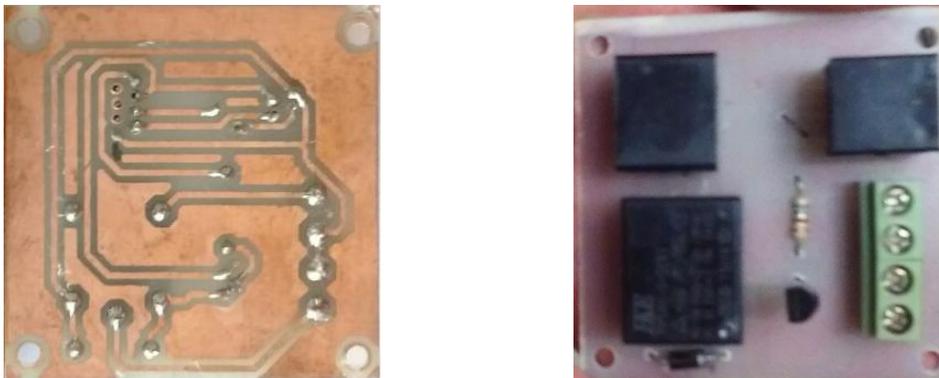


Fig. 59 - Fotografía del PCB utilizado

### 3.1.6 Bloque 6 - PC

Este bloque hace referencia al Software de PC que el operario utilizará. Su desarrollo minucioso se presenta en el Apartado *Firmware y Software*

### 3.2 Firmware y Software

Una vez finalizado el análisis del hardware del equipo, pasamos a desarrollar la parte de software del mismo. En primer lugar analizará el firmware que gobierna el microcontrolador, su lenguaje y funcionamiento y posteriormente el software de aplicación para Windows que conforma el programa de interfaz de usuario que se alojará en el ordenador.

#### 3.2.1 Firmware de Microcontrolador

En la placa de control principal es el microcontrolador quien lleva a cabo todas y cada una de las operaciones de control del hardware, ya sean tareas autónomas o solicitadas por el operador desde la PC. Éste dispositivo se encarga de la comunicación I<sup>2</sup>C, el direccionamiento específico de cada bus, la configuración de cada sensor, la recopilación de los resultados de las mediciones que éstos arrojan, el manejo de display LCD que informa en todo momento el estado de operación del sistema, el manejo de diodos LEDs que brindan información adicional, la comunicación USB o USART entre la placa y la PC, etc.

Para escribir el programa del microcontrolador se utilizó el software MikroC, un compilador de la firma Mikroelektronika utilizando lenguaje C++.



Fig. 60 - Presentacion Software MikroC PRO for PIC

Se utiliza este compilador debido a la sencillez en su escritura y a la practicidad que ofrecen las diversas funciones que trae implementadas. Además, el entorno de Edición del Proyecto permite configurar los fusibles de manera intuitiva según se observa en la siguiente imagen.

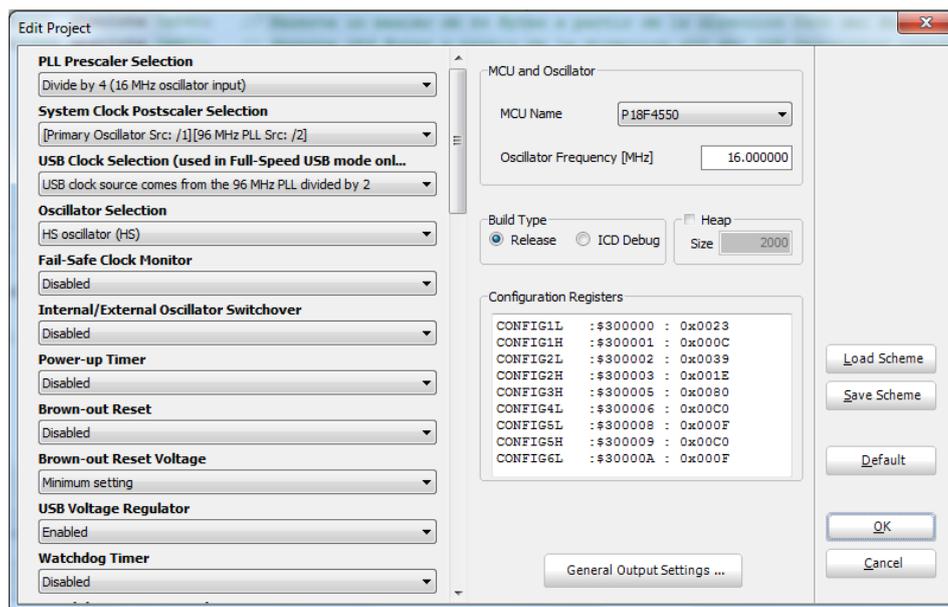


Fig. 61 - Captura configuracion de Fusibles

Como puede verse mas abajo, el entorno de programación es sumamente sencillo e intuitivo. En el lado izquierdo se presenta un listado de los archivos que forman parte del proyecto, al centro, el campo de escritura del código y a la derecha un listado de las funciones disponibles para realizar el programa.

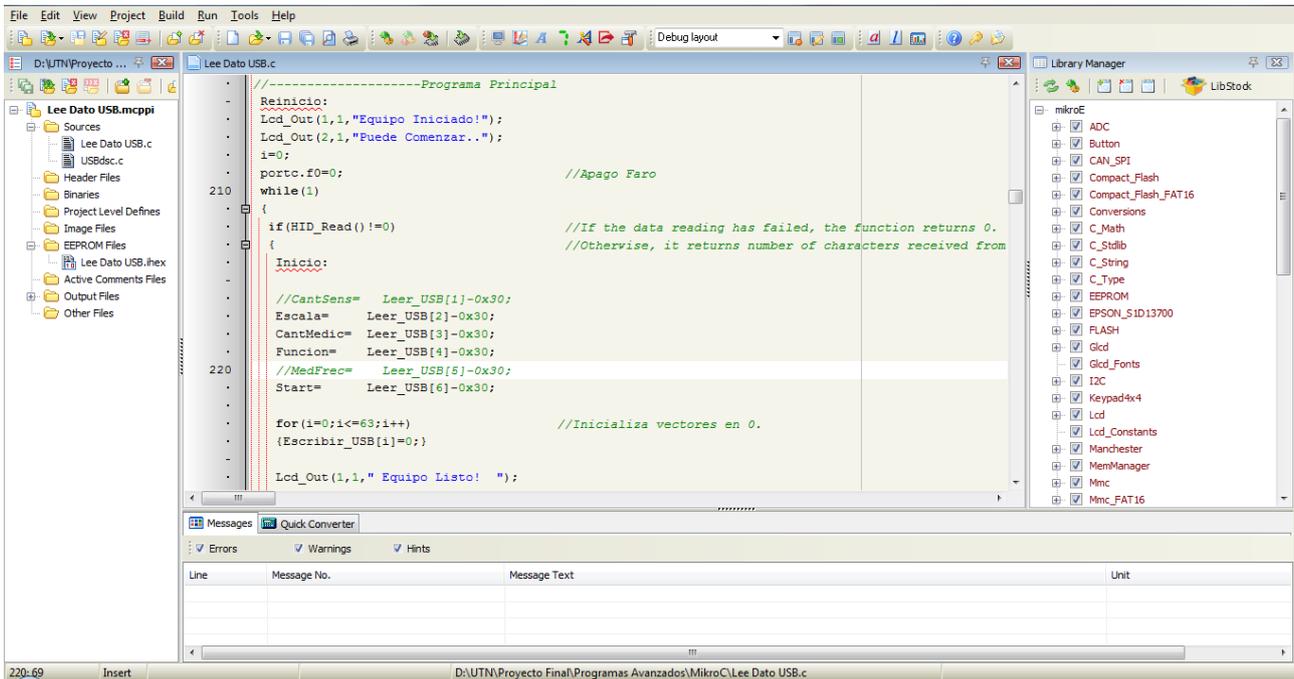


Fig. 62 - Captura Software MikroC PRO for PIC

Algunas de estas funciones utilizadas son:

```

I2C1_Init(100000); //Inicio del módulo I2C a 100K bps
I2C1_Start(); //Comienza protocolo comunicación I2C
I2C1_Wr(DirBajaW); //Escribe: Dirección Baja (LOW ADDRESS)
ALTA=I2C1_Rd(1); //Lee: Lee el esclavo y guarda en ALTA
I2C1_Stop(); //Finaliza protocolo comunicación I2C
    
```

```

HID_Enable(&Leer_USB,&Escribir_USB); //Habilita la comunicación HID
HID_Read(); //Chequea si hubo errores en la recepción
entre otras.
    
```

Para comprender más fácilmente la estructura del firmware del microcontrolador se presenta un diagrama de flujo donde se puede apreciar cada una de las funcionalidades que integran dicho software.

