



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ILUMINACIÓN DE BAJO COSTE

Trabajo final del
**Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática.**

Realizado por
Dabauza Navarro, Carlos.

Tutorizado por
Rodríguez Ballester, Francisco.

FECHA: Valencia, 1 de septiembre de 2019

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Resumen de contenido.....	2
3.	Pliego de condiciones	3
4.	Solución propuesta.....	4
4.1.	Regulaciones de tensión:.....	5
4.2.	Sensores:.....	5
5.	Diseño electrónico	7
5.1.	Limitación y protección tensión de entrada Vin:	7
5.2.	Primera etapa de regulación: LM2596.....	8
5.2.1.	Selección de resistencias de regulación R1 y R2.....	8
5.2.2.	Selección de la bobina de choque:.....	8
5.2.3.	Selección del condensador de salida:	9
5.2.4.	Selección del diodo Schottky de recirculación:	10
5.2.5.	Condensador de entrada:.....	10
5.3.	Segunda etapa de regulación: LM1117 3V3	11
5.4.	Sensor de luminosidad BH1750FVI	12
5.4.1.	Esquema BH1750FVI	12
5.4.2.	Condensadores de entrada	12
5.4.3.	Selección de dirección para la comunicación I ² C.....	13
5.4.4.	Bus I2C; SDA, SCL	14
5.4.5.	Pin DVI.....	14
5.4.6.	Prueba luxes máximos y mínimos medidos	14
5.5.	Sensor de movimiento RE200B + BISS0001	15
5.5.1.	Esquemas	15
5.5.2.	Tiempo en estado alto.....	16
5.5.3.	Tiempo de reposo (inactividad)	16
5.5.4.	Sensor RE 200B	17
5.6.	Microcontrolador STM32L476RG.....	17
5.6.1.	Esquema conexionado alimentación	17
5.6.2.	Esquema conexionado señales	19
5.7.	Par Darlington TIP120.....	20
5.8.	Placa circuito impreso	20
6.	Componentes y presupuesto.	21

6.1.	Presupuesto sin descuento para partidas pequeñas:	22
6.2.	Presupuesto con el 50% de descuento para partidas grandes.	23
6.3.	Coste maquinaria.....	25
7.	Tiempo amortización maquinaria	26
8.	Archivo Pick and Place.....	27
9.	Mejoras	30
10.	Resultados.....	31
11.	Alternativas.....	33
12.	Conclusiones	34
13.	Bibliografía y referencias.....	35
14.	Anexos.....	36



1. Introducción

Mediante el presente proyecto se pretende desarrollar el sistema electrónico de control automático de las luminarias instaladas en la ciudad de Valencia, en la cual se estima que existen cerca de 100.000 instaladas en la capital.

El sistema pretende regular de forma automática la iluminación de la ciudad, no solo en el sentido de encendido/apagado, si no también en ejercer las acciones de control pertinentes sobre cada luminaria instalada haciendo que de esta forma cada una sea capaz de lucir con la intensidad necesaria acorde en la zona en la que está ubicada. Así como entrar en modo de bajo consumo cuando no circule nadie por la vía pública.

Es por ello que gracias al sensor de movimiento y al de luminosidad incorporado en cada placa, cada una de las luminarias es capaz de responder independientemente del resto, con el ahorro energético que ello supone.

A fin de evitar grandes reformas, el módulo de control desarrollado en el presente proyecto se instalará en modo de montaje superficial sobre las luminarias ya instaladas en la ciudad.

2. Resumen de contenido

Mediante el diseño electrónico del presente proyecto se pretende automatizar el control de la iluminación de la ciudad de Valencia. Para ello las luminarias permanecerán en estado de reposo, luciendo con intensidad baja pero suficiente para mantener ligeramente iluminada la vía por la que se circula.

Mediante la detección de movimiento del sensor por infrarrojos¹ (PIR) incorporado, las luces se irán encendiendo automáticamente gracias al paso de viandantes (o vehículos si fuera el caso).

Gracias al sensor de luminosidad BH1750FVI² incorporado en la placa, las luces se regularán automáticamente, de forma que el brillo de las mismas se ajustara a las condiciones lumínicas del ambiente. Este hecho repercute en un ahorro considerable en el consumo energético, el cual será detallado en el **apartado 8** del presente documento, ya que gracias a ello el funcionamiento de las luminarias no es en estado TODO/NADA. Si no que dependerá de las condiciones del entorno. Hecho que es más que favorable en condiciones en las que la iluminación ambiente no es suficiente, pero sin llegar a ser nula, como pueda ser el caso de los amaneceres/atardeceres.

La regulación de tensión se ha dividido en dos etapas para optimizar las pérdidas en la regulación de la tensión de alimentación.

En la primera etapa se ha empleado una fuente reguladora de tensión conmutada LM2596³ pasando de los 40V máximos de tensión de alimentación a 12V, de esta forma se optimiza aún más el consumo de la circuitería electrónica, ya que se reducen las pérdidas en la primera etapa de conversión de la tensión de alimentación de la circuitería electrónica.

En lo referente a la segunda etapa, se ha empleado un regulador lineal LM1117⁴ 3V3, en esta etapa se ha empleado dicho regulador a pesar de las posibles pérdidas en la adaptación de tensiones, ya que el consumo de energía de la electrónica es mínimo, y por consiguiente las pérdidas producidas por calor en la transformación de tensiones también lo serán.

En lo que respecta al microcontrolador empleado, se ha optado por un ARM Cortex-M3 de 32 bits y frecuencia de hasta 72Mhz. El microcontrolador en cuestión es el SMT32F103CB de ST.

Gracias a la implementación del presente sistema, se pretende obtener un ahorro energético estimado del 50% en zonas con un tránsito medio, y del 75-80% en zonas con un tránsito reducido.

El software específico empleado para el desarrollo electrónico del presente proyecto es el Circuit Studio desarrollado por el popular Altium, el cual incluye gran parte de las funcionalidades de su hermano mayor Altium.

¹ BISS0001.

² BH1750FVI.

³ LM2596.

⁴ LM1117 3V3.

3. Pliego de condiciones

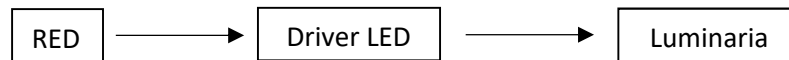
El sistema a desarrollar debe de cumplir y ajustarse a las siguientes especificaciones:

- La tensión a controlar de las luminarias puede variar ente 5 y 40V dependiendo del modelo de luminaria.
- La corriente máxima a manejar por la electrónica será constante para todos los modelos de luminaria, independientemente de la tensión de alimentación de las mismas. La cual queda fijada en 600mA debido a que esta es la corriente de funcionamiento de las lámparas instaladas en las luminarias de la ciudad.
- La placa electrónica debe tener unas dimensiones máximas de 80x60mm, ya que la superficie que libre en las luminarias para la instalación de la placa es de 120x100mm y en este espacio se deben de alojar también los prensaestopas pertinentes para asegurar la correcta estanqueidad de la caja que alojará toda la electrónica.
- El sistema deberá de disponer un sensor de movimiento para activar la luminaria en caso de detección de movimiento.
- Además, se incorporará un sensor de luminosidad para la regulación automática de la intensidad con la que lucirá la luminaria.
- El puerto de programación del microcontrolador debe estar accesible para poder actualizar la placa con un nuevo firmware en caso de ser necesario.
- Se debe disponer de un botón de reset para reiniciar el sistema.

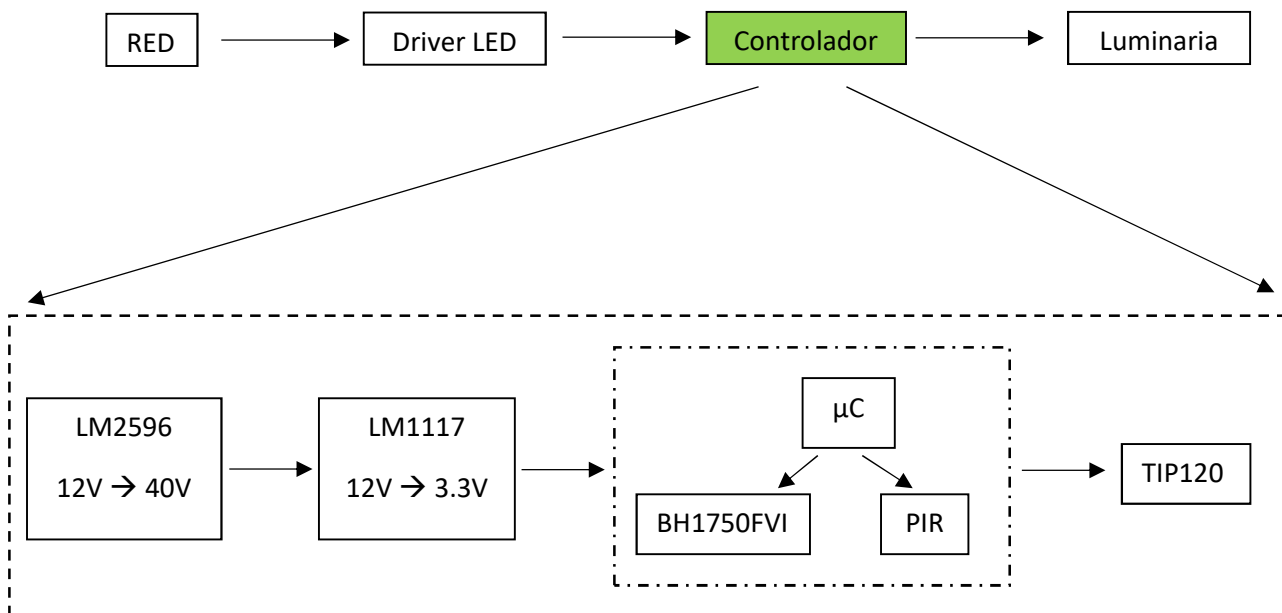
4. Solución propuesta

El presente diseño electrónico está considerado para ser intercalado entre el driver led que incorporan la gran mayoría de luminarias. Siendo el diagrama correspondiente a la solución propuesta el siguiente:

- **Montaje convencional:**



- **Montaje con el controlador automático:**



De esta forma se minimiza al máximo las reformas necesarias para implementar el presente sistema de control en las luminarias ya instaladas. Con la salvedad de intercalar el controlador entre el driver y la luminaria.

Para el desarrollo electrónico del presente sistema se desarrollará la placa electrónica con unas dimensiones de 73.5x55.5mm. La cual dispondrá de tornillos de fijación de M3 a la envolvente que la alojará.

La parte de potencia, la cual engloba a los reguladores de tensión, y el control de la alimentación de las luminarias quedarán dispuestas en la periferia de la placa, lo más alejadas posible de los circuitos de control de los sensores, así como del microcontrolador. A fin de evitar las posibles interferencias electromagnéticas producidas por las conmutaciones de la fuente conmutada, así como las generadas por el control PWM de la luminaria.

4.1. Regulaciones de tensión:

En la primera etapa de regulación de tensión se pasa de los 40Vcc máximos de entrada a 12Vcc a través de la fuente conmutada realizada gracias al LM2596. Para implementar dicha fuente se precisa de una bobina de choque, la cual entregará la energía necesaria a la salida de la misma para obtener los 12Vcc en continua, gracias al condensador dispuesto para la disminución del rizado de la tensión de salida.

El condensador dispuesto a la entrada de la fuente conmutada asegura un suministro de energía constante a la misma en caso de producirse microcortes en la alimentación.

Cabe destacar que se han dispuesto condensadores de desacoplo a la entrada y salida de la fuente, a fin de evitar transmitir al sistema posibles interferencias presentes en la alimentación.

En la segunda etapa de regulación se ha implementado un regulador lineal LM1117 de 3V3, este será el encargado de alimentar los sensores, así como al microcontrolador. Este mismo también dispone a su entrada y salida condensadores para mantener las tensiones estables en caso de microcortes de alimentación, así como condensadores de desacoplo para minimizar los posibles ruidos en la alimentación.