3.2.1.1 Diagrama de flujo

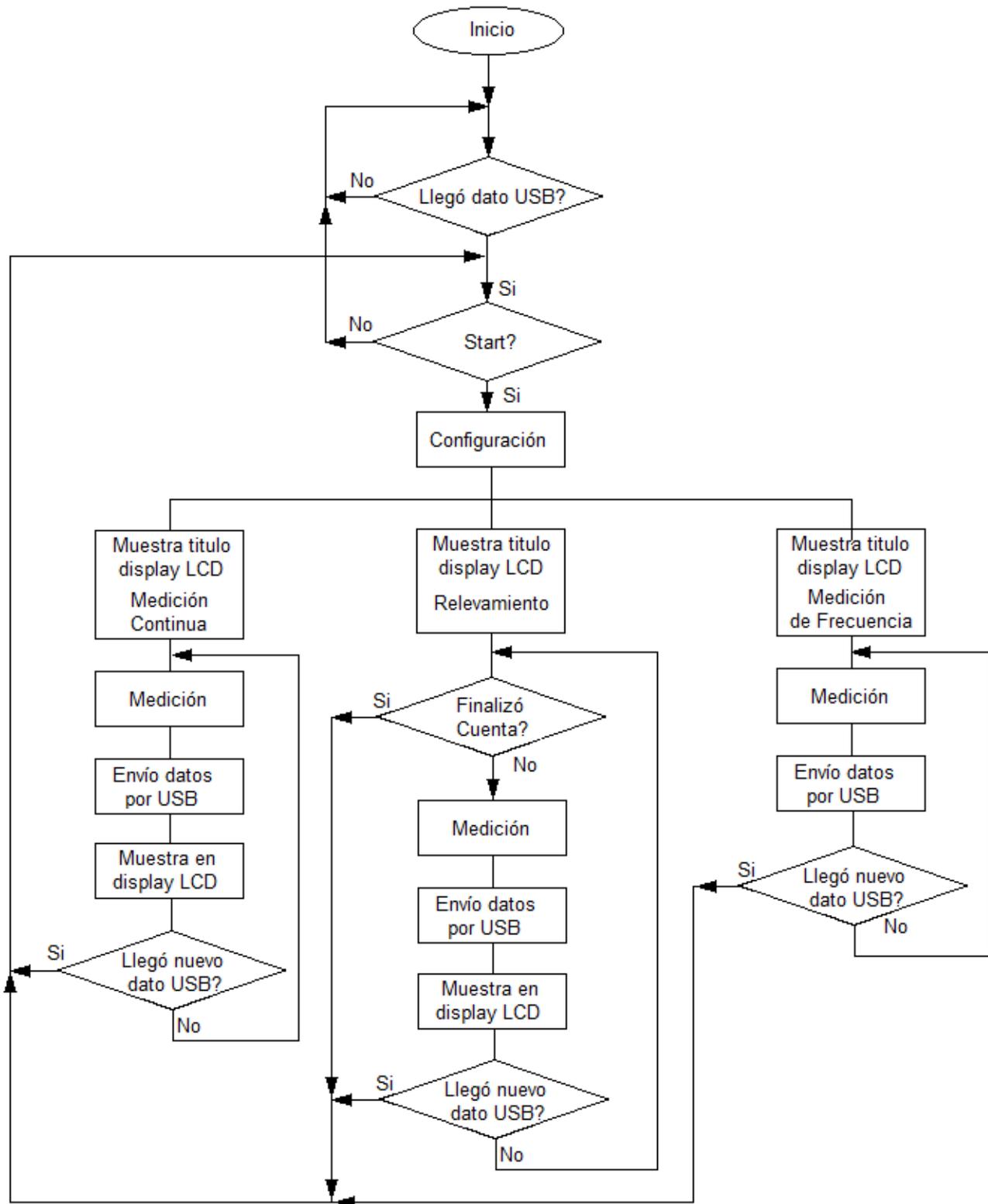


Fig. 63 - Diagrama de flujo del Firmware del microcontrolador

### 3.2.1.2 Descripción del Firmware

A continuación se desarrolla cada uno de los bloques aparecen en el diagrama anterior.

#### Inicio:

El programa del microcontrolador comienza configurando los registros que habilitan los temporizadores y posibles fuentes de interrupción necesarias para esta aplicación en particular. Luego procede a definir todas las constantes y variables que utilizará durante la ejecución tanto de la función principal como las funciones secundarias, configura los parámetros necesarios para establecer la comunicación USB con la PC, la comunicación I<sup>2</sup>C con los diferentes sensores y el bus paralelo en donde se conecta el display LCD 16x2, entre otros.

#### Llegó dato USB?:

Una vez que el programa inicia y carga todos parámetros, entra en un bucle infinito donde queda a la espera del ingreso de información proveniente de la PC vía USB. Mientras no llegue ningún dato, vuelve a preguntar si "*llego dato USB?*". Si llega un dato, carga toda la información en un vector de 64 posiciones y procede a verificar si en dicho vector hay una orden de comenzar a operar. A esta orden se la denomina "Start".

#### Start:

En esta etapa de verificación se determina si la información recibida es válida. En caso de NO encontrarse una condición válida para comenzar, el programa vuelve al bucle inicial quedando a la espera de un nuevo dato en el puerto USB. Por el contrario, si la información recibida SI es válida, procede a tomar la configuración impuesta por el ordenador y se dirige a ejecutar la función que corresponda.

#### Configuración:

Como se mencionó anteriormente, una vez corroborada la información recibida, el micro debe ejecutar una de tres opciones posibles:

- La primera de estas funciones realiza una *medición continua* en el tiempo de todos los sensores necesarios según el tipo de ensayo que se esté realizando.
- La segunda función por la que se puede optar es realizar un *número finito de mediciones* en los sensores presentes en la pantalla. Esta función es la indicada para realizar relevamientos automáticos durante un lapso de tiempo determinado sin la supervisión del operario (ej.: 100 mediciones durante 2 horas).
- La tercera función implementada en este programa está destinada a la *medición de la frecuencia* del ciclo de encendido-apagado de sistemas destellantes intermitentes.

#### Muestra título display LCD:

En esta etapa el microcontrolador ya tiene claramente definida la función que debe ejecutar, entonces procede a informar al usuario mediante un display LCD la operación que se está ejecutando actualmente. Los mensajes informativos pueden ser:

- 1.- "Medición Continua"
- 2.- "Relevamiento..."
- 3.- "Medición de Frecuencia"

Este mensaje se escribe sólo una vez y no se repite a menos que se vuelva a recibir información desde la PC que reconfigure al microcontrolador. En caso de ejecutarse las opción de *Relevamiento*, en el renglón inferior del display se informa constantemente cuantas mediciones se han realizado, por ejemplo, " 025 Mediciones ".

### Medición Continua - Relevamiento... - Medición de Frecuencia

Es una etiqueta que marca el inicio de la tarea a realizar y que sirve como punto de partida para recomenzar cada vez que la función llega a su fin.

#### Medición

En esta instancia, el microcontrolador direcciona los multiplexores para establecer comunicación I<sup>2</sup>C con cada uno de los sensores, los inicializa, configura, espera, recibe la información que éstos le brindan y por último guarda los resultados de cada una de estas mediciones. Este proceso de *Medición* tiene claramente especificado que ante la ausencia de uno o más sensores el sistema debe ser capaz de ignorar a los mismos y continuar con el sensor siguiente en la lista.

#### Envío datos por USB

Una vez almacenado el resultado de las mediciones de todos los sensores en un único vector (2 Bytes por sensor), los mismos se envían como paquete de 64 Bytes vía USB hacia la PC.

#### Muestra en display LCD

Si el envío hacia el ordenador se realiza sin inconveniente, se muestra un mensaje de aviso en el display indicando que la transferencia de datos se realizó correctamente. El mensaje que se visualiza es: "Datos enviados con éxito"

#### Llego nuevo dato USB?

Esta evaluación lógica del programa es similar a la que se presenta al inicio del programa. Las funciones "*Medición Continua*" o "*Medición de Frecuencia*" son procesos infinitos, es decir, continuaran indefinidamente hasta que llegue un nuevo dato que saque al micro del bucle en el que se encuentra. Si bien la función "*Relevamiento...*" es un bucle finito, se le incorpora esta misma evaluación luego de cada envío de datos por USB para brindar la posibilidad de interrumpir el procesos de relevamiento automático sin necesidad de esperar a que dicho relevamiento finalice por sí mismo.

### 3.2.2 Software de PC

El software para PC que se desarrolla como interfaz de usuario pretende ser una herramienta versátil y de uso intuitivo que permita un análisis cualitativo y cuantitativo de la información que el sistema genera a partir de las mediciones de los sensores. El mismo fue desarrollado en lenguaje C++ con el software de desarrollo *QT Creator 5.8*, el cual se puede descargar gratuitamente desde su página web.

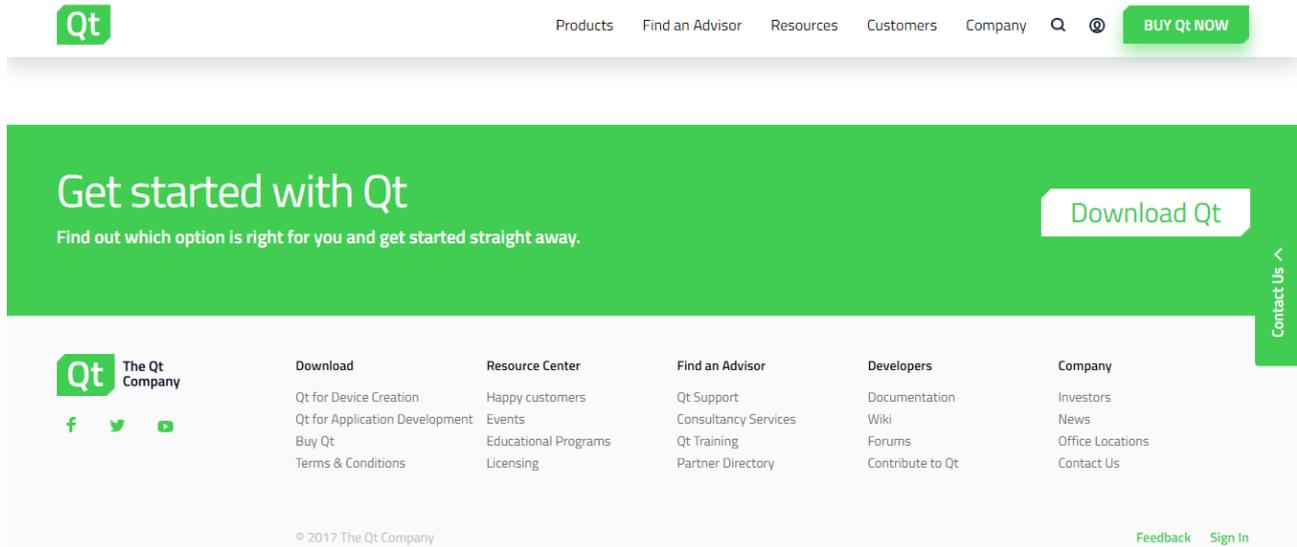


Fig. 64 - Vista de la Web de descarga del Software QT Creator

Una vez instalado, este programa ofrece un entorno de programación bastante cómodo para desarrollar la aplicación del proyecto que correrá sobre Windows. Debajo se puede observar una estructura similar a la que vimos en MikroC, un zócalo a la izquierda con algunas herramientas, un listado con los archivos que conforman el proyecto y a la derecha el campo de escritura.

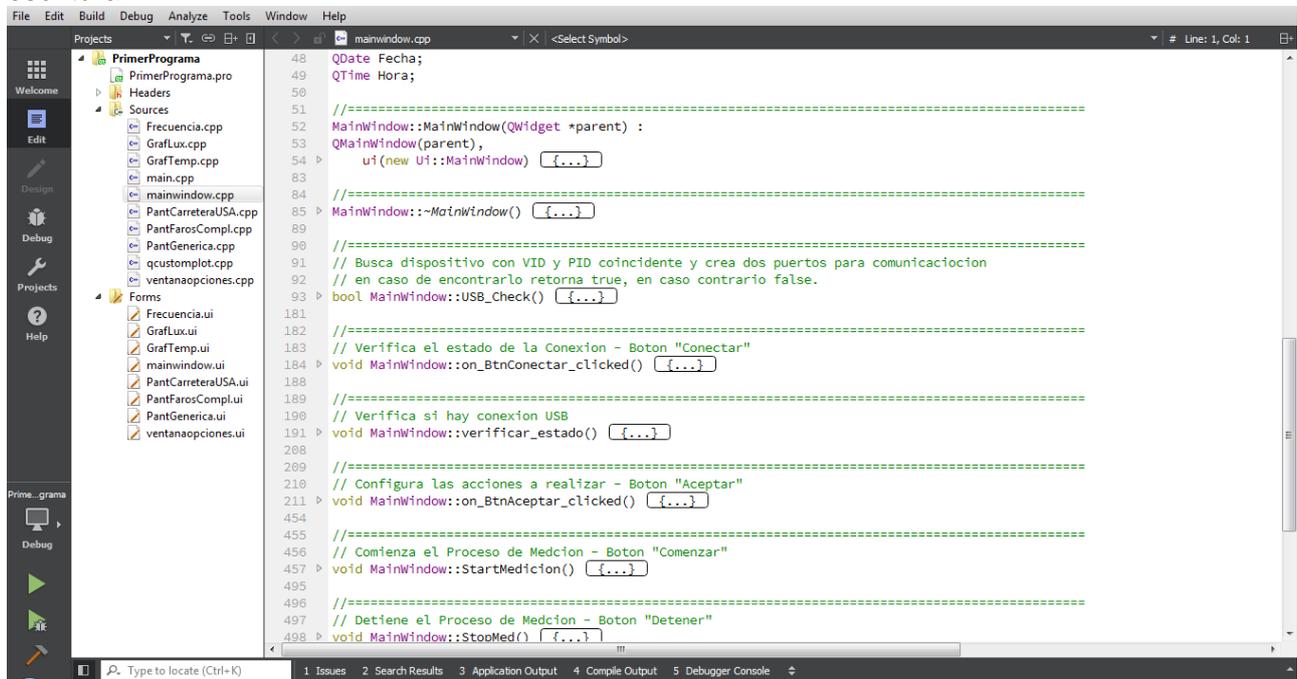


Fig. 65 - Captura del Software QT Creator

Al igual que con el firmware del microcontrolador, en esta sección se presenta un diagrama de flujo que permite conceptualizar la idea y a continuación se describe el desarrollo del Software de PC.

3.2.2.1 Diagrama de flujo

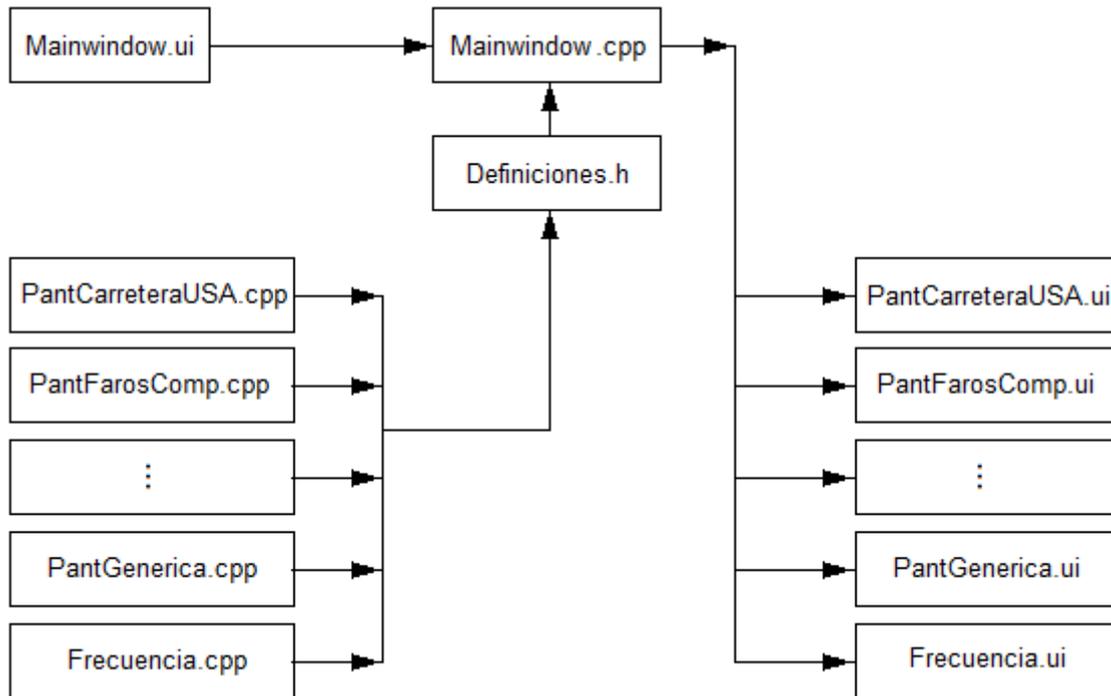


Fig. 66 - Diagrama de flujo del Software de PC

3.2.2.2 Descripción del Software

Mainwindow.ui

La unidad *Mainwindow.ui* (".ui", user interface) es la interfaz gráfica que observa el usuario al momento de iniciar el programa.

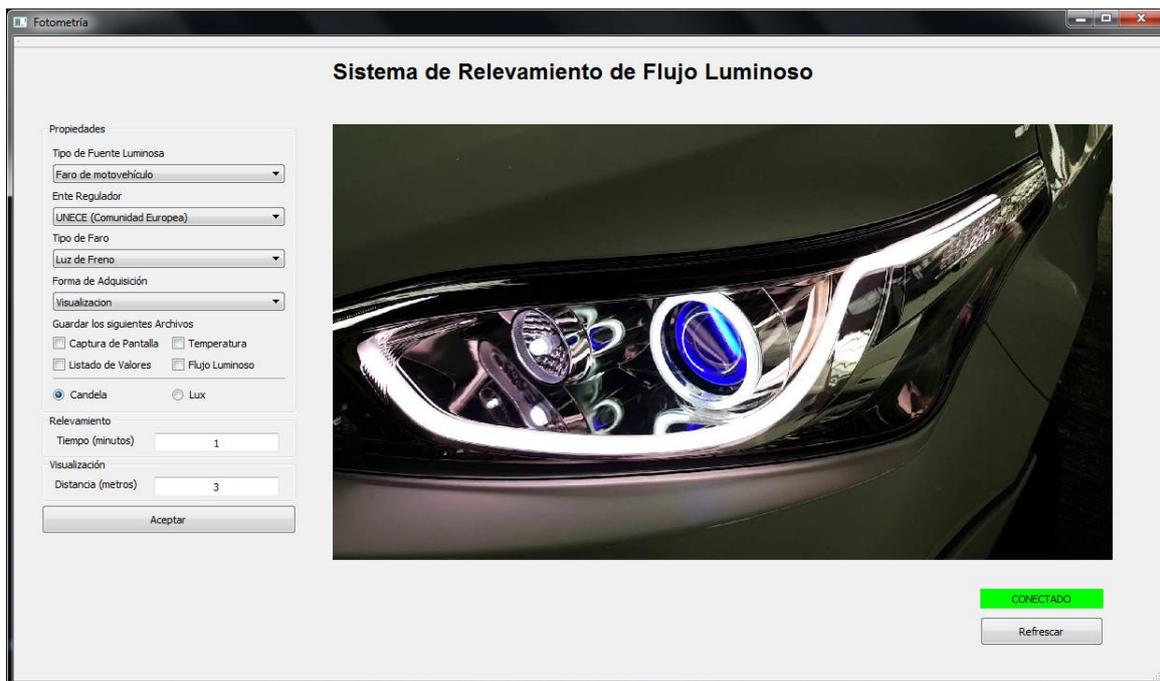


Fig. 67 - Captura de la pantalla de inicio del software de aplicación

En la misma se observa un cuadro llamado “Propiedades”, una lista de opciones realizada utilizando el objeto *ComboBox*. En esta única lista el usuario selecciona todos y cada uno de los parámetros relevantes según sea el tipo de medición que se desee realizar, parámetros que la unidad *Mainwindows.cpp* utilizará para operar y generar cada una de las posibles funciones del programa.

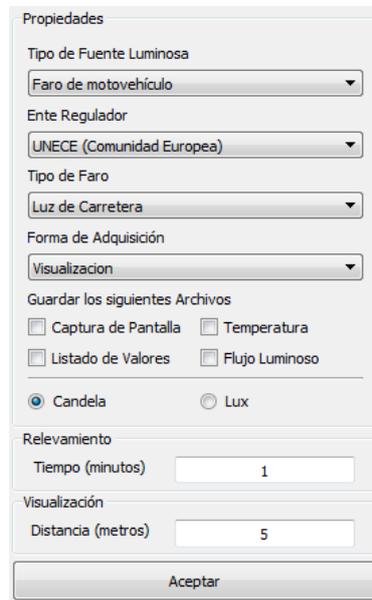


Fig. 68 - Captura del área de propiedades

Debajo se listan los diferentes parámetros que pueden seleccionarse antes de comenzar cada ensayo:

- *Tipo de Fuente Luminosa* (Faro de Motovehículos - Otra Fuente Luminosa)
- *Ente Regulador* (UNECE - FMVSS)
- *Tipo de Faro* (Luz de Freno - Luz de Posición Trasera - Luz de Posición Delantera - etc.)
- *Forma de Adquisición* (Visualización - Relevamiento - Medición de Frecuencia)
- *Guardar (o no) Archivos* (Lista de valores - Gráficos - Capturas de Pantalla - etc.)
- *Tipo de Unidad* en que se representarán las mediciones (Candela - Lux)

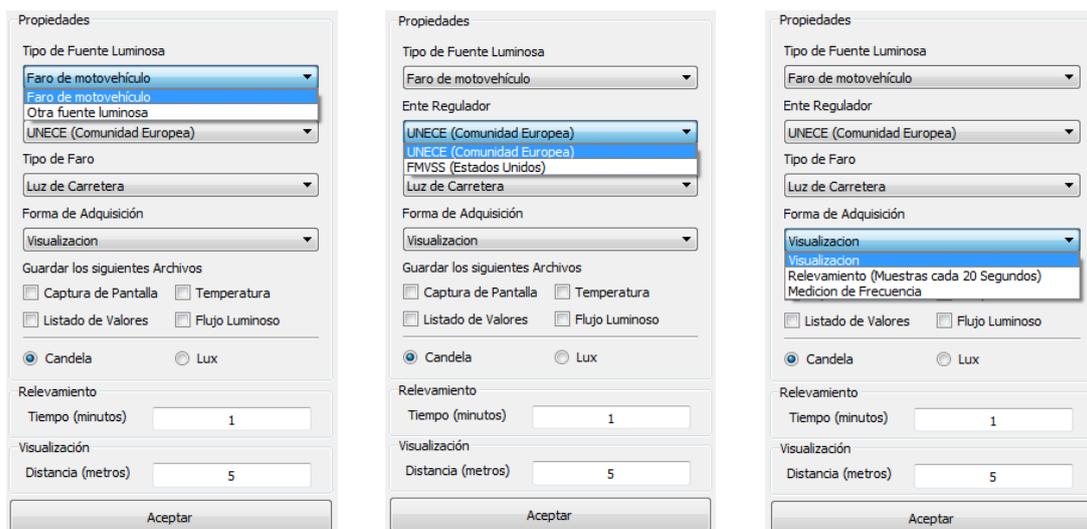


Fig. 69 - Captura del área de algunas propiedades ya desplegadas

Mainwindow.cpp

La unidad *Mainwindow.cpp* es el bloque principal del programa. Una vez que el usuario ha seleccionado el tipo de análisis que desea realizar, esta unidad se encarga de buscar las constantes y variables que necesita, realiza los cálculos necesarios, procesa la información, almacena datos en archivos de hoja de cálculo, genera nuevas ventanas, etc..