4.2. Sensores:

Para el sensor de luminosidad se ha optado por el BH1750FVI, el cual proporciona lecturas de 0.5lx, 1lx y 4lx según la configuración elegida por software. Dado que el sistema no requiere una precisión excesiva se ha optado por unas lecturas en baja resolución de 4lx, la cual se puede realizar cada 16ms. Esto se traduce en una respuesta más rápida en la regulación de la luminosidad y menor consumo, a fin de ajustarse en tiempo real a posibles cambios bruscos de la luminosidad ambiente, y de esta forma mantener una luminosidad resultante constante a pie de vía.

El citado sensor de luminosidad se comunica con el micro mediante I²C, protocolo que será descrito más adelante.

En lo que respecta al sensor de presencia, está basado en tecnología infrarroja. El mismo se ha ajustado en un rango de distancia de detección máximo, con el fin de activar lo antes posible la señal de salida correspondiente al detectar el movimiento en sus inmediaciones. Además, ha sido calibrado mediante hardware para obtener una respuesta de salida de un pulso en estado alto en el momento de detección de 0.7s, y 0.3s en estado en reposo, dadas las limitaciones físicas del sensor, ya que el mismo trabaja a una frecuencia máxima de 1Hz. Estas medidas se han comprobado mediante osciloscopio para verificar el funcionamiento del mismo, dichas formas de onda se podrán observar en el **apartado 5.5**.

La placa que aloja toda la electrónica ha sido desarrollada a dos caras, mediante material FR-4, siguiendo las especificaciones técnicas facilitadas por el fabricante, las cuales se detallarán en el **apartado 5.8**.

Cabe destacar que uno de los principales fallos en las circuiterías electrónicas son las conexiones a masa de los distintos elementos que la componen. Es por ello que se ha reforzado al máximo dichas conexiones.



Así mismo, también se han dispuesto planos de cobre con tamaño suficiente en los dispositivos susceptibles de producir más calor, a fin de facilitar la evacuación del mismo a través del cobre presente en la placa sin la necesidad de implementar radiadores externos.

Por otro lado, en la placa se han identificado claramente las bornas de entrada y salida con sus polaridades. Así como la tensión de alimentación máxima.

Como puntualización importante, se ha contemplado la posibilidad de que exista la necesidad de implementar los sensores en otro punto alejado de la placa, es por ello que se han dejado disponibles pines específicos para poder realizar esta operación en caso de que fuera necesario. Ello conllevaría que en la propia placa no sería necesario implementar toda la circuitería referente a los sensores.

Otra consideración a tener en cuenta es que estos mismos pines, pueden ser empleados para conectar las placas de los sensores a la placa madre, en lugar de incluirlos en la misma. Esto haría un diseño modular, el cual se adapta mejor según las demandas del cliente, o los precios de mercado debido a los costes de producción.

5. Diseño electrónico

5.1. Limitación y protección tensión de entrada Vin:

Para proteger el sistema electrónico contra posibles subidas de tensión debido a transitorios, se ha dispuesto a la entrada de alimentación un Transil de 40V⁵, quedando de esta forma limitada como mucho la tensión de entrada a la fijada por el transil.

Tabla 5.1 – Selección Transil

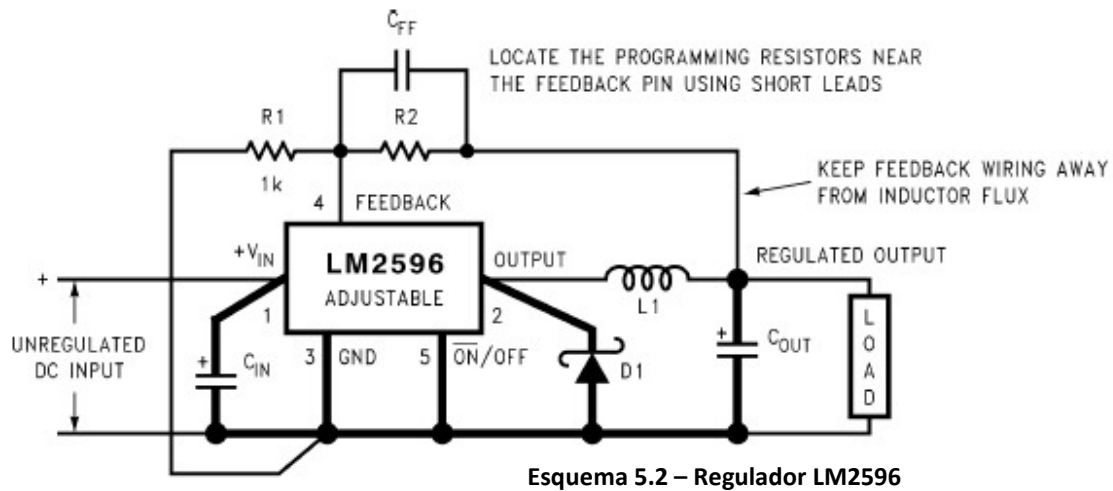


Electrical Characteristics (T _a =25°C unless otherwise noted)											
Part Number (Uni)	Part Number (Bi)	Marking		Reverse Stand off Voltage V _R (Volts)	Breakdown Voltage V _{BR} (Volts) @ I _T		Test Current I _T (mA)	Maximum Clamping Voltage V _C @ I _{PP} (V)	Maximum Peak Pulse Current I _{PP} (A)	Maximum Reverse Leakage I _R @ V _R (µA)	Agency Approval
		UNI	BI		MIN	MAX					
SMBJ5.0A	SMBJ5.0CA	KE	AE	5.0	6.40	7.00	10	9.2	65.3	800	X
SMBJ6.0A	SMBJ6.0CA	KG	AG	6.0	6.67	7.37	10	10.3	58.3	800	X
SMBJ6.5A	SMBJ6.5CA	KK	AK	6.5	7.22	7.98	10	11.2	53.6	500	X
SMBJ7.0A	SMBJ7.0CA	KM	AM	7.0	7.78	8.60	10	12.0	50.0	200	X
SMBJ7.5A	SMBJ7.5CA	KP	AP	7.5	8.33	9.21	1	12.9	46.6	100	X
SMBJ8.0A	SMBJ8.0CA	KR	AR	8.0	8.89	9.83	1	13.6	44.2	50	X
SMBJ8.5A	SMBJ8.5CA	KT	AT	8.5	9.44	10.40	1	14.4	41.7	20	X
SMBJ9.0A	SMBJ9.0CA	KV	AV	9.0	10.00	11.10	1	15.4	39.0	10	X
SMBJ10A	SMBJ10CA	KX	AX	10.0	11.10	12.30	1	17.0	35.3	5	X
SMBJ11A	SMBJ11CA	KZ	AZ	11.0	12.20	13.50	1	18.2	33.0	1	X
SMBJ12A	SMBJ12CA	LE	BE	12.0	13.30	14.70	1	19.9	30.2	1	X
SMBJ13A	SMBJ13CA	LG	BG	13.0	14.40	15.90	1	21.5	28.0	1	X
SMBJ14A	SMBJ14CA	LK	BK	14.0	15.60	17.20	1	23.2	25.9	1	X
SMBJ15A	SMBJ15CA	LM	BM	15.0	16.70	18.50	1	24.4	24.6	1	X
SMBJ16A	SMBJ16CA	LP	BP	16.0	17.80	19.70	1	26.0	23.1	1	X
SMBJ17A	SMBJ17CA	LR	BR	17.0	18.90	20.90	1	27.6	21.8	1	X
SMBJ18A	SMBJ18CA	LT	BT	18.0	20.00	22.10	1	29.2	20.6	1	X
SMBJ20A	SMBJ20CA	LV	BV	20.0	22.20	24.50	1	32.4	18.6	1	X
SMBJ22A	SMBJ22CA	LX	BX	22.0	24.40	26.90	1	36.5	16.9	1	X
SMBJ24A	SMBJ24CA	LZ	BZ	24.0	26.70	29.50	1	38.9	15.5	1	X
SMBJ26A	SMBJ26CA	ME	CE	26.0	28.90	31.90	1	42.1	14.3	1	X
SMBJ28A	SMBJ28CA	MG	CG	28.0	31.10	34.40	1	45.4	13.3	1	X
SMBJ30A	SMBJ30CA	MK	CK	30.0	33.30	36.80	1	48.4	12.4	1	X
SMBJ33A	SMBJ33CA	MM	CM	33.0	36.70	40.60	1	53.3	11.3	1	X
SMBJ36A	SMBJ36CA	MP	CP	36.0	40.00	44.30	1	58.1	10.4	1	X
SMBJ40A	SMBJ40CA	MR	CR	40.0	44.40	49.10	1	64.5	9.3	1	X
SMBJ45A	SMBJ45CA	MV	CV	45.0	49.60	55.30	1	72.7	8.3	1	X
SMBJ48A	SMBJ48CA	MX	CX	48.0	53.30	58.90	1	77.4	7.6	1	X

⁵ Página 45 - Catalogo Littelfuse

5.2. Primera etapa de regulación: LM2596

En el **esquema 5.2** se aprecia el conexionado de los distintos elementos que componen la primera etapa de regulación.



NOTA: Cálculo de componentes siguiendo el procedimiento del apartado 9.2.2 del datasheet

5.2.1. Selección de resistencias de regulación R1 y R2

Usando la **ecuación 5.2.1**:

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Donde:

- $V_{ref} = 1.23V$.
- $V_{out} = 12V$.
- Fijando R1 a 1K.

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1\right) = 1K \cdot \left(\frac{12V}{1.23V} - 1\right) = 8.76K$$

Se ajusta el valor de R2 al valor comercial de 8.87K, obteniendo así una tensión de salida de 12.14V, la cual se considera como aceptable.

5.2.2. Selección de la bobina de choque:

Para la selección de la bobina mediante la gráfica incluida en el datasheet del regulador, se debe de calcular la constante E·T.

$$E \cdot T = (V_{in} - V_{out} - V_{sat}) \cdot \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} - V_{sat} + V_D} \cdot \frac{1000}{150kHz} [V \cdot \mu s]$$

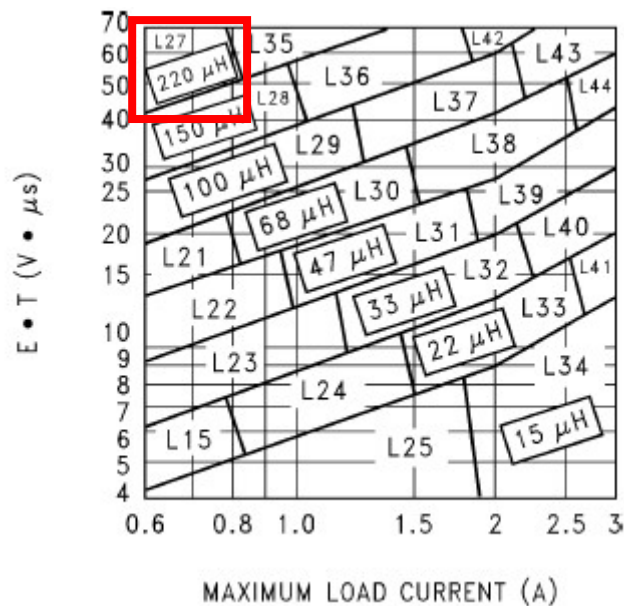
Siendo:

- $V_{sat} = 1.16V$
- $V_D = 0.5V$

$$E \cdot T = (40 - 12 - 1.16) \cdot \frac{12 + 0.5}{40 - 1.16 + 0.5} \cdot \frac{1000}{150kHz} [V \cdot \mu s]$$

$$E \cdot T = 56.85 [V \cdot \mu s]$$

Usando la **gráfica 5.2.2**, y para una corriente de salida de 600mA, se obtiene una bobina de choque correspondiente al código L27 de 220 μ H:



Gráfica 5.2.2 – Selección bobina de choque

5.2.3. Selección del condensador de salida:

A fin de simplificar los cálculos, viendo la **tabla 5.2.3** extraída del datasheet, para 12V de salida se obtiene un condensador de salida de 330 μ F/25V en tecnología TH:

Tabla 5.2.3 – Selección condensador de salida

Table 6. Output Capacitor and Feedforward Capacitor Selection Table

OUTPUT VOLTAGE (V)	THROUGH-HOLE OUTPUT CAPACITOR			SURFACE-MOUNT OUTPUT CAPACITOR		
	PANASONIC HFQ SERIES ($\mu\text{F/V}$)	NICHICON PL SERIES ($\mu\text{F/V}$)	FEEDFORWARD CAPACITOR	AVX TPS SERIES ($\mu\text{F/V}$)	SPRAGUE 595D SERIES ($\mu\text{F/V}$)	FEEDFORWARD CAPACITOR
2	820/35	820/35	33 nF	330/6.3	470/4	33 nF
4	560/35	470/35	10 nF	330/6.3	390/6.3	10 nF
6	470/25	470/25	3.3 nF	220/10	330/10	3.3 nF
9	330/25	330/25	1.5 nF	100/16	180/16	1.5 nF
12	330/25	330/25	1 nF	100/16	180/16	1 nF
15	220/35	220/35	680 pF	68/20	120/20	680 pF
24	220/35	150/35	560 pF	33/25	33/25	220 pF
28	100/50	100/50	390 pF	10/35	15/50	220 pF

5.2.4. Selección del diodo Schottky de recirculación:

Teniendo en cuenta de sobre dimensionar el diodo mínimo 1.3 veces, y según la **tabla 5.2.4**, se obtiene:

Tabla 5.2.3 – Selección diodo Schottky

Table 4. Diode Selection Table

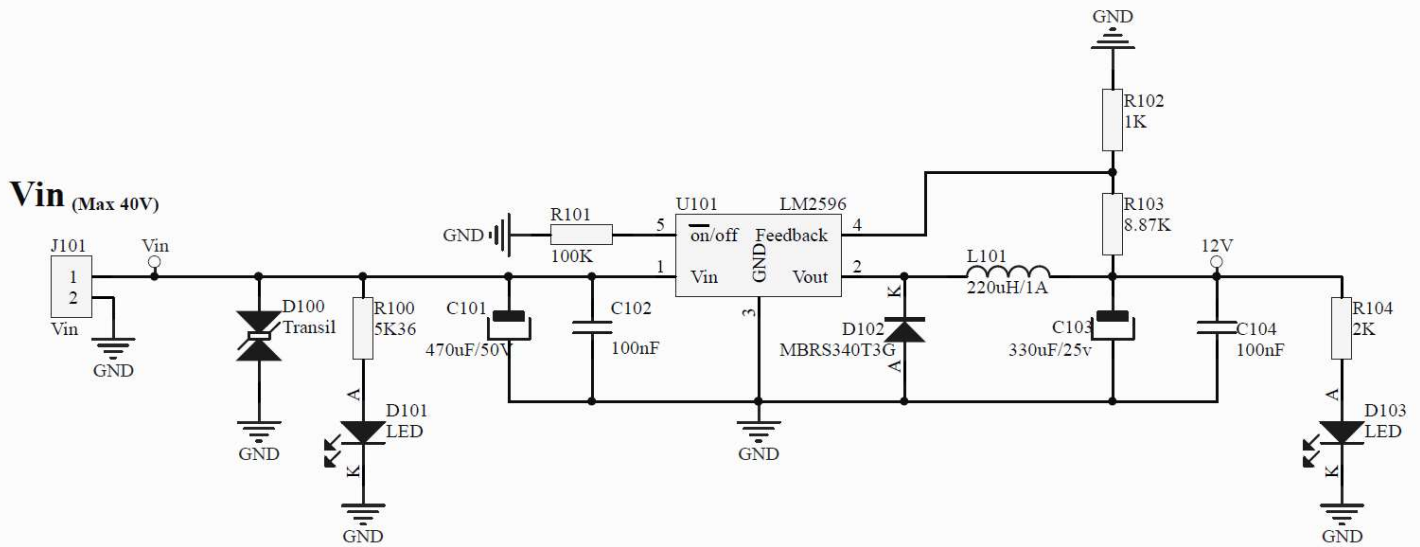
VR	3-A DIODES				4-A TO 6-A DIODES			
	SURFACE-MOUNT		THROUGH-HOLE		SURFACE-MOUNT		THROUGH-HOLE	
	SCHOTTKY	ULTRA FAST RECOVERY	SCHOTTKY	ULTRA FAST RECOVERY	SCHOTTKY	ULTRA FAST RECOVERY	SCHOTTKY	ULTRA FAST RECOVERY
20 V	SK32	All of these diodes are rated to at least 50V.	1N5820	All of these diodes are rated to at least 50V.		All of these diodes are rated to at least 50V.	SR502	All of these diodes are rated to at least 50V.
			SR302				1N5823	
			MBR320				SB520	
30 V	30WQ03	All of these diodes are rated to at least 50V.	1N5821	All of these diodes are rated to at least 50V.		All of these diodes are rated to at least 50V.		All of these diodes are rated to at least 50V.
	SK33		MBR330		50WQ03		SR503	
			31DQ03				1N5824	
40 V	SK34	All of these diodes are rated to at least 50V.	SR304	All of these diodes are rated to at least 50V.	50WQ04	All of these diodes are rated to at least 50V.	SR504	All of these diodes are rated to at least 50V.
	MBRS340		MBR340				1N5825	
	30WQ04		MURS320		31DQ04		MUR320	
50 V	SK35	30WF10	SR305		50WQ05	50WF10		HER601
or	MBRS360		MBR350		50WQ05		SB550	
More	30WQ05		31DQ05				50SQ080	

5.2.5. Condensador de entrada:

El condensador de entrada debe de ser de baja ESR y recomendable 1.2 veces la tensión de entrada.

Es por ello que se opta por un condensador de 470uF/50V.

Para verificar de forma visual que se obtienen tensiones a la entrada y salida de la primera etapa de regulación, se han dispuesto de un led en cada una de ellas. Resultando el **esquema 5.2.5**.



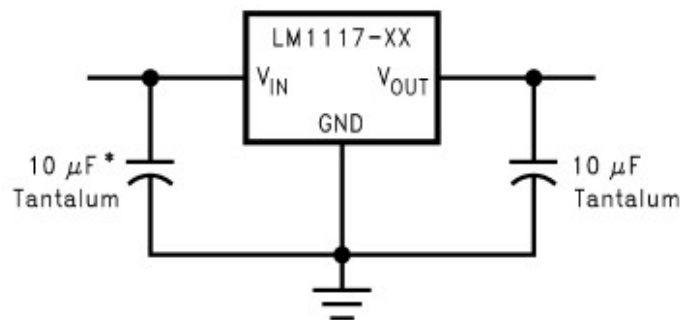
Esquema 5.2.5 – Montaje LM2596

Procedimiento de cálculo, gráficas y esquemas extraídos del datasheet del LM2596⁽⁴⁾ de TI.

5.3. Segunda etapa de regulación: LM1117 3V3

Para la segunda etapa de regulación, debido al bajo consumo de los componentes electrónicos, se opta por un regulador lineal LM1117 con tensión fija de 3.3V ya que las pérdidas producidas por calor en la conversión de las tensiones es mínima.

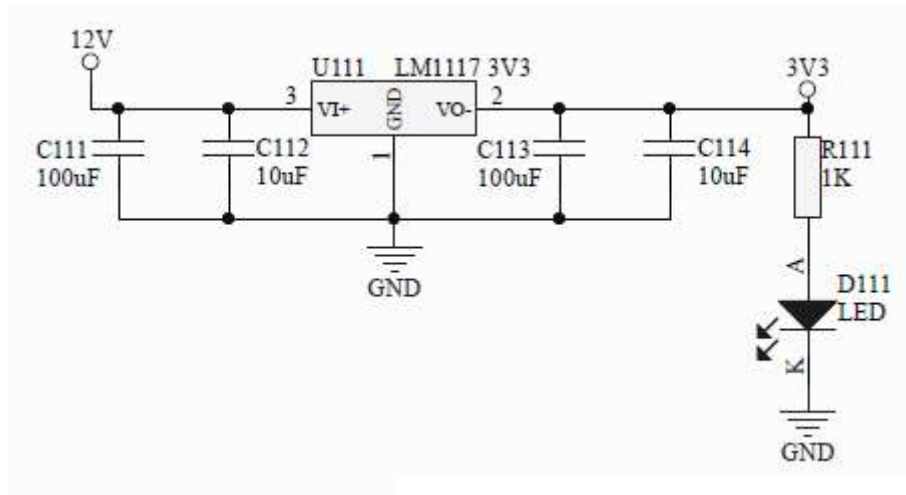
Viendo el datasheet del mismo en su apartado 8.3 (figura 16), se obtiene el esquema de conexionado del regulador para una tensión fija (**imagen 5.3**).



* Required if the regulator is located far from the power supply filter.

Imagen 5.3 – Regulador LM1117 3V3

Cabe destacar que además de los condensadores de desacoplo del regulador, también se han añadido a la entrada y salida, unos condensadores de 100uF para evitar los posibles problemas derivados de los microcortes producidos en la tensión de alimentación. Quedando **esquema 5.3**.



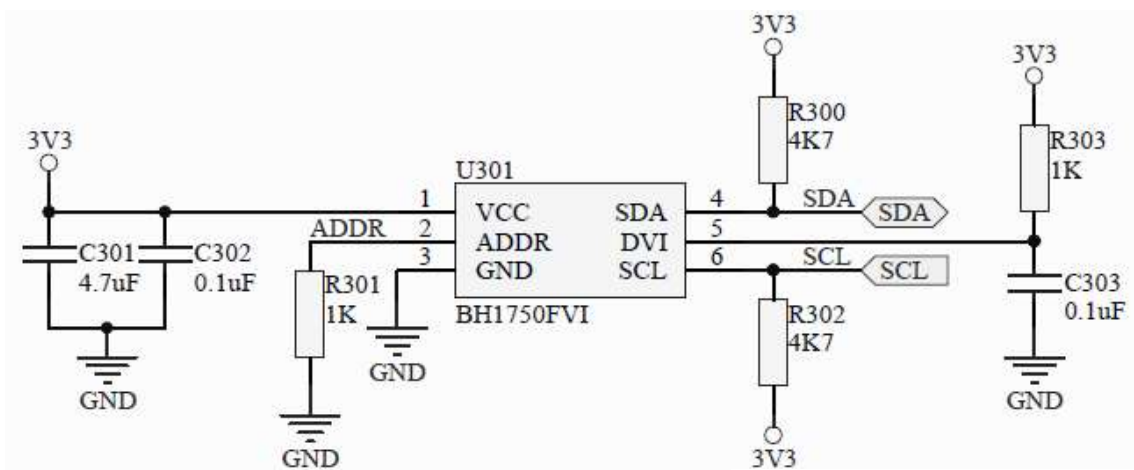
Esquema 5.3 – Esquema resultante LM1117 3V3

Procedimiento de cálculo, gráficas y esquemas extraídos del datasheet del LM1117 3V3⁽⁵⁾ de TI.

5.4. Sensor de luminosidad BH1750FVI

El presente sensor se comunica con el micro a través del protocolo I²C, es por ello que el diseño del mismo es bastante sencillo, únicamente se deben de tener en cuenta unas pequeñas consideraciones descritas a continuación.

5.4.1. Esquema BH1750FVI



Esquema 5.4.1 – Diseño BH1750FVI

5.4.2. Condensadores de entrada

Como en los casos anteriores se disponen en la alimentación del sensor un paralelo de condensadores, uno de 0.1μF para el desacoplo de las posibles interferencias producidas en la tensión de alimentación. Y otro de 4.7μF para mantener estable la tensión de alimentación del

sensor en caso de producirse microcortes o caídas de tensión momentáneas en la alimentación del sensor.