Las variables y constantes que esta unidad necesita para operar están previamente almacenadas en las restantes unidades (extensión \*.cpp), donde cada una de ellas posee características particulares y diferentes a las demás. Como *Mainwindow.cpp* no puede acceder directamente a estas unidades y, por ende, a los datos allí almacenados, es necesario crear una unidad “puente” que permita este flujo de información. Es ahí donde nace la unidad *Definiciones.h*.

Definiciones.h

La unidad *Definiciones.h* posee en su interior una *estructura* donde se crean espacios de memoria para almacenar información de diversos tipos. En ella se contempla la posibilidad de almacenar datos como:

- *Cantidad de sensores* distribuidos sobre la pantalla
- *Distancia* entre el faro y la pantalla
- *Valores máximos y mínimos* de intensidad luminosa para cada sensor (expresados en candelas)
- *Porcentajes relativos* respecto del sensor central
- *Factores de corrección* necesarios, etc.

Se considera a esta unidad como un puente, ya que cada unidad \*.cpp deposita sus variables y constantes en los espacios de memoria designados para ello y desde aquí son directamente accedidos por la unidad principal *Mainwindow.cpp* para su posterior procesamiento.

PantCarreteraUSA.cpp - PantFarosComp.cpp - PantGenerica.cpp - otras \*.cpp

Las unidades tipo \*.cpp cumplen dos funciones principales. La primera de ellas es contener datos e información particular de cada tipo de pantalla (o patrón de medición) que puede usar el sistema. Esta información es totalmente accesible a través de la unidad *Definiciones.h* para realizar futuros cálculos. En cada unidad \*.cpp se establecen los parámetros que deben respetarse al realizar el relevamiento de una fuente luminosa en particular.

La segunda función que éstas tienen es crear una nueva ventana, particular, visible para el usuario y diferente a las demás, donde se pueden observar todos los elementos que surgen del proceso de medición. Estas ventanas se representan en el diagrama de flujo con un nombre igual a las unidades \*.cpp, pero ahora con la extensión \*.ui. Algunos de los elementos que contiene cada una de estas nuevas ventanas son:

- *Título* que identifica el tipo de ensayo que se está realizando (ej. Luz de Freno - UNECE)
- *Imagen representativa de la distribución de los sensores* sobre la pantalla que se debe utilizar
- Un espacio para ingresar la *Distancia* entre el faro y la pantalla al momento del ensayo
- Información acerca de la *Unidad de Medida* en la que se representan los valores de Intensidad Lumínica.
- Información acerca de la *Fecha y Hora* del ensayo
- Un botón que *inicia* el proceso de medición y otro que lo *detiene*.

Los elementos listados se pueden observar en la imagen de la ventana *PantFarosComp.ui* que el sistema genera al seleccionar un ensayo sobre un faro de luz de freno según la UNECE.

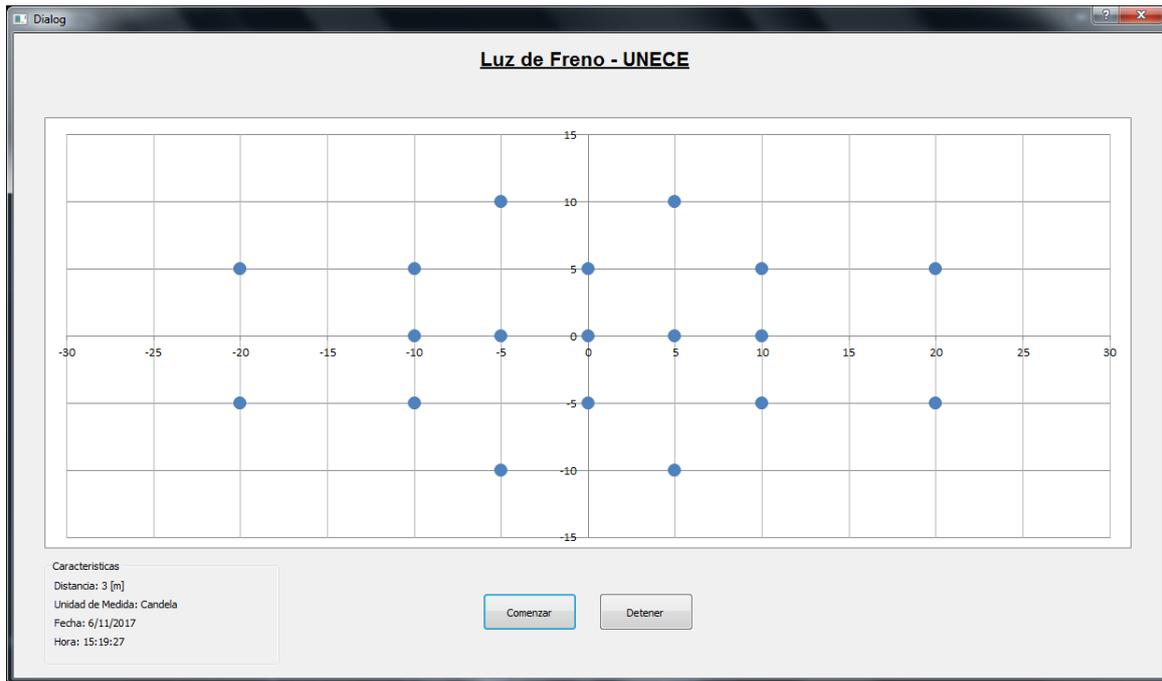


Fig. 70 - Captura del software. Disposicion de sensores antes de iniciar el ensayo

Otro ejemplo se presenta debajo, donde se observa la ventana *PantCarreteraUSA.ui* que el sistema genera al seleccionar un ensayo sobre un faro de luz de carretera según la FMVSS.

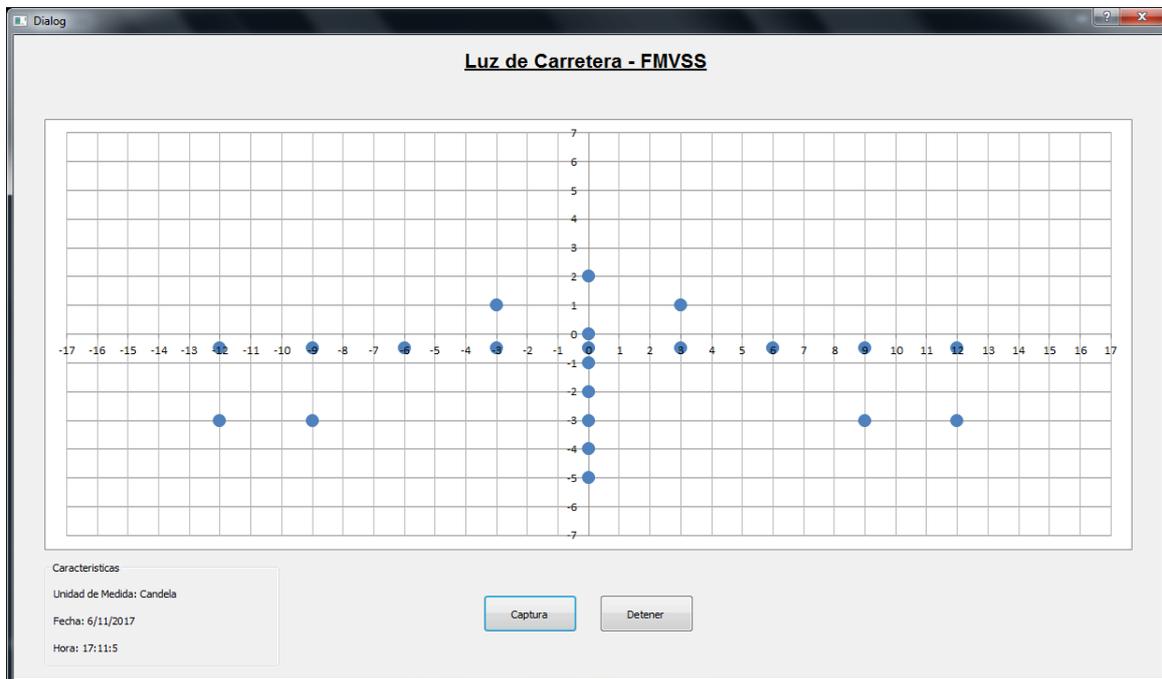


Fig. 71 - Captura del software. Disposicion de sensores antes de iniciar el ensayo

### Frecuencia.cpp

Es una unidad similar respecto de las demás unidades *\*.cpp* en la forma de operar, sin embargo difiere notablemente en su funcionalidad y la interfaz de usuario que genera. En su interior se encuentran cargados los parámetros necesarios que permiten procesar la información que brinda el sensor central del sistema y con esto poder calcular la frecuencia de destello de cualquier fuente de luz intermitente. Esta frecuencia, como así también el ciclo de trabajo de la misma, se expresa a través de dos Labels en la unidad *Frecuencia.ui*.

### Frecuencia.ui

Esta interfaz de usuario brinda información acerca de fuentes luminosas operan en forma intermitente tales como luces indicadoras de dirección o balizas. Esta particular ventana tiene básicamente 3 herramientas que brindan información del faro bajo ensayo; por un lado, se representa la intermitencia de la luz mediante el cambio de color de una imagen representativa que coincide con el destello del faro que se está midiendo. De esta manera el usuario se asegura que el sistema está "siguiendo" correctamente el parpadeo de la luz. Por otra parte, mediante dos Labels en la parte inferior de la ventana se expresa el *número de ciclos por minuto* que posee el faro y el *ciclo de trabajo* o *ciclo de encendido* expresado en porcentaje del periodo de destello.



Fig. 72 - Captura del software. Ventana utilizada para medicion de frecuencia de destello

## Capítulo 4: Resultados

### 4.1 Hardware

En el presente trabajo se fue desarrollando detalladamente cómo evolucionó el proceso de diseño e implementación de este Sistema de Medición y Relevamiento. Es tiempo ahora de exponer mediante fotografías y capturas de pantalla el producto realizado. Comenzaremos por el hardware del equipo y la maqueta que se utilizó en la presentación, luego el software, tanto del microcontrolador como de la PC y por último, los resultados obtenidos.

#### 4.1.1 Sensores

El sensor de luz ambiente implementado en su módulo comercial GY30, ya fue desarrollado con suficiente detalle, por lo que en esta sección se hace hincapié en el zócalo donde este módulo se inserta y al sistema de sujeción a la pantalla.

En primer lugar se observa que los pines de conexión se encuentran en forma perpendicular a la superficie de sensor, dejando el PCB del módulo sin un apoyo físico que evite que la placa se mueva accidentalmente hacia abajo. Para esto se diseñó una pieza utilizando impresión 3D que hace de base de apoyo al mismo, dándole firmeza al conjunto y evitando así posibles roturas por golpes o presiones.



Fig. 73 - Fotografías implementación del sensor de dirección baja

Con el mismo material con que se realiza la base de apoyo, se crea una especie de arandela, o separador, en la parte inferior del PCB del zócalo. Esta pieza tiene dos funciones, por un lado, separa las soldaduras del PCB de la pantalla y por otro permite que la pantalla pueda curvarse sin que se ejerza fuerza mecánica alguna sobre el zócalo. Por último, un tornillo y una tuerca tipo mariposa sujetan todo el conjunto a la pantalla sin necesidad de usar ninguna herramienta. Intencionalmente se buscó que el tornillo posea cabeza fresada para que, ante un eventual exceso de fuerza durante la sujeción, el tornillo pueda girar libremente evitando roturas.

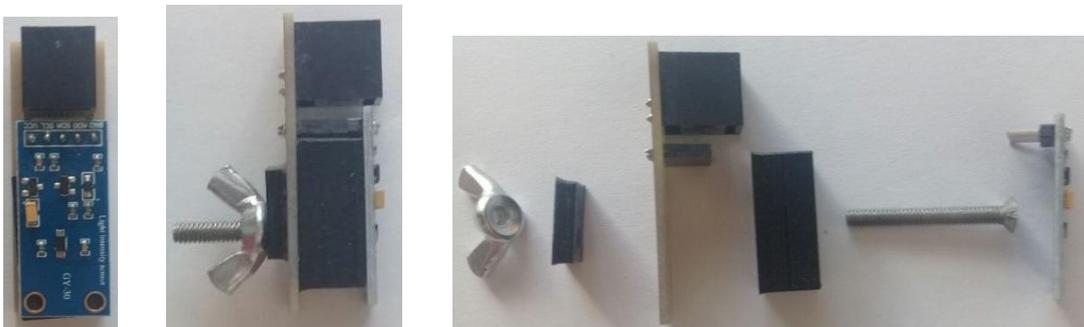


Fig. 74 - Fotografías implementación del sensor de dirección alta

4.1.2 Placa de Control Principal

Debido al elevado número de pistas que conectan a los multiplexores con los puertos de salida hacia los sensores, el diseño eléctrico de la placa de control principal tuvo que diseñarse sobre ambas caras del PCB. Como soporte se utilizó una placa de material epoxi de gran calidad para garantizar robustez y durabilidad del producto. Se utilizó también una máscara antisoldante que protege la placa de cortocircuitos accidentales y al cobre del proceso de oxidación. Por último, la serigrafía sobre la máscara demarca el lugar donde se coloca cada componente.

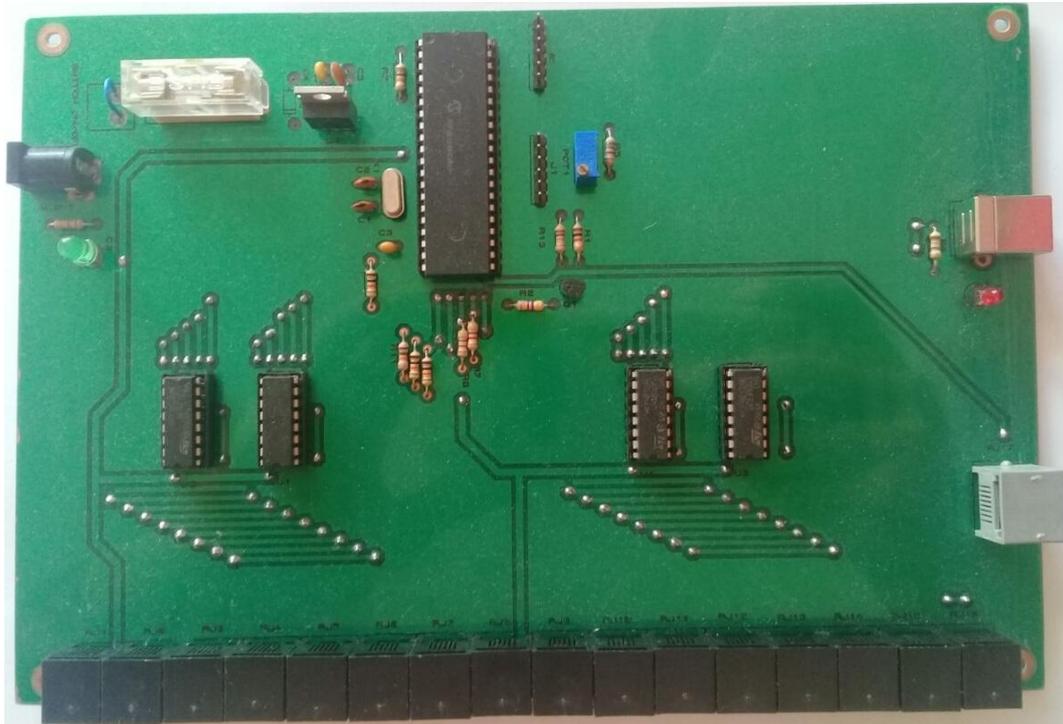


Fig. 75 - Fotografía Placa de Control Principal

En este proyecto se colocó zócalos a los circuitos integrados con la intención de posibilitar una rápida remoción y reemplazo de cualquiera de estos componentes en caso de avería.

El equipo viene en un gabinete con un frente sencillo, donde se observan dos LEDs de aviso, uno rojo que informa que está establecida la conexión de USB y uno verde que indica si el equipo se encendido o apagado. Un interruptor enciende el equipo y al centro un display LCD indica el estado de operación del sistema.

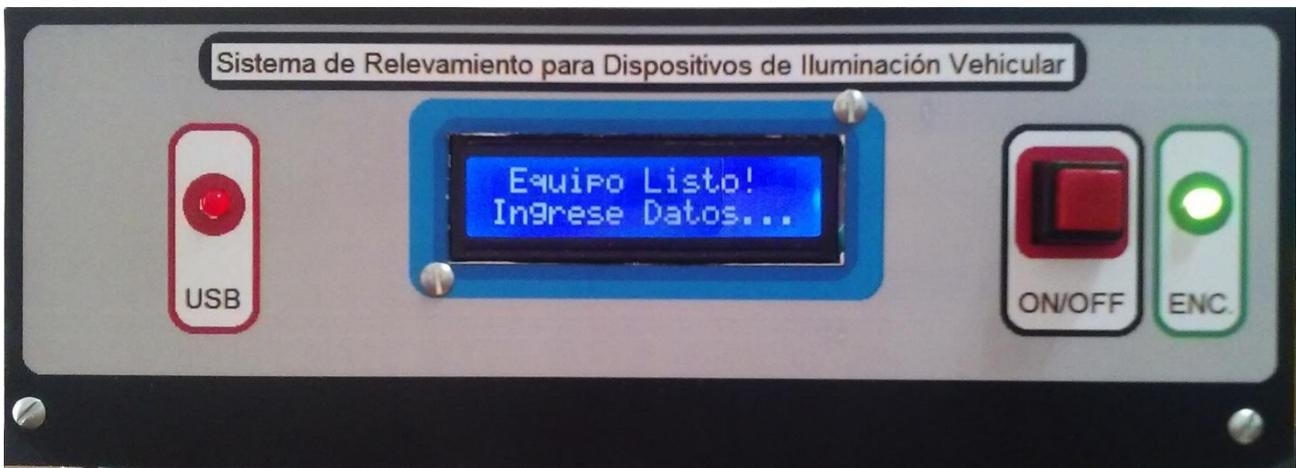


Fig. 76 - Frente gabinete Placa de Control Principal

4.1.3 Placa de Control Secundaria

La placa de control secundaria es un pequeño PCB que contiene los elementos necesarios para actuar como interruptor controlado del faro que se está ensayando y, además, como puente entre un sensor de temperatura y la placa de control principal. Debido a algunos inconvenientes esta placa se presenta implementada en una placa epóxica de menor calidad sin mascara antisoldante, pero su funcionamiento no se ve comprometido en ningún aspecto.

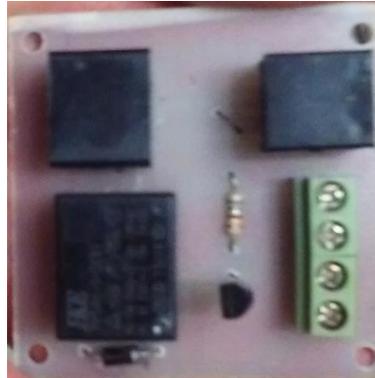


Fig. 77 - Fotografía Placa de Control Secundaria

Mediante un buffer transistorizado, un relé es controlado por una señal de control proveniente de la placa de control principal, haciendo que el faro se encienda al comenzar el ensayo y se apague al finalizar. El conector RJ11 a la derecha alimenta al sensor de temperatura que registra los cambios térmicos en el mismo faro.

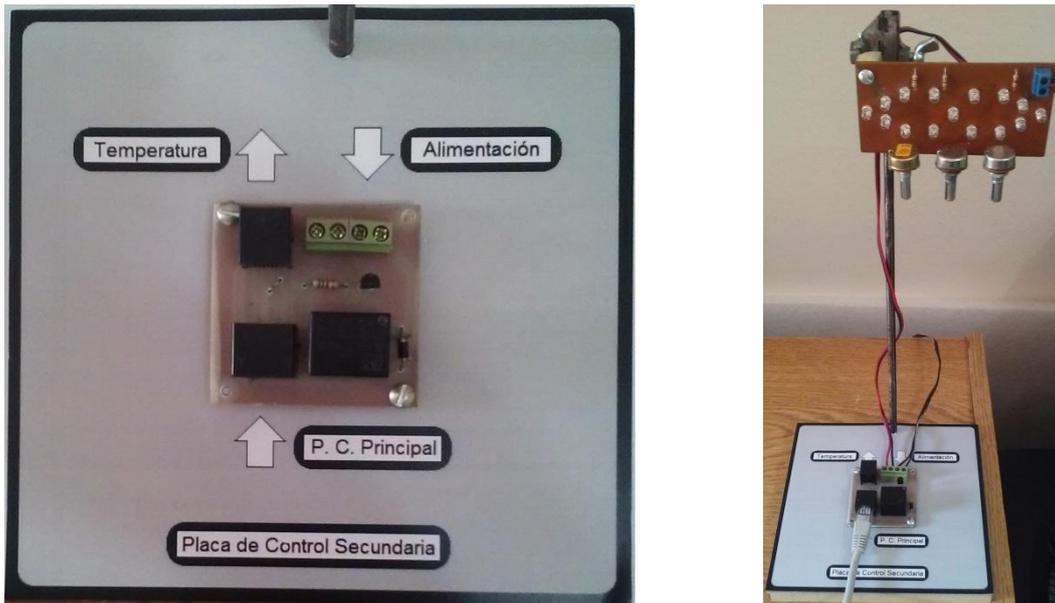


Fig. 78 Faro de prueba y Placa de Control Secundaria

#### 4.1.4 Pantalla

La pantalla donde se colocan los sensores se realizó utilizando un chapadur perforado. La misma posee actualmente 61[cm] de alto por 1,52[m] de largo y mantiene una curvatura circular de 1,5[m] de radio. Estas dimensiones fueron calculadas para alojar los 19 ALS necesarios para realizar el ensayo de un faro de freno de un motovehículo colocado a una distancia de 1,5[m]. Sin embargo, para realizar ensayos fotométricos siguiendo estrictamente el procedimiento que dictan las normas, se debe contar con una pantalla de mayor tamaño; de 1.5[m] de alto y 3.5[m] de largo aproximadamente.