5.4.3. Selección de dirección para la comunicación I²C

En primer lugar, mencionar brevemente el protocolo I²C ya que no es objeto del presente proyecto profundizar en el mismo:

Fue desarrollado en 1982 por Phillips y es ampliamente usado en la comunicación entre distintos puntos de las placas de circuito impreso. Es una comunicación rápida, pensada para distancias cortas.

El bus únicamente esta formado por dos conductores, con lo cual el cableado es mínimo, uno de estos conductores es el encargado de transmitir la señal de reloj del maestro (SCL), mientras el otro es bidireccional y empleado para la transmisión de datos maestro/esclavos (SDA).

Los esclavos únicamente responden a través del bus a las peticiones del maestro.

Cada uno de los dispositivos del bus tiene una dirección única bajo la cual responde a las peticiones.

Dicho esto, en este sensor resulta interesante el poder seleccionar la dirección de sensor para el protocolo I²C. Las configuraciones para el pin ADDR extraídas del datasheet del fabricante son las siguientes

- ADDR = 'H' (ADDR \geq 0.7Vcc) \rightarrow 1011100 = 0x2C
- ADDR = 'L' (ADDR \leq 0.7Vcc) \rightarrow 0100011 = 0x23

En el este caso se ha optado por la configuración de ADDR = L conectando dicho pin a masa a través de una resistencia de 1K para evitar posibles daños en el sensor y/o otros componentes en caso de producirse un cortocircuito en algún punto de la placa. Tal y como se observa en la imagen 4.4.3 obtenida con osciloscopio, se observa que la dirección es la correcta.

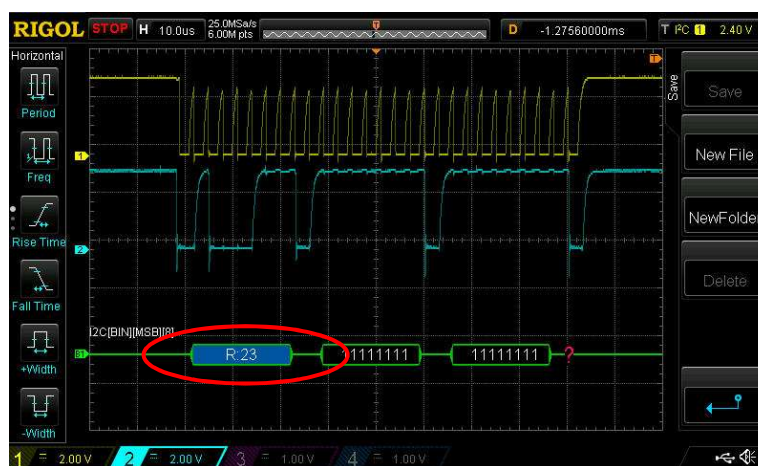


Imagen 5.4.3 – Dirección I²C

5.4.4. Bus I2C; SDA, SCL

Los pines del bus I2C han sido conectados a 3V3 a través de unas resistencias Pull-Up de 4.7KΩ.

Esta configuración de las resistencias esta sacada del manual de uso y configuración de dicho protocolo.

5.4.5. Pin DVI

Este pin es empleado para resetear los registros internos del microcontrolador. En este caso se ha optado por un reseteo cada vez que se conecta la alimentación de la placa a través de filtro pasa bajos.

5.4.6. Prueba luxes máximos y mínimos medidos

Mediante el decodificador I²C que incorpora el osciloscopio Rigol DS1104Z se pretende analizar la trama enviada por el sensor de luminosidad en los dos extremos de su rango de medida, completamente a oscuras y en saturación por exceso de luminosidad ambiente.

En la **imagen 5.4.6** se observa como estando el sensor de luminosidad en oscuridad absoluta da una lectura de 0 luxes.

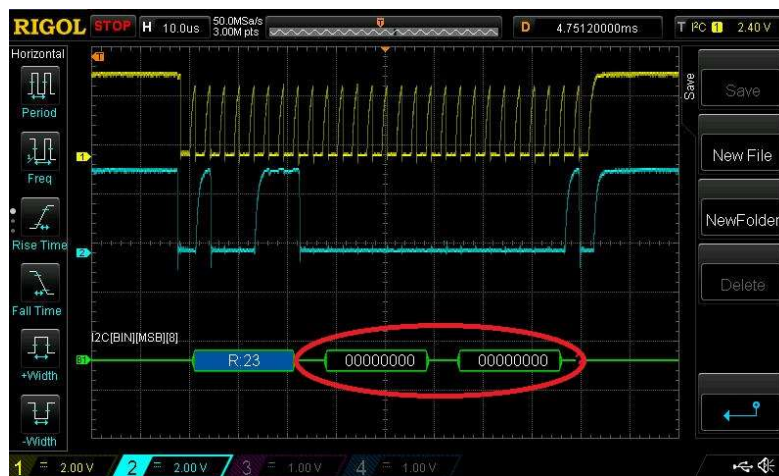


Imagen 5.4.6 – Luxes en oscuridad

En la **imagen 5.4.7** se observa como estando el sensor de luminosidad saturación lumínica, correspondiente a 65535 lux.

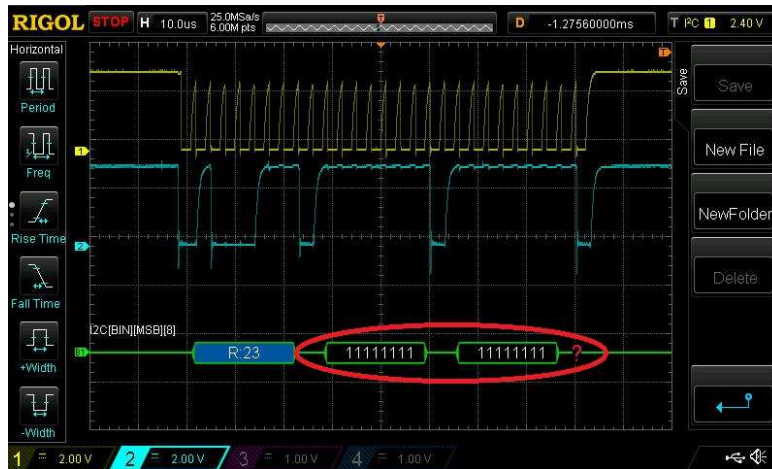
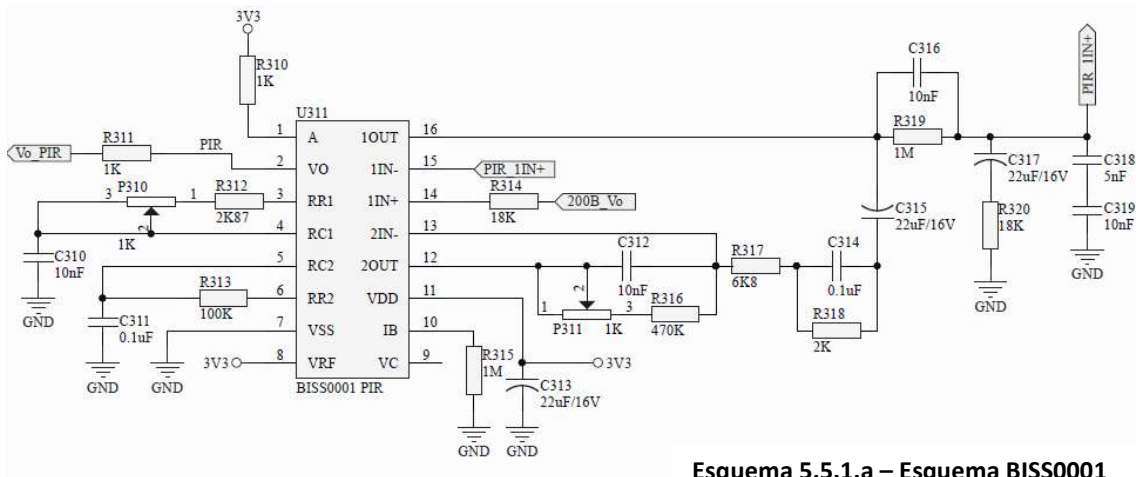


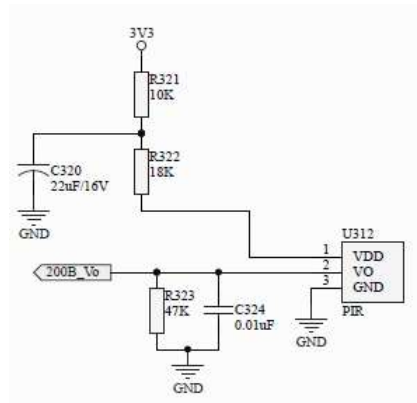
Imagen 5.4.7 – Saturación lumínica

5.5. Sensor de movimiento RE200B + BISS0001

5.5.1. Esquemas



Esquema 5.5.1.a – Esquema BISS0001



Esquema 5.5.1.b – Sensor PIR

El esquema de conexionado ha sido extraído del datasheet del BISS0001, mediante el cual y con las modificaciones pertinentes se ha obtenido el conexionado necesario para el proyecto que se describe. Los puntos a destacar son los siguientes:

5.5.2. Tiempo en estado alto

Tiempo en el que permanecerá en estado alto la señal después de haber detectado movimiento. Este tiempo viene determinado por la resistencia R312 y el condensador C310.

En el caso que nos ocupa, ha sido configurado de tal forma que se obtiene una tensión de salida a estado alto de 0.7 segundos a partir de la expresión siguiente obtenida del datasheet.

$$T_x = 24576 \cdot R_{312} \cdot C_6 = 24576 \cdot 2.87k\Omega \cdot 10nF = 0.705s$$

5.5.3. Tiempo de reposo (inactividad)

Este tiempo determina el tiempo entre disparos del sensor, es necesario establecer un tiempo superior a 200ms para que el sensor se estabilice entre disparos.

Es por ello que se ha establecido un tiempo de 0.24s

Este tiempo se determina a través de las resistencias R313 y el condensador C311 a través de la expresión siguiente obtenida del datasheet.

$$T_i = 24 \cdot R_{313} \cdot C_{311} = 24 \cdot 1M\Omega \cdot 10nF = 0.24s$$

La **imagen 5.5.3** obtenida con el osciloscopio ilustra los dos puntos anteriores.