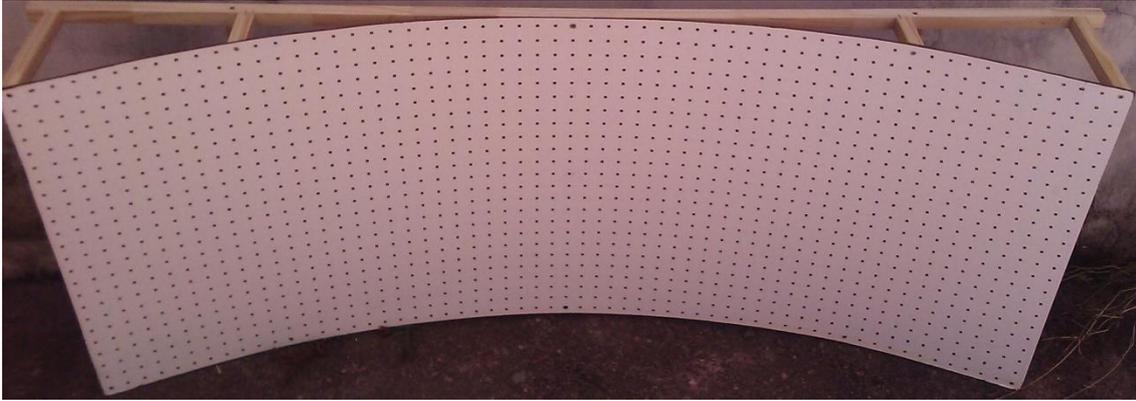


Fig. 79 - Estructura pantalla 1,5[m] de radio

Con la pantalla sujeta a una estructura que mantiene su curvatura, se colocan los sensores dispuestos según indican las normas europeas y estadounidenses para el relevamiento de la luz de freno de una motocicleta o cuatriciclo.



Fig. 80 - Disposición de sensores para medición de Luz de Freno

Puede verse que los cables que unen cada par de sensores se encuentra enrollado parcialmente; esto se debe a que la longitud de los mismos es la que deben tener para ser utilizados en ensayos realizados según norma.

Un aspecto muy importante en este tipo de sistemas es el grado de exactitud con el que se realizan las mediciones. Según establecen las normativas todos los puntos de medición deben encontrarse a la misma distancia de la fuente de luz, por lo tanto, para cumplir con ese requisito la pantalla que contiene los sensores debería ser ineludiblemente una sección esférica. Debido a la dificultad de realizar una pantalla de sección esférica, se decide realizar una pantalla curva en uno de sus ejes y compensar la diferencia de distancia que se genera en el eje restante mediante un factor correctivo en el software de la PC. Este factor se calcula automáticamente y se aplica al resultado de las mediciones en función de la distancia existente entre el faro y el centro de la pantalla

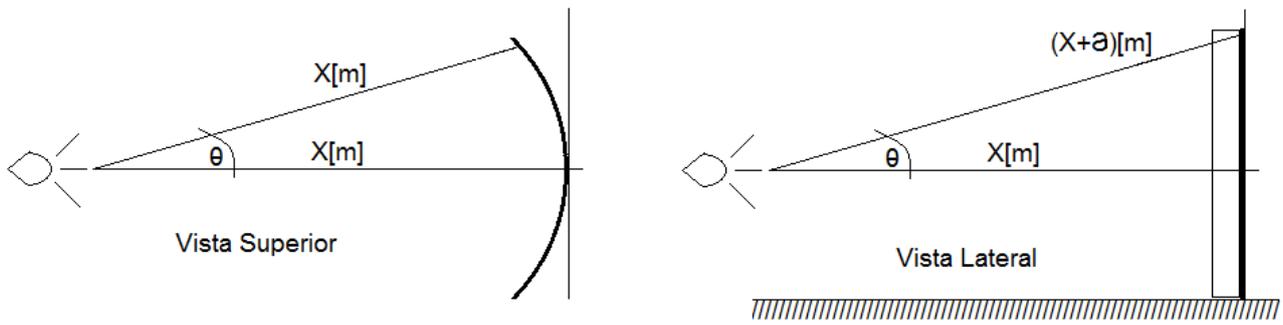


Fig. 81 - Vistas ángulo de incidencia de la luz

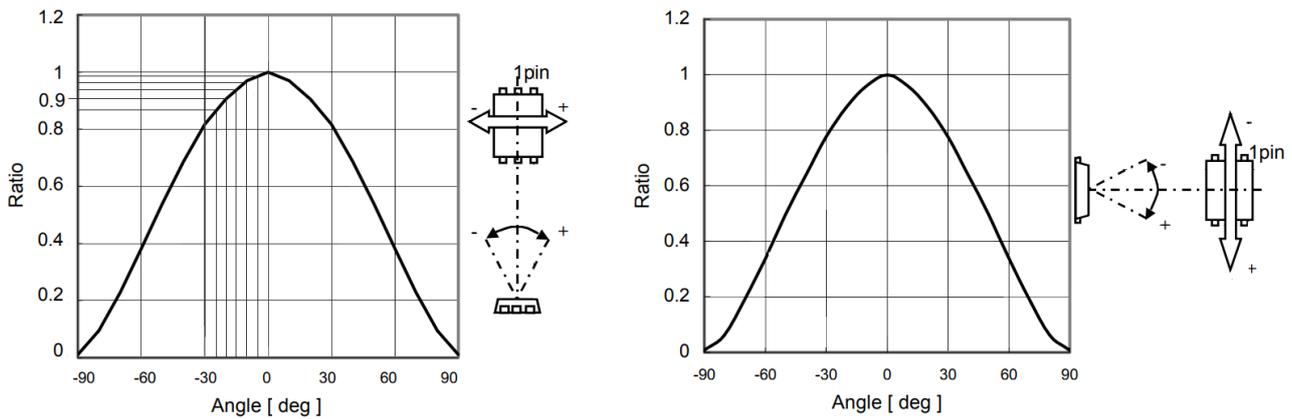


Fig. 82 - Características Direccionales. Hoja de datos bh1750

Para tener una idea cuantitativa de la magnitud de este factor se presentan a continuación dos tablas con los valores de corrección necesarios según la distancia entre el faro y la pantalla de medición.

Ej. 1: Luz de Giro (UNECE). Distancia: 3 metros.

Luz de Giro								
Distancia teórica al centro de la pantalla [m]	Angulo de elevación [°]	Distancia hasta la Pantalla [m]	Iluminancia Media según Norma [lx]	Iluminancia Medida [lx]	Diferencia en Iluminancia [lx]	Exactitud Parcial (Normalizada)	Características Direccionales (Normalizada)	Factor de Corrección Total
3	0	3	55	55	0	1,000	1,00	1,000
	2	3,002		54,93	0,07	0,999	0,99	1,011
	4	3,007		54,73	0,27	0,995	0,98	1,025
	6	3,017		54,40	0,60	0,989	0,97	1,042
	8	3,029		53,93	1,07	0,981	0,96	1,062

Tabla 12 - Factor de Corrección ej. 1

Ej. 2: Luz de Carretera (UNECE). Distancia: 5 metros.

Luz de Carretera								
Distancia teórica al centro de la pantalla [m]	Angulo de elevación [°]	Distancia hasta la Pantalla [m]	Iluminancia Media según Norma [lx]	Iluminancia Medida [lx]	Diferencia en Iluminancia [lx]	Exactitud Parcial (Normalizada)	Características Direccionales (Normalizada)	Factor de Corrección Total
5	0	5	406	406	0	1,000	1,00	1,000
	2	5,003		405,51	0,49	0,999	0,99	1,011
	4	5,012		404,02	1,98	0,995	0,98	1,025
	6	5,028		401,56	4,44	0,989	0,97	1,042
	8	5,049		398,14	7,86	0,981	0,96	1,062

Tabla 13 - Factor de Corrección ej. 2

Luego de analizar los cálculos realizados se puede apreciar rápidamente que conforme menor sea la distancia ente el faro y la pantalla, el radio de curvatura es mayor y con ello el factor de corrección crece. Sin embargo, observando ambos ejemplos se puede ver que este factor es relativamente pequeño para todo tipo de mediciones que exijan las normas, llegando al 6,2% en el caso más desfavorable.

## 4.2 Software

### 4.2.1 Pantalla de Inicio

Cuando el usuario inicia el software de aplicación del equipo, se abre una ventana de bienvenida que posee una serie de elementos que se listan a continuación:

- Nombre del Programa (Título)
- Imagen de Bienvenida
- Cuadro de Propiedades, para seleccionar el ensayo a realizar
- Botón “Aceptar”, para configurar al microcontrolador desde la PC
- Botón “Conectar” y Label Indicador, para chequear el estado de la conexión USB

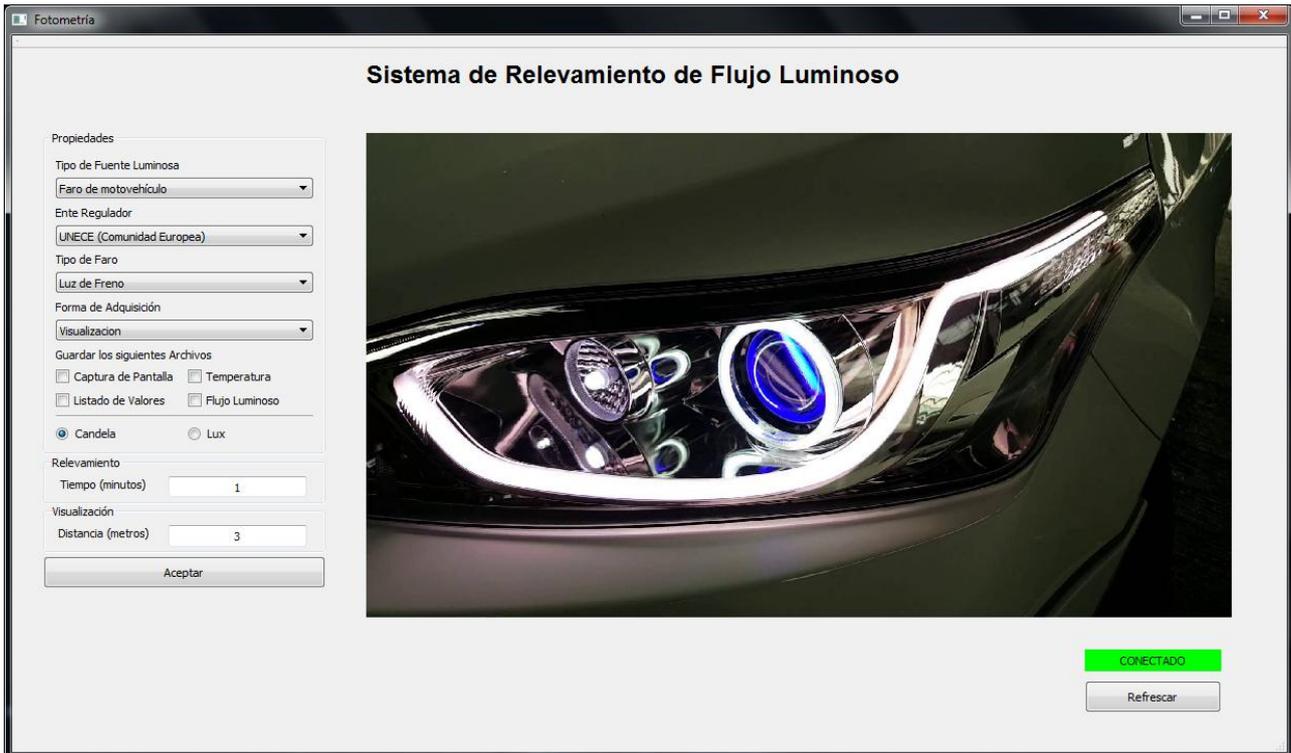


Fig. 83 - Captura de Pantalla de Inicio del Programa

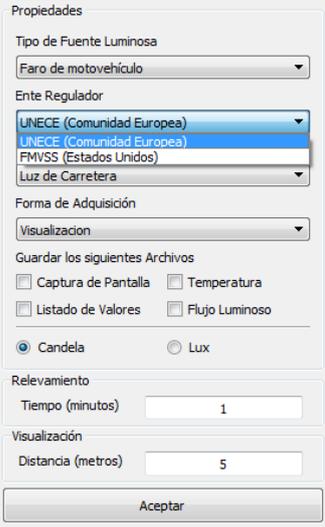
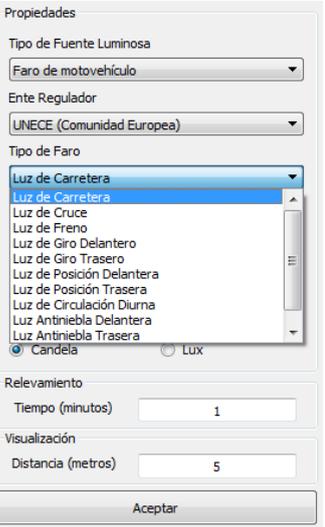
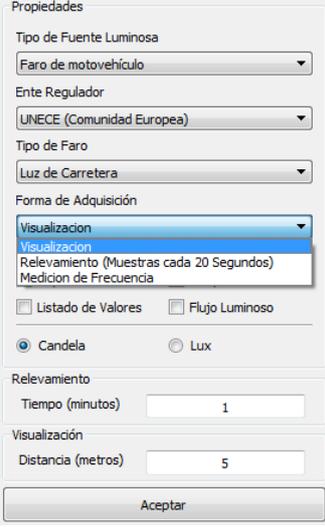
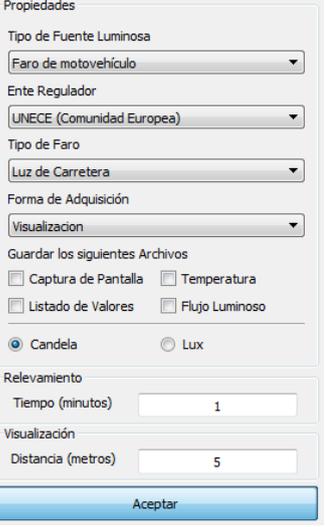
Al mismo tiempo, desde que el equipo se enciende y mientras no reciba instrucciones desde el ordenador, el display de la placa principal muestra la leyenda "Equipo Listo! - Ingrese Datos..." indicando que el hardware se encuentra en condiciones de comenzar a operar.



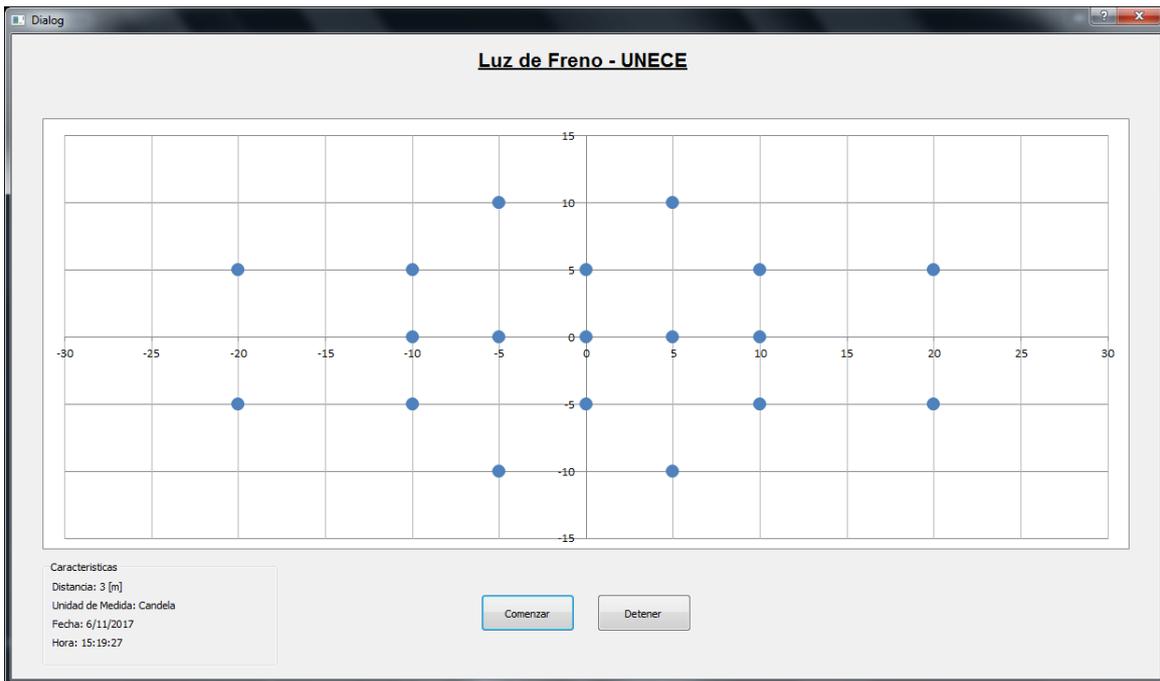
Fig. 84 - Display LCD. Equipo se encuentra listo

4.2.2 Visualización

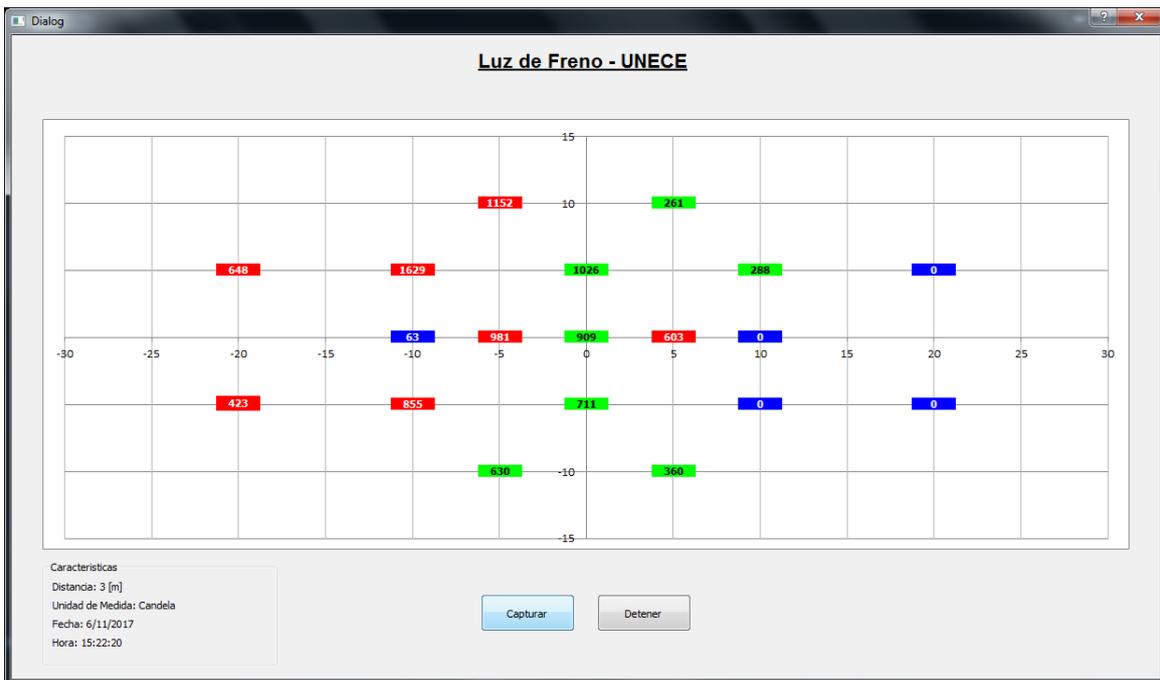
Para una mejor comprensión del uso del software se realiza a continuación una serie de capturas del proceso paso a paso para realizar mediciones en un faro de freno.

<p><b>PASO 1:</b> “Tipo de Fuente Luminosa -&gt; Faro de motovehículo”</p>	<p><b>PASO 2:</b> “Ente Regulador -&gt; UNECE (Comunidad Europea)”</p>	<p><b>PASO 3:</b> “Tipo de Faro -&gt; Luz de Freno”</p>
		
<p><b>PASO 4:</b> “Forma de Adquisición -&gt; Visualización”</p>	<p><b>PASO 5:</b> Podemos elegir guardar o no “Listado de Valores” y “Candela ó Lux”</p>	<p><b>PASO 6:</b> El botón “Aceptar” configura al Microcontrolador y abre la ventana correspondiente</p>
		

**PASO 7: Ubicar los sensores según muestra la imagen y presionar el botón “Comenzar”**



**PASO 8: El sistema muestra el resultado de las mediciones en tiempo real**



Mientras tanto el display informa que el equipo se encuentra operando



PASO 9: En caso de haber seleccionado guardar “Listado de Valores”, puede abrirse el archivo Excel que el sistema genera con todos los resultados de las mediciones

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Sensor	Medicion 1	Medicion 2	Medicion 3	Medicion 4	Medicion 5	Medicion 6	Medicion 7	Medicion 8	Medicion 9	Medicion 10	Medicion 11	
2	1	23	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
3	2	73	71	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
4	3	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
5	4	41	41	41	41	40	40	40	40	41	41	41	
6	5	77	75	74	75	75	74	74	74	74	74	75	
7	6	81	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	
8	7	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
10	9	26	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
11	10	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
12	11	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
13	12	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
14	13	65	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
15	14	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
16	15	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
17	16	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
18	17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
19	18	73	71	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
20	19	23	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
21													

### 4.2.3 Relevamiento

El Procedimiento es igual en caso de realizar un relevamiento, con la diferencia que el display muestra el siguiente mensaje



Fig. 85 - Display LCD. Equipo realizando un relevamiento automatico

#### 4.2.4 Medición de frecuencia

El proceso de medición de frecuencia para luces destellantes se inicia de manera similar a lo que ya se ha desarrollado. Las capturas que se encuentran debajo muestran la venta presente mientras se realiza la medición. En la misma, una icono cambia de color (Negro a Rojo y viceversa) al mismo tiempo que lo hace el faro que se esta ensayando indicándole al usuario que el proceso se esta llevando a cabo de forma adecuada. Debajo de la misma, dos labels indican la cantidad de destellos por minuto que presenta el faro y el ciclo de trabajo del mismo en porcentaje.