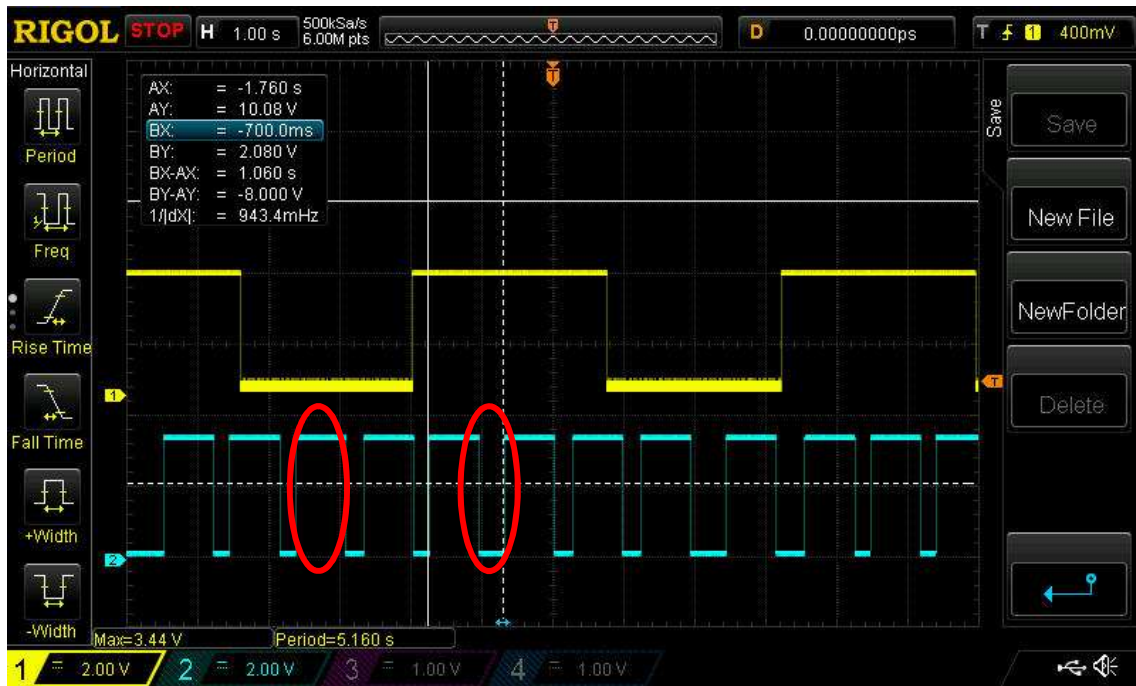


Imagen 5.5.3 – Respuesta del sensor

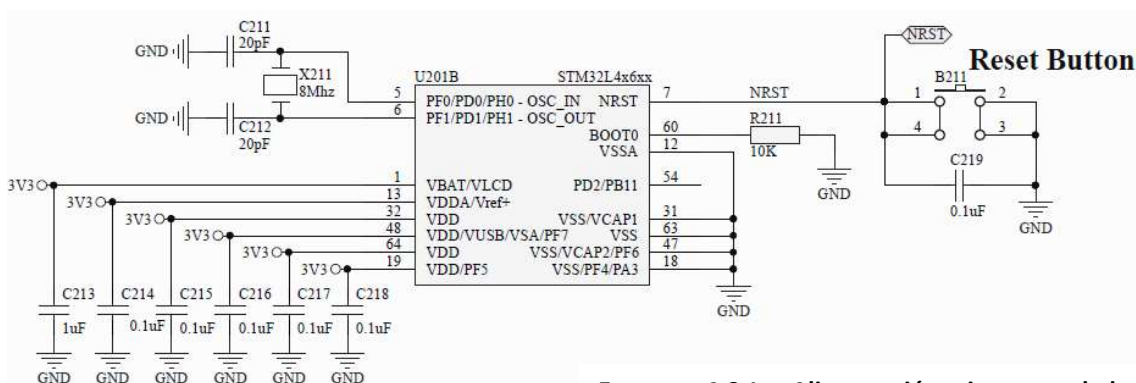
5.5.4. Sensor RE 200B

De la información del datasheet del sensor de movimiento por infrarrojos (PIR) RE200B⁽³⁾, se desprende que dicho sensor puede trabajar a una frecuencia mínima de 1Hz. Es por ello que los tiempos en estado alto y reposo se han establecido en los valores anteriores, para de esta forma asegurar el correcto funcionamiento del sensor.

5.6. Microcontrolador STM32L476RG

El microcontrolador elegido para el presente diseño es un ARM Cortex-M3 de última generación, el cual puede funcionar a una frecuencia máxima de 72Mhz y viene encapsulado en formato LQFP 48, con un tamaño de 7x7x1.4mm y una separación entre pines de 0.5mm.

5.6.1. Esquema conexionado alimentación



Esquema 4.6.1. – Alimentación microcontrolador



Del manual del micro se desprende que los pines de alimentación a 3V3 son los correspondientes a los pines 1, 13, 32, 48, 64 y 19 del micro. El pin 13 es el utilizado para la tensión de referencia de la conversión Analógica-Digital que incorpora el micro.

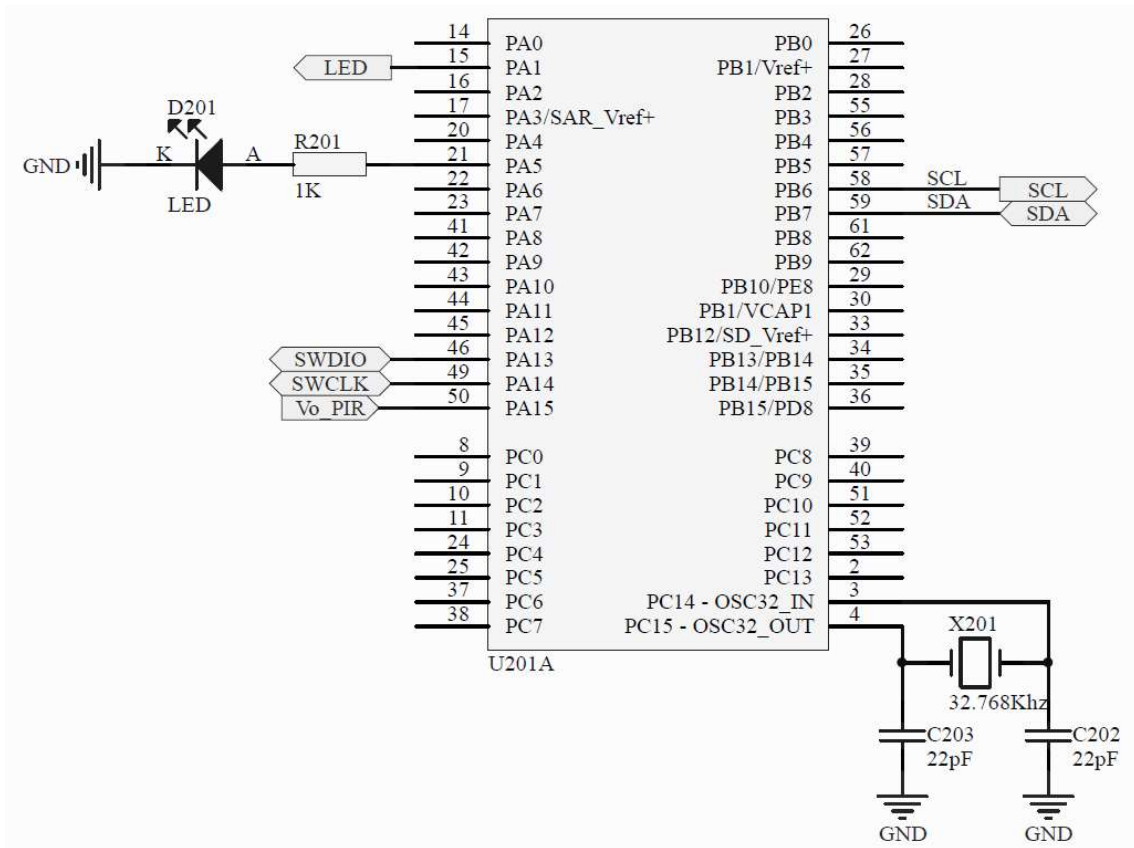
Cada uno de estos pines lleva incorporado un condensador de desacoplo para evitar posibles interferencias presentes en la alimentación y estabilizar dicha tensión. Todos estos condensadores son de 0.1 μ F, a excepción de C213 que es de 1 μ F.

En el pin 7 se conecta el botón de reset por si fuera necesario reiniciar el sistema, dicho botón lleva un incorporado un condensador en paralelo de 0.1 μ F ya que al ser el pulsador un elemento mecánico, de esta forma se evitan los rebotes en la señal producidos por el mismo.

El pin 60 está conectado a masa a través de una resistencia de 10k Ω para de esta forma cargar el programa propio almacenado en la memoria del micro a la hora de arranque del mismo.

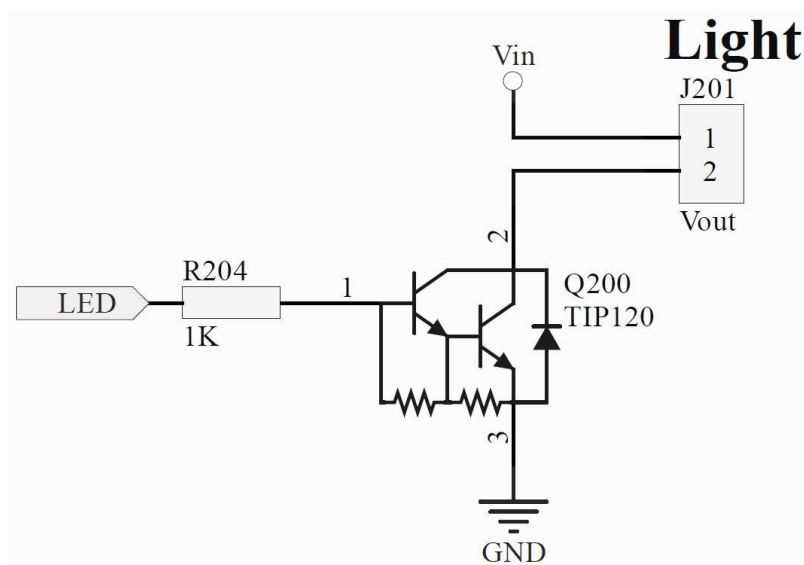
OPCIONAL: En los pines 5 y 6 en previsión, se ha dispuesto un cristal de cuarzo de alta frecuencia, por si fuera necesario emplearlo en alguna actualización del hardware/firmware.

5.6.2. Esquema conexionado señales



Esquema 5.6.2a. – Señales microcontrolador

- El pin 15 ha sido empleado para manejar el par Darlington que controla la señal PWM para el manejo de las luminarias, tal y como se ilustra en la imagen siguiente:



Esquema 5.6.2b. – TIP120

- En el pin 21 se dispone un LED para la comprobación del correcto funcionamiento del micro.
- Los pines 46 y 49 son los empleados para las señales SWDIO y SWCLK necesarias para la programación del micro, los cuales están dispuestos en el conector del puerto de programación presente en la placa.
- El pin 50 está configurado como entrada al micro, y en él se recoge la información transmitida por el sensor de movimiento.
- Los pines 58 y 59 pertenecen al bus I2C al cual está conectado el sensor de luminosidad.
- OPCIONAL: Los pines 3 y 4 hacen referencia al cristal de frecuencia de 32.768kHz, el cual se ha dejado en previsión por si hiciera falta en futuras actualizaciones.

5.7. Par Darlington TIP120

El elemento elegido para controlar la conmutación de las luminarias es el par Darlington TIP120⁽⁶⁾. El cual tiene las siguientes características:

- Tensión máxima colector -emisor (V_{CEmax}) = 60V
- Caída de tensión colector- emisor saturación (V_{CEsat}) = $2V_{cc}$; para $I_c = 3^a$
- Tiempo de recuperación para la corriente asignada de 0.6A = $0.6\mu s$. (Según gráfica siguiente).

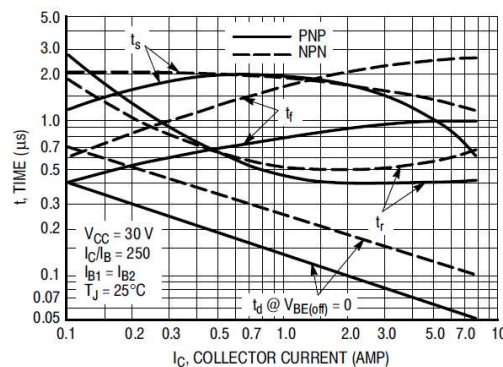


Figure 4. Switching Times

Gráfica 5.7. Tiempos de conmutación del TIP120

El conexionado del mismo en el circuito impreso y bornas queda descrito en la **imagen 5.5.2b**.

Datos y gráficas extraídos del datasheet del TIP120⁽⁴⁾.

5.8. Placa circuito impreso

Las características técnicas más importantes de la placa de circuito impreso a la hora de su diseño y fabricación han sido obtenidas de la página web del fabricante⁽⁹⁾, las cuales se resumen en la tabla de a continuación.