Fig. 86 - Captura de pantalla durante medicion de frecuencia

Mientras esto sucede, el display informa la situación. La leyenda “Esperando...” se mantiene visible mientras el sistema no haya detectado que el faro comenzó a titilar. Una vez detectado, cambia a “Midiendo...”.

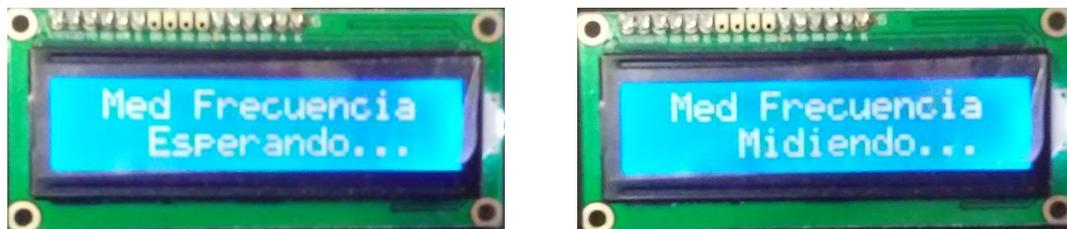


Fig. 87 - Display LCD. Equipo midiendo frecuencia de destello

### 4.3 Clase

Un aspecto muy importante en un equipo de medición es el valor de su Clase. Para realizar el ensayo sobre un instrumento de medición y determinar así su Clase, es necesario contar con un *Instrumento Patrón* con el cual contrastar los resultados de las mediciones que cada uno realiza. En esta oportunidad el único luxómetro al que se tuvo acceso como instrumento patrón es un luxómetro estándar de Clase 5, es decir, con un margen de error del 5%, error muy por encima del error que los ALS utilizados pueden cometer. Por otra parte, debido a que un luxómetro de precisión es excesivamente costoso para quien realiza este equipo, el presente informe se entrega sin una comprobación de la CLASE del instrumento. Sin embargo, debido a que la sensibilidad del sensor BH1750 puede ser programada con gran nivel de detalle, se estima que el error total que el equipo puede cometer no superaría el 1%. Con esta interpretación, se estima que la clase del instrumento es Clase 1 o Clase 2 como máximo.

### 4.4 Ventajas

Como resumen, podemos listar algunas ventajas del sistema:

- Bajo costo
- Alto grado de estandarización
- Uso simple e intuitivo
- Gran versatilidad (admite todo tipo de normas y fuentes luminosas)
- Posibilita realizar mediciones precisas en casi cualquier ambiente interior.
- Adecuada inmunidad al ruido eléctrico e IEM.
- Evita errores de medición por parte del operario.

<b>Parámetro</b>	<b>Luxómetro LX1010B</b>	<b>Equipo Propio</b>	<b>Unidad</b>
Rango	0 a 50.000	0 a 100.000	Lux
Valor de Resolución	1, 10, 100	0,11 a 100.000	Lux
Tipo de Resolución	Fija	Programable	-
Humedad de operación	0 a 80	-	%
Temperatura de operación	0 a +40	-40 a +85	°C
Tiempo de medición	400	70	ms
Elimina Luz Ambiente	No	Si	-
Corrección de Errores	No	Si	-

## Capítulo 5: Análisis de Costos

El análisis de costos va a dividirse en dos partes bien diferenciadas, el costo de desarrollo por un lado y costo de producción por otro.

El Costo de Producción es un tipo de costo económico que se debe afrontar para compensar el trabajo de desarrollo del profesional que diseña el equipo. En función de la experiencia adquirida, se puede estimar un total de 150 horas hombre para el desarrollo del Software y Hardware con un valor económico de treinta mil pesos argentinos aproximadamente. Como ya se sabe, el costo de desarrollo se presenta una única vez.

Costo de desarrollo para diseñar la primera unidad			
Cantidad	Ítem	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
100	Hs Desarrollo Software	200,00	20.000,00
50	Hs Desarrollo Hardware	200,00	10.000,00
			30.000,00

Tabla 14 - Costos de diseño

En cuanto al costo de producción se debe tener en cuenta dos situaciones particulares. Por un lado, según se observa en la siguiente tabla, se debe detallar el costo económico que resultó de producir la primera unidad, utilizando componentes adquiridos en el comercio local a precio minorista.

Costo de Producción de la primer unidad - Precio minorista			
Cantidad	Ítem	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
31	Sensores BH1750	70,00	2.170,00
31	PCB Sensores	15,00	465,00
31	Burlonería	2,00	62,00
1	PCB Placa Principal	500,00	500,00
1	Zócalos y Componentes	450,00	450,00
1	Microcontrolador	120,00	120,00
4	Multiplexores	15,00	60,00
1	Gabinete	300,00	300,00
40	Metros Cable 4 hilos	7,00	280,00
64	Conectores RJ11 Macho	2,00	128,00
1	Pantalla Madera	500,00	500,00
			5.035,00

Tabla 15 - Costos de Producción

Puede observarse que, a pesar de realizar el primer equipo con componentes adquiridos al por menor, el precio final del hardware es relativamente económico para la gran utilidad que el mismo tiene. Haciendo una rápida investigación se puede encontrar que es posible enviar el diseño del equipo a empresas dedicadas para su fabricación en cantidad, resultado una reducción de hasta un 40% en el costo de producción por equipo. El margen de ganancia que posibilita esta operación, sumado al valor de venta en concepto del Software, resulta en un equipo económico, de gran utilidad y con una razonable ganancia en la venta para el desarrollador.

### Comparación precio Luxómetro lx1010B Clase

The screenshot shows a search for 'luxometro' on Mercado Libre. The results are filtered to 'Solo en Testers y Equipos de Medición'. Three products are listed:

- Product 1:** Luxómetro Digital Unit Medidor De Intencidad Luz Luminocidad. Price: \$ 545. 25 vendidos - Capital Federal.
- Product 2 (highlighted with a red box):** Luxómetro Medidor Digital De Luz Luminecencia 3 Detecciones. Price: \$ 545. 29 vendidos - Capital Federal.
- Product 3:** Luxómetro Digital Lx 1010 A - 2000, 20000, 50000 Lux. Price: \$ 550. Envío a todo el país.

On the left sidebar, there are filters for 'Ordenar publicaciones' (set to 'Menor precio'), 'Precio' (ranging from \$800 to \$1,500), and 'Categorías' (Multímetro, Termómetro, Decibelímetros, Nivel Óptico).

### Ciclo de vida del producto

Debido a la simpleza del diseño y a la facilidad de reemplazo por falla o rotura de cualquiera de los componentes que integran el equipo, se estima que el ciclo de vida del sistema completo superaría sin inconvenientes los 20 años de uso apropiado.

## Capítulo 6: Discusión y Conclusión.

Finalizado el desarrollo de este trabajo puedo concluir que los resultados obtenidos luego del estudio, diseño, desarrollo e implementación de este sistema de medición alcanzan sin dificultad los objetivos propuestos. Se planteó la idea de crear un equipo simple, robusto y de fácil utilización que permita realizar ensayos y/o relevamientos autónomos de faros vehiculares en forma rápida y sencilla, con la premisa de obtener resultados confiables y consistentes en el tiempo.

Otro de los objetivos importantes que tenía este proyecto era eliminar, o reducir en la mayor medida de lo posible, el efecto nocivo de la contaminación de luz ambiente que rodea el área de ensayo; evitando que las condiciones cambiantes de luz natural generen mediciones inexactas. Con este equipo es posible eliminar automáticamente los efectos de la luz ambiental, registrando únicamente la luz emitida por la fuente bajo ensayo.

El tiempo y trabajo necesarios para llevar a cabo el relevamiento de un faro en particular fueron considerablemente reducidos con la función de "Relevamiento Autónomo" del equipo, eliminando además errores humanos y la incidencia nociva de la luz ambiente entre mediciones sucesivas.

Un aspecto que puede mejorarse es la practicidad a la hora de ubicar los sensores en la pantalla. Inicialmente se pretendió utilizar imanes debajo del soporte de cada sensor para adherirlos a una pantalla metálica, logrando así reubicar rápidamente cada sensor. Lamentablemente el ALS BH1750 se ve afectado por campos magnéticos cercanos, lo que obligó a utilizar un método de fijación algo más incómodo utilizando tornillos y tuercas. Otra característica indeseable es la cantidad de cables conectores que hay entre la placa de control principal y la pantalla. La intención inicial era que un único bus de comunicación enlace a todos los sensores, simplificando considerablemente la tarea de conexión y la complejidad del diseño eléctrico de la placa principal.

A pesar de estos inconvenientes, se logró crear un producto único en el mercado nacional, de fácil utilización, económico y con buenas prestaciones, en comparación con el sistema competidor más cercano compuesto por un costoso y complejo goniómetro de precisión y un único sensor como el utilizado en la unión europea para realizar la certificación de faros vehiculares. Este motivo en particular, sumado a un precio de venta muy accesible, hace que el sistema presentado en este Proyecto Final sea una alternativa muy atractiva para el estudio y análisis de fuentes luminosas en laboratorios o empresas relacionadas al sector.

Sin duda alguna este equipo admite numerosas mejoras, ya sea con realización de una pantalla de sección esférica, el agregado de nuevos patrones de medición, la posibilidad de modificar otros tipos de parámetros, la posibilidad de supervisar el ensayo a través de la red en relevamientos extensos, etc.

## Capítulo 7: Bibliografía

COOPER, W. D., & HELFRICK, A. D. (s.f.). *INSTRUMENTACION ELECTRONICA MODERNA Y TECNICAS DE MEDICION*. ISBN: 9789688802366: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A.

HALLIDAY, D., & RESNICK, R. (2002). *FISICA (VOL. 2)*. ISBN: 9789702403265: S.L. (GRUPO PATRIA CULTURAL) ALAY EDICIONES.

SERWAY, & JEWETT. (2009). *FISICA PARA CIENCIAS E INGENIERIA VOL.I (7ª ED)*. ISBN: 9789706868220: S.A. EDICIONES PARANINFO.

TIPLER, P. A., & MOSCA, G. (2004). *FISICA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA (VOL. I)(5ª ED.)*. ISBN: 9788429144116: REVERTE.