Tabla 5.8. Especificaciones técnicas fabricante PCB - PCBWAY

Descripción		Unidades
Numero de capas	2.00	
Separación mínima entre pistas	0.15	mm
Ancho mínimo pista	0.15	mm
Tamaño mínimo agujero	0.30	mm
Espesor cobre	1.00	oz
Grosor de la placa	1.60	mm
Material	FR-4	
Tamaño mínimo de caracteres	0.15	mm
Diámetro mínimo exterior vías	0.60	mm
Separación mínima entre centro de vías	0.25	mm
Separación mínima entre centro de agujeros	0.20	mm
Máscara	Blanca	

6. Componentes y presupuesto.

Para la elaboración del presupuesto se ha de tener en cuenta si el pedido es un número elevado o reducido de unidades. Ya que para pedidos elevados el precio por unidad se reduce considerablemente.

No obstante, primeramente y a efectos de cálculo se considerará el precio normal por unidad, posteriormente el precio por unidad con descuento, y para finalizar el precio para el montaje modular para partidas pequeñas.

El distribuidor elegido es TME⁽⁸⁾ ya que dispone de precios muy atractivos, así como plazos de entrega cortos y una gran variedad de stock.

Como distribuidores alternativos, aunque no tan económicos, en caso de no disponer de algún componente en TME, son DIGIKEY⁽¹⁰⁾ y MOUSER⁽¹¹⁾.

Los microcontroladores serán comprados directamente a ST⁽¹²⁾ ya que al venir directamente de fabrica supone un ahorro sustancial en el total de la producción.

Las placas serán encargadas a DIRTYPCB⁽⁹⁾, los cuales disponen de precios muy competitivos a pesar de que los plazos de entrega pueden ser extensos en función de la urgencia de la producción. Contra este inconveniente cabe destacar que se puede hacer el pedido en forma urgente, con un incremento sustancial del precio, pero aseguran la entrega en unas 72 - 96 horas. Además, ofrecen descuentos muy atractivos para compras de unidades elevadas, así como posibilidad de comprar las placas panelizadas para ahorrar tiempo en el montaje de los componentes SMD.

6.1. Presupuesto sin descuento para partidas pequeñas:

Tabla 6.1. Presupuesto 1

Ud	Código	Categoría	Valor	€/ud	€
1	R100	Resistencia	5K36	0,005	0,005
1	R101	Resistencia	100K	0,005	0,005
8	R102, R111, R201, R204, R301, R303, R310, R311	Resistencia	1K	0,005	0,040
1	R103	Resistencia	8.87K	0,005	0,005
2	R104, R318	Resistencia	2K	0,005	0,010
2	R211, R321	Resistencia	10K	0,005	0,010
2	R300, R302	Resistencia	4K7	0,005	0,010
1	R312	Resistencia	2K87	0,005	0,005
3	R313, R315, R319	Resistencia	1M	0,005	0,015
3	R314, R320, R322	Resistencia	18K	0,005	0,015
1	R316	Resistencia	470K	0,005	0,005
1	R317	Resistencia	6K8	0,005	0,005
1	R323	Resistencia	47K	0,005	0,005
1	C101	Condensador	470uF/50V	0,12	0,120
2	C102, C104	Condensador	100nF	0,12	0,240
1	C103	Condensador	330uF/25v	0,12	0,120
2	C111, C113	Condensador	100uF	0,12	0,240
2	C112, C114	Condensador	10uF	0,12	0,240
2	C202, C203	Condensador	22pF	0,12	0,240
2	C211, C212	Condensador	20pF	0,12	0,240
1	C213	Condensador	1uF	0,12	0,120
9	C214, C215, C216, C217, C218, C219, C302, C303, C314	Condensador	0.1uF	0,12	1,080
1	C301	Condensador	4.7uF	0,12	0,120
5	C310, C311, C312, C316, C319	Condensador	10nF	0,12	0,600
4	C313, C315, C317, C320	Condensador	22uF/16V	0,12	0,480
1	C318	Condensador	5nF	0,12	0,120
1	C324	Condensador	0.01uF	0,12	0,120
1	L101	Bobina	220uH/1A	0,33	0,330
1	D100	Diodo	Transil SMAJ40A	0,102	0,102
4	D101, D103, D111, D201	Diodo	LED	0,0495	0,198
1	D102	Diodo	MBRS340T3G	0,2358	0,236
1	Q200	Transistor	TIP120	0,289	0,289
2	P310, P311	Potenciómetro	1K	0,362	0,724
1	B211	Pulsador	PB	0,276	0,276
1	U101	Regulador	LM2596	1,72	1,720
1	U111	Regulador	LM1117 3V3	0,5	0,500
1	U201	Micro	STM32F103CBT6	2,35	2,350
1	U301	Sensor	BH1750FVI	0,82	0,820
1	U311	Driver	BISS0001 PIR	0,15	0,150
1	U312	Sensor	PIR	6,23	6,230
1	X201	Cristal	32.768Khz	0,57	0,570
1	X211	Cristal	8Mhz	0,63	0,630
1	J101	Borna	Vin	0,3	0,300
1	J200	Conector	PROG	0,3	0,300
1	J201	Borna	Vout	0,3	0,300
1	Placa FR-4 1,6mm	PCB	Placa	1,3	1,300
				TOTAL	21,540

6.2. Presupuesto con el 50% de descuento para partidas grandes.

Tabla 6.2. Presupuesto 2

Ud	Código	Categoría	Valor	€/ud	€
1	R100	Resistencia	5K36	0,005	0,005
1	R101	Resistencia	100K	0,005	0,005
8	R102, R111, R201, R204, R301, R303, R310, R311	Resistencia	1K	0,005	0,040
1	R103	Resistencia	8.87K	0,005	0,005
2	R104, R318	Resistencia	2K	0,005	0,010
2	R211, R321	Resistencia	10K	0,005	0,010
2	R300, R302	Resistencia	4K7	0,005	0,010
1	R312	Resistencia	2K87	0,005	0,005
3	R313, R315, R319	Resistencia	1M	0,005	0,015
3	R314, R320, R322	Resistencia	18K	0,005	0,015
1	R316	Resistencia	470K	0,005	0,005
1	R317	Resistencia	6K8	0,005	0,005
1	R323	Resistencia	47K	0,005	0,005
1	C101	Condensador	470uF/50V	0,12	0,120
2	C102, C104	Condensador	100nF	0,12	0,240
1	C103	Condensador	330uF/25v	0,12	0,120
2	C111, C113	Condensador	100uF	0,12	0,240
2	C112, C114	Condensador	10uF	0,12	0,240
2	C202, C203	Condensador	22pF	0,12	0,240
2	C211, C212	Condensador	20pF	0,12	0,240
1	C213	Condensador	1uF	0,12	0,120
9	C214, C215, C216, C217, C218, C219, C302, C303, C314	Condensador	0.1uF	0,12	1,080
1	C301	Condensador	4.7uF	0,12	0,120
5	C310, C311, C312, C316, C319	Condensador	10nF	0,12	0,600
4	C313, C315, C317, C320	Condensador	22uF/16V	0,12	0,480
1	C318	Condensador	5nF	0,12	0,120
1	C324	Condensador	0.01uF	0,12	0,120
1	L101	Bobina	220uH/1A	0,33	0,330
1	D100	Diodo	Transil SMAJ40A	0,102	0,102
4	D101, D103, D111, D201	Diodo	LED	0,0495	0,198
1	D102	Diodo	MBRS340T3G	0,2358	0,236
1	Q200	Transistor	TIP120	0,289	0,289
2	P310, P311	Potenciómetro	1K	0,362	0,724
1	B211	Pulsador	PB	0,276	0,276
1	U101	Regulador	LM2596	1,72	1,720
1	U111	Regulador	LM1117 3V3	0,5	0,500
1	U201	Micro	STM32F103CBT6	2,35	2,350
1	U301	Sensor	BH1750FVI	0,82	0,820
1	U311	Driver	BISS0001 PIR	0,15	0,150
1	U312	Sensor	PIR	6,23	6,230
1	X201	Cristal	32.768Khz	0,57	0,570
1	X211	Cristal	8Mhz	0,63	0,630
1	J101	Borna	Vin	0,3	0,300
1	J200	Conector	PROG	0,3	0,300
1	J201	Borna	Vout	0,3	0,300
1	Placa FR-4 1,6mm+	PCB	Placa	1,3	1,300
				Dto	0,500
				TOTAL	10,770

Presupuesto con montaje modular para partidas pequeñas.

Tabla 6.1. Presupuesto 3

Ud	Código	Categoría	Valor	€/ud	€
2	R201, R204	Resistencia	1K	0,005	0,010
1	R211	Resistencia	10K	0,005	0,005
9	C214, C215, C216, C217, C218, C219	Condensador	0.1uF	0,12	1,080
2	C202, C203	Condensador	22pF	0,12	0,240
2	C211, C212	Condensador	20pF	0,12	0,240
1	C213	Condensador	1uF	0,12	0,120
1	D201	Diodo	LED	0,0495	0,050
1	X201	Cristal	32.768Khz	0,57	0,570
1	X211	Cristal	8Mhz	0,63	0,630
1	U201	Micro	STM32F103CBT6	2,35	2,350
1	Modulo regulador LM2596	Módulo	----	0,95	0,950
1	Módulo regulador 3V3	Módulo	----	0,75	0,750
1	Módulo sensor PIR	Módulo	----	1,15	1,150
1	Módulo sensor BH1750FVI	Módulo	----	1,25	1,250
1	J101	Borna	Vin	0,3	0,300
1	J200	Conector	PROG	0,3	0,300
1	J201	Borna	Vout	0,3	0,300
1	Placa FR-4 1,6mm+	PCB	Placa	1,3	1,300
				TOTAL	11,595

Cabe destacar que los costes de manos de obra para la producción ya están incluidos en el precio por unidad de cada componente.

A la vista de los presupuestos anteriores, queda de manifiesto que para partidas pequeñas compensa más el montaje modular, ya que de esta forma se abaratan los costes y tiempo de producción.

Para partidas grandes, de por ejemplo más de 500 unidades, el montaje por componentes sale más rentable ya que se obtendría un descuento del 50%.

6.3. Coste maquinaria.

La maquinaria empleada para la fabricación de las presentes placas consta de:

- **Pick & Place SMD:** La máquina empleada para la colocación de los componentes SMD consta de una máquina con sistema P&P, el cual recoge cada componente del reel que aloja los componentes SMD y los deposita en el lugar correspondiente.

La máquina P&P dispone reconocimiento óptico para localizar la ubicación de cada componente, así como para compensar el ángulo de desviación de cada uno a la hora de posicionarlo. Esta función la realiza gracias a sus 10 cámaras incorporadas que analizan en tiempo real el funcionamiento de la máquina.

Dispone de 4 nozzles para distintos tipos componentes, o para la deposición de varios componentes en cada trayectoria. 64 feeders para colocar los reels con distintos componentes, así como la posibilidad de dejar los componentes más grandes en las bandejas de entrada.

El coste de la máquina se establece en 15000€.

- **Horno SMD:** El horno empleado para la soldadura SMD dispone de 6 zonas de temperatura independientes, las cuales se encuentran controladas mediante PID.

Cada una de estas zonas se puede programar de forma independiente para el soldado de los componentes a las placas. Así como la velocidad de la cinta.

El horno está valorado en 1500€.

- **Estación de soldadura:** Para soldar los componentes de montaje convencional se emplea la estación de soldadura.

Esta estación dispone de calentamiento/enfriado rápido mediante inducción, además de pistola de aire caliente y pinzas.

El coste de la misma es de 200€

Teniendo en cuenta los costes de las distintas maquinarias, el valor total de las mismas asciende a 16700€.

7. Tiempo amortización maquinaria

El contrato firmado con el ayuntamiento de Valencia estima que se deben de automatizar de forma secuencial las farolas instaladas en la capital.

Dicho contrato estipula una producción de 2.000 placas mensuales, lo cual teniendo en cuenta las 100.000 farolas presentes en la ciudad, supone 50 meses de producción.

El presupuesto para cada una de las placas contempla un 35% de beneficio para cada una de ellas con lo que dicha producción mensual produce un beneficio de:

$$Beneficio_{placa} = coste_{placa} \cdot 0.35 = 10.77 \cdot 0.35 = 3.77\text{€}$$

$$Beneficio_{placa} = 10.77 \cdot 0.35 = 3.77\text{€}$$

Considerando las 2000 placas mensuales:

$$Beneficio_{mensual} = Beneficio_{placa} \cdot unidades_{mensuales}$$

$$Beneficio_{mensual} = 3.77 \cdot 2000 = 7539\text{€}$$

Tiempo amortización maquinaria:

$$Amortizacion = \frac{Coste_{maquinaria}}{Beneficio_{mensual}}$$

$$Amortizacion = \frac{16700}{7539} = 2.22 \text{ meses}$$

8. Archivo Pick and Place

Mediante la opción disponible en el software de desarrollo electrónico asistido Circuit Studio se puede generar el archivo P&P necesario para la colocación de los componentes sobre la placa de forma automática mediante la máquina SMD.

En este archivo los valores vienen delimitados por comas (CSV), por lo que se puede importar en EXCEL para su análisis y modificación manual en caso de ser necesario.

A continuación se muestra la **tabla 8**, en la cual se han representado los datos del P&P obtenidos.

En dicha tabla se pueden apreciar las coordenadas para cada componente, así como las coordenadas de los pads, la huella usada, encapsulad, valor del componente y demás datos de interés.

.

Tabla 8. P&P

Designator	Footprint	Mid X mm	Mid Y mm	Ref X mm	Ref Y mm	Pad X mm	Pad Y mm	Layer	Rotation	Comment
J200	CN-MKS	100.8	85.5	100.8	80.5	100.8	80.5	T	9000	PROG
B211	PushButton	99	74.5775	103.5	76.8	103.5	76.8	T	18000	PB 4Pin-2Common
C101	CAPPAD381W52D800	47.7	113	47.7	113	49.605	113	T	18000	470uF/50V
C102	CAPC0805	50	107.1	50	107.1	51.143	107.1	T	18000	100nF
C103	CAPPAD381W52D800	82.4	111.6	82.4	111.6	80.495	111.6	T	0	330uF/25v
C104	CAPC0805	80.3	119.1	80.3	119.1	80.3	120.243	T	27000	100nF
C111	CAPC0805	91.9	118	91.9	118	91.9	119.143	T	27000	100uF
C112	CAPC0805	89.9	118	89.9	118	89.9	119.143	T	27000	10uF
C113	CAPC0805	91.9	113.7	91.9	113.7	91.9	112.557	T	9000	100uF
C114	CAPC0805	89.9	113.7	89.9	113.7	89.9	112.557	T	9000	10uF
C202	CAPC0805	84.1	94.1	84.1	94.1	85.243	94.1	T	18000	22pF
C203	CAPC0805	88.4	94.1	88.4	94.1	89.543	94.1	T	18000	22pF
C211	CAPC0805	84.8	76.6	84.8	76.6	85.943	76.6	T	18000	20pF
C212	CAPC0805	89.2	76.6	89.2	76.6	88.057	76.6	T	36000	20pF
C213	CAPC0805	79	76.1	79	76.1	79	77.243	T	27000	1uF
C214	CAPC0805	95.5	79.6	95.5	79.6	94.357	79.6	T	36000	0.1uF
C215	CAPC0805	95.4	90.7	95.4	90.7	95.4	89.557	T	9000	0.1uF
C216	CAPC0805	80.2	91.9	80.2	91.9	80.2	90.757	T	9000	0.1uF
C217	CAPC0805	79	80.4	79	80.4	79	81.543	T	27000	0.1uF
C218	CAPC0805	95.4	83.5	95.4	83.5	95.4	82.357	T	9000	0.1uF
C219	CAPC0805	92.7	74.9	92.7	74.9	92.7	76.043	T	27000	0.1uF
C301	CAPC0805	92.543	109.1	92.543	109.1	91.4	109.1	T	36000	4.7uF
C302	CAPC0805	92.543	107.1	92.543	107.1	91.4	107.1	T	36000	0.1uF
C303	CAPC0805	100.9	99.3	100.9	99.3	99.757	99.3	T	36000	0.1uF
C310	CAPC0805	53.393	88.1	53.393	88.1	52.25	88.1	T	36000	10nF
C311	CAPC0805	46.5	78.2	46.5	78.2	46.5	79.343	T	27000	0.1uF
C312	CAPC0805	71.3	81.3	71.3	81.3	72.443	81.3	T	18000	10nF
C313	C10/25E	68.7	77	67.5	77	67.5	77	T	36000	22uF/16V
C314	CAPC0805	72.5	86.8	72.5	86.8	72.5	85.657	T	9000	0.1uF
C315	C10/25E	75.93	91.8	77.2	91.8	77.2	91.8	T	18000	22uF/16V
C316	CAPC0805	70.9	90.3	70.9	90.3	72.043	90.3	T	18000	10nF
C317	C10/25E	75.9	97.17	75.9	95.9	75	95.9	T	9000	22uF/16V
C318	CAPC0805	70	97.2	70	97.2	70	96.057	T	9000	5nF
C319	CAPC0805	68	97.2	68	97.2	68	96.057	T	9000	10nF
C320	C10/25E	49.3	95.67	49.3	94.4	49.3	94.4	T	9000	22uF/16V
C324	CAPC0805	54.9	91.9	54.9	91.9	54.9	93.043	T	27000	0.01uF
D100	SMB	37.1	113.7	37.1	113.7	34.8775	113.7	T	36000	Transil
D102	smb	53.6	103.1	53.6	103.1	51.3775	103.1	T	0	MBR5340T3G
D201	LED_0805_VERDE	97.6	88.5	97.6	88.5	97.6	87.484	T	27000	LED
J101	BORNA_2/3.81_8.5mm	38.895	121.5	40.8	121.5	40.8	121.5	T	18000	Vin
J201	BORNA_2/3.81_8.5mm	37.705	73.7	35.8	73.7	35.8	73.7	T	0	Vout
L101	bobina_12x12	71.9	111	71.9	111	71.9	104.85	T	9000	220uH/1A
Q200	TO220H_-_Rev2	37.26	96.865	39.8	105.3	39.8	105.3	T	9000	TIP120
R101	0805	63.2	104.4	63.2	104.4	62.057	104.4	T	36000	100K
R102	0805	64.5	107.5	64.5	107.5	64.5	108.643	T	27000	1K
R103	0805	64.5	111.8	64.5	111.8	64.5	112.943	T	27000	8.87K
R201	0805	97.6	84.7	97.6	84.7	97.6	85.843	T	27000	1K
R204	0805	44	97.3	44	97.3	44	96.157	T	9000	1K
R211	0805	79.2	85.3	79.2	85.3	79.2	84.157	T	9000	10K
R300	0805	100.9	101.3	100.9	101.3	102.043	101.3	T	18000	4K7
R301	0805	100.9	107.8	100.9	107.8	99.757	107.8	T	36000	1K



R302	0805	92.7	101.3	92.7	101.3	93.843	101.3	T	18000	4K7
R303	0805	92.7	99.3	92.7	99.3	91.557	99.3	T	36000	1K
R310	0805	49.8	86.1	49.8	86.1	50.943	86.1	T	18000	1K
R311	0805	47.2	84.1	47.2	84.1	46.057	84.1	T	36000	1K
R312	0805	47.2	82.1	47.2	82.1	46.057	82.1	T	36000	1K
R313	0805	48.5	78.2	48.5	78.2	48.5	79.343	T	27000	100K
R314	0805	58.9	93.4	58.9	93.4	58.9	94.543	T	27000	18K
R315	0805	62.6	77.9	62.6	77.9	61.457	77.9	T	36000	1M
R316	0805	73.7	83.3	73.7	83.3	72.557	83.3	T	36000	470K
R317	0805	70.5	84.5	70.5	84.5	70.5	85.643	T	27000	6K8
R318	0805	74.5	86.8	74.5	86.8	74.5	87.943	T	27000	2K
R319	0805	70.9	92.3	70.9	92.3	69.757	92.3	T	36000	1M
R320	0805	72	97.2	72	97.2	72	98.343	T	27000	18K
R321	0805	52.9	91.3	52.9	91.3	52.9	90.157	T	9000	10K
R322	0805	52.9	95.7	52.9	95.7	52.9	94.557	T	9000	18K
R323	0805	56.9	91.9	56.9	91.9	56.9	93.043	T	27000	47K
U101	TO-263-5	57.8	113.1	54.4	107.6	54.4	107.6m	T	27000	LM2596
U111	SOT-223	96.8	116.1	96.8	116.1	99.1	119.2	T	18000	LM1117 3V3
U201	LQFP64_10x10mm_0.50	87.2465	85.3015	83.5	79.4	83.5	79.4	T	0	STM32L4x6xx
U301	BH1750FVI	96.7	102.8	96.2	104.1	96.2	104.3	B	27000	BH1750FVI
U311	SOIC16	53.6	79.45	50.9	83.9	50.9	83.9	T	36000	BISS0001 PIR
X201	CRISTAL	84.6	97.9	87.2	97.9	87.2	97.9	T	18000	32.768Khz
X211	CRISTAL	85.66	72.9	88.2	72.9	88.2	72.9	T	18000	8Mhz
D101	LED_0805_VERDE	34.7	110.3	34.7	110.3	35.7	110.3	T	36000	LED
D103	LED_0805_VERDE	81.4	104.5	81.4	104.5	81.4	103.4	T	27000	LED
D111	LED_0805_VERDE	101.8	117.9	101.8	117.9	101.8	116.8	T	27000	LED
R100	0805	38.4	110.3	38.4	110.3	37.2	110.3	T	36000	5K36
R104	0805	79.4	104.8	79.4	104.8	79.4	103.6	T	9000	2K
R111	0805	101.8	114	101.8	114	101.8	115.1	T	27000	1K
P310	PT_4MM-2	46.3	89.1	46.3	89.9	48.3	88.7	T	18000	1M
P311	PT_4MM-2	74.2	77.4	74.2	77.5	73.0	75.4	T	9000	1M
U312	PIR_TO5	63.9	95.7	65.7	99	65	97.50	B	27000	PIR

9. Mejoras

Como mejoras considerables en el diseño para revisiones siguientes, se pretenden las siguientes:

- Añadir mosfets para cortar la alimentación de los sensores para desactivarlos mediante programación cuando no sea preciso que estén en funcionamiento. A ejemplo ilustrativo de lo anterior, podría considerarse el corte de la alimentación en las horas centrales del día, ya que en estas horas las luminarias permaneces apagadas.
- Mejorar el diseño del sensor de movimiento para reducir los tiempos conmutación del mismo, para ello se deberá buscar otro sensor el cual tenga una respuesta más rápida.
- Cambiar el par Darlington empleado para controlar la conmutación de la luminaria por un mosfet, el cual tiene una caída de tensión casi nula en conducción. Esto se traduce en menores pérdidas y por tanto menor generación de calor.

10. Resultados

Una vez finalizado el diseño de la placa, y añadido todos los componentes en la PCB junto con la visualización en 3D de cada componente es posible visualizar y exportar el archivo 3D de la placa.

Esto es muy útil a la hora de poder prever posibles fallas en el diseño o incompatibilidades en los espacios en los que se debe alojar la placa debido a que la altura de algún componente golpee en alguna zona crítica.

También sirve para tener una perspectiva del resultado final, o para poder redistribuir algún componente si fuese necesario, sin llegar a tener que producir la placa para ver todos estos detalles físicamente.

Por otro lado, cabe destacar la posibilidad de exportar el archivo 3D en formato .STEP para de esta forma poder importarlo en softwares de diseño 3D como pudieran ser Autodesk Inventor o SolidWorks, para de esta forma poder trabajar con el diseño final y comprobar mediante los softwares de desarrollo que todos los elementos en conjunto encajan perfectamente.

A modo de ejemplo en las **imágenes 10.1 a 10.6** se muestran unas capturas en distintas perspectivas del resultado obtenido con la visualización 3D del diseño.

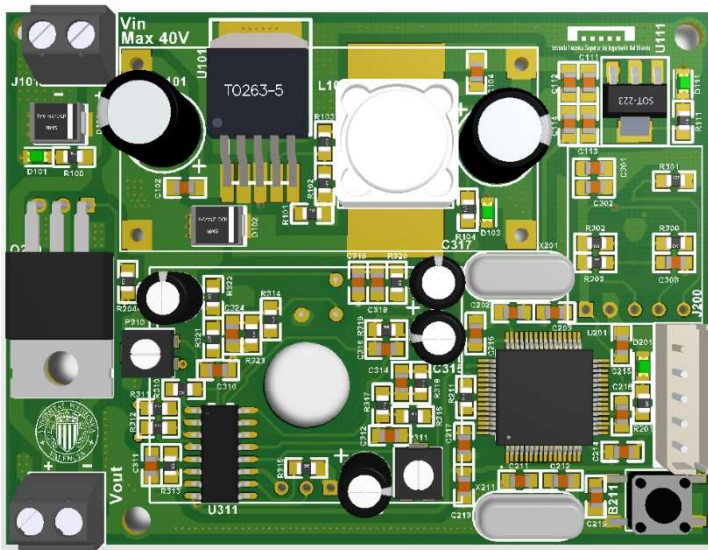


Imagen 10.1. Vista superior placa

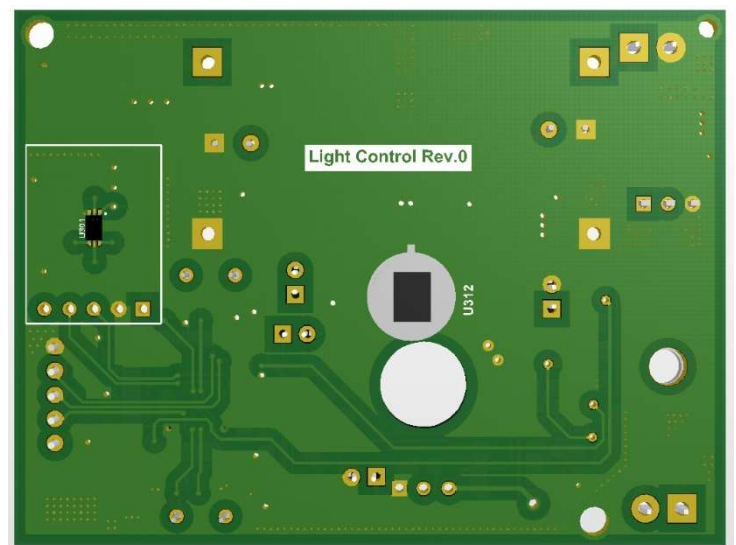


Imagen 10.2. Vista inferior placa

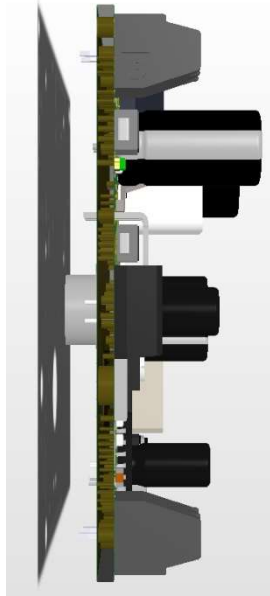


Imagen 10.3. Vista lateral placa

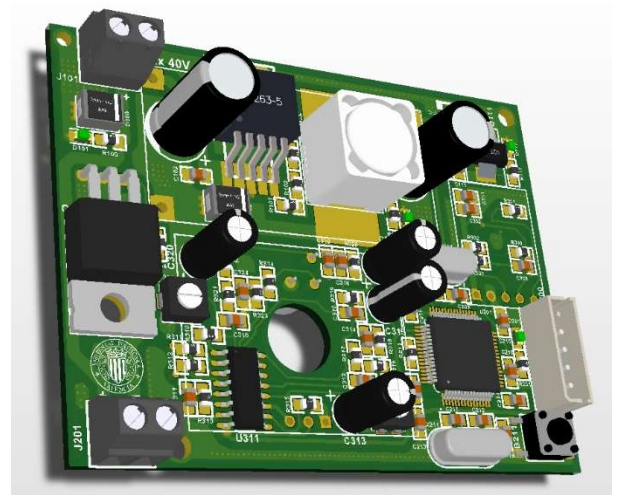


Imagen 10.4. Vista perspectiva 1 placa

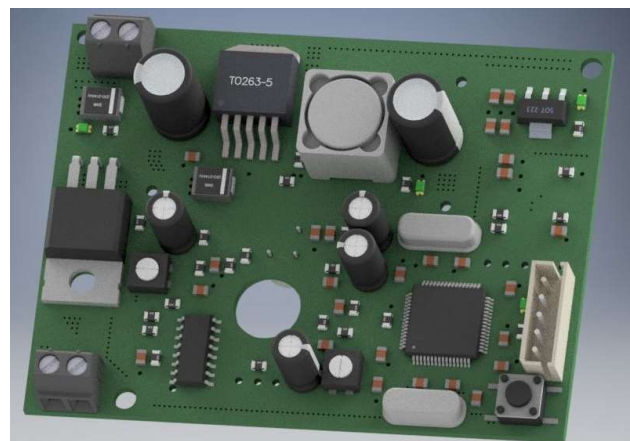


Imagen 10.5. Acabado

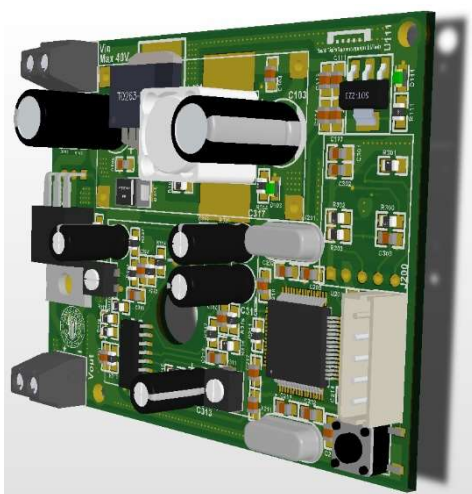


Imagen 10.6. Vista perspectiva 2 placa

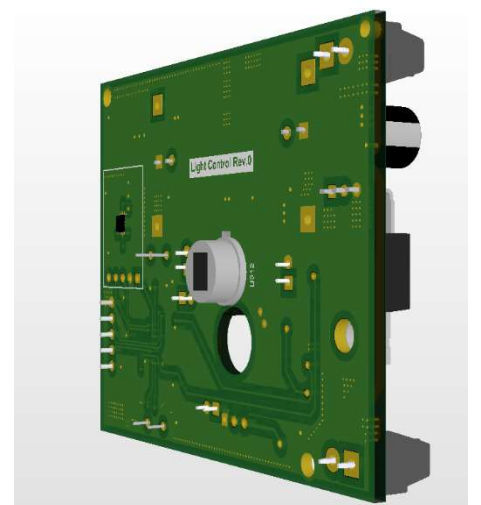


Imagen 10.7. Vista perspectiva 3 placa

11. Alternativas

La solución adoptada ha sido considerada la más eficiente energéticamente hablando, la de más rápida instalación, y la que mejor se ajusta a las especificaciones requeridas por el cliente.

Otras alternativas contempladas han sido:

- **Establecer un módulo de control central por zonas y disponer actuadores en cada luminaria:**

Por ejemplo, dividir la ciudad en la cual se pretende instalar el control de iluminación en zonas más pequeñas, como pudiera ser por barrios. De esta forma se podría establecer un nodo de control central que alojara los sensores por cada zona.

El inconveniente de esta propuesta es que requeriría recablear parte de la instalación eléctrica, con el coste que esto supone. Además que, si falla el nodo central, la zona entera dejaría de estar controlada.

Por otro lado, también supone realizar reformas en cada luminaria para instalar los actuadores

- **Establecer un módulo de control central y los actuadores centralizarlos también por zonas:**

Esta solución es muy similar a la anterior, con la salvedad que los actuadores estarían ubicados en la zona del módulo central, o bien repartidos por zonas más pequeñas como pudiera ser calles independientes. En lugar de instalados en las propias luminarias

El problema de este sistema, como en el caso anterior, es que si falla el nodo de control, fallaría todo el sistema.

Por otro lado, los actuadores deberían de ser de mayor potencia para poder controlar un conjunto de luminarias, con lo que el coste se dispararía en dichos actuadores.

Es por ello que el sistema elegido es el más recomendable, ya que cada luminaria es completamente independiente del resto, y no haría falta hacer modificaciones sustanciales en el sistema de iluminación.

12. Conclusiones

Como conclusión cabe destacar, que dado el coste económico de automatizar el control de las luminarias controlando la luminosidad que emite cada una de ellas en tiempo real, se obtiene un ahorro considerable.

Según un cálculo rápido para el caso más desfavorable.

En el supuesto de que la luminaria LED funcione a 40Vcc con una intensidad de 600mA y funcionando una media de 10h diarias, supone una potencia consumida total anual de:

$$P_{consumida_{anual}} = P \cdot h_{dia} \cdot 365$$
$$P_{consumida_{anual}} = 40V \cdot 0.6A \cdot 10 \cdot 365 = 87.6kWh$$

Suponiendo un ahorro energético del 50% gracias a este sistema que se propone, se obtiene un ahorro anual de:

$$P_{ahorrada_{anual}} = P_{consumida_{anual}} \cdot 0.5 = 43.8kWh$$

Poniendo un precio al kwh de 0.20€, al año supone un ahorro de:

$$\text{€}_{ahorrados_{anual}} = P_{consumida_{anual}} \cdot \text{€}/kWh$$
$$\text{€}_{ahorrados_{anual}} = 43.8kWh \cdot 0.2 = 8.76\text{€}$$

Se observa que se obtendría un ahorro mínimo de 8.76€ al año por cada luminaria controla. Lo cual, tomando como coste del sistema el referente al montaje modular, se traduce en un tiempo de retorno de la inversión (ROI) de:

$$ROI = \text{Coste}_{sistema\ modular} / \text{€}_{ahorrados_{anual}}$$
$$ROI = 11.595 / 8.76 = 1.32 \text{ años} \approx 16 \text{ meses}$$

Esto quiere decir que a partir de los 16 meses se recupera la inversión en el sistema propuesto.

Ahora bien, en el supuesto de una ciudad como Valencia con casi 100.000 farolas, transcurrido el ROI se obtiene un ahorro anual de:

$$\text{Ahorro}_{total} = \text{€}_{ahorrados_{anual}} \cdot n^{\circ} \text{ farolas}$$
$$\text{Ahorro}_{total} = 8.76\text{€} \cdot 100.000 = 876.000\text{€ anuales}$$

A la vista de los resultados obtenidos queda demostrado que bien merece la pena la instalación del sistema propuesto.

13. Bibliografía y referencias

- 1) Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC - BH1750FVI.
- 2) Micro Power PIR Motion Detector - BISS0001.
- 3) Pyroelectric Passive Infrared Sensor - RE200B.
- 4) LM2596 SIMPLE SWITCHER Power Converter 150kHz 3A Step-Down Voltage Regulator.
- 5) LM1117 800mA Low-Dropout Linear Regulator
- 6) Complementary Power Darlington Transistors - TIP120.
- 7) Ultra-low-power Arm® Cortex®-M4 32-bit MCU+FPU, 100DMIPS, up to 1MB Flash, 128 KB SRAM, USB OTG FS, LCD, ext. SMPS - STM32F103CB.
- 8) TME www.tme.eu/es (1/09/2019).
- 9) DIRTYPCB www.dirtypcb.com (1/09/2019).
- 10) DIGIKEY www.digikey.com (03/09/2019).
- 11) MOUSER www.mouser.com (03/09/2019).
- 12) ST www.st.com (03/09/2019).



14. Anexos

En este apartado se incluyen los esquemáticos desarrollados con el software Circuit Studio.

Gracias a ellos se pueden depurar posibles fallos en el diseño, así como facilitar las tareas a la hora del montaje, o reparación de averías.