

Modulo de leds para iluminación publica.

Aurelio, Damián Alberto; Morales, Pablo Nicolás; Tantignone Hugo; Zaradnik, Ignacio José
Cátedra de Tecnología Electrónica (383), Departamento de Ingeniería e investigación Tecnológica
Universidad Nacional de la Matanza. Buenos Aires, Argentina.

da_aurelio@yahoo.com.ar, pablmorales_84@yahoo.com.ar, htantignone@gmail.com; izaradnik@unlam.edu.ar

Abstract—En el presente trabajo se pretende explicar en forma detallada el diseño de un modulo de leds para iluminación publica, a través del cual se podrán ofrecer soluciones escalables para las distintas necesidades. El diseño incluye la definición de las características del modulo, la selección de los leds a utilizar y su configuración, el diseño del circuito impreso y la selección del material sobre el cual se va realizar. No será abordado en este trabajo la elaboración de la fuente de alimentación, quedando como futuro desarrollo.

Keywords- leds; lumens; corriente constante; resistencia termica; metal core pcb (MCPCB);esfera integradora de Urlich;

I. INTRODUCCION

La principal ventaja que presentan los leds frente a las otras fuentes de luz es el ahorro en el consumo de energía. En este aspecto se han conseguido ahorros desde un 25% hasta un 50%. Además, de acuerdo a los recursos locales, la electricidad y la energía solar pueden ser combinadas para así alcanzar un mejor costo y beneficio.

Otra característica importante que presentan estas luminarias es la eficiencia lumínica. Mientras las lámparas de vapor de sodio de alta presión, de uso común en el alumbrado público, brindan una eficiencia de 85 lumens por vatio, la tecnología LED va camino de superar los 150 lumens por vatio y esta última cifra se está incrementando a medida que se progresa en el desarrollo de semiconductores.[1]

Con respecto al ahorro de costos de mantenimiento, también se consiguen grandes ahorros, ya que la vida útil de estas lámparas de LED es aun mayor a la convencional iluminación mercurial, ya que con el sistema de control que incorporan, este tipo de lámparas pueden durar hasta 50,000 horas de servicio continuo utilizándolas 10 horas al día. Con lo cual estaríamos hablando de una vida igual o mayor a los 13 años.

La curva de atenuación luminosa de las luminarias LED presenta una disminución de un 30% de luz a las 50.000 horas con una pendiente muy gradual, en cambio, una lámpara de sodio tiene una curva de depreciación que cae un 10% en las primeras 4000 horas y su vida útil se encuentra entre 8000 y 12000 horas.[2][3]

La última característica sobre la que se hace mención, se relaciona con los beneficios que trae esta tecnología con respecto a sus competidores en el aspecto ecológico. Las luminarias LED minimizan los costos de tratamiento de los desechos típicamente asociados a la iluminación pública, ya que carecen de cualquier contenido de mercurio, plomo u otras sustancias altamente contaminantes. Adicionalmente, emiten

una menor emisión de CO₂. En promedio, la emisión de gases es de 585gr de CO₂ x KW. La reducción de emisión de gases es entonces proporcional a la reducción de consumo energético. Los LEDs reducen la contaminación lumínica (iluminan áreas delimitadas y no producen reflejos), y no emiten rayos UV o infrarrojos. [3]

En base a lo expuesto anteriormente, podemos inferir que el desarrollo de luminarias en base a leds es una alternativa con un gran futuro, en reemplazo de los equipos de iluminación convencionales.

II. DEFINICION DE PRODUCTO

A. Objetivos del Alumbrado Publico

- Permitir a los conductores de automóviles, motocicletas, bicicletas y otros tipos de vehículos actuar con seguridad.
- Permitir que los peatones vean los peligros, puedan orientarse, reconozcan otros peatones y tengan sensación de seguridad.
- Mejorar la apariencia nocturna del espacio urbano.

En la iluminación de rutas y vías de acceso la importancia relativa de estos ítems debe ser sopesada particularmente, porque las necesidades de los conductores de vehículos y la de los peatones son diferentes. En el tercer caso la apariencia del entorno, y la posibilidad de destacar puntos importantes de la ciudad es útil para ambos, tanto como placer visual como referencia para la orientación.

En función de los objetivos mencionados, la norma IRAM AADL J 2022/2 clasifica las arterias y define los niveles de iluminación para cada una de ellas. La ecuación N°1 detalla el calculo de la iluminancia media (E_{med}), la cual se expresa en Lux (lm/m²), y la tabla N°1 suministra los valores recomendados para las calzadas urbanas. [4]

$$E_{med}=(A \times F \times K \times V)/(I \times e) \quad (1)$$

- A: Tipo de montaje (unilateral, bilateral).
- F: Flujo Luminoso de la fuente.
- K: Factor de utilidad.
- V: Factor de mantenimiento.
- I: Ancho de calzada.
- e: Separación de columnas.

El flujo luminoso es el factor de interés para nuestro desarrollo, ya que los otros dependerán de la luminaria o de la instalación de esta.

TABLA 1. Calzadas Urbanas – Valores Recomendados.

Clases	Ejemplo	Descripción	Emed
C	Avenida Principal	Semi Rápido, hasta 60km/h. Calzada en dos direcciones, con o sin carriles de estacionamiento, con intensa presencia de peatones y obstáculos.	40
D	Arteria Comercial	Lento, hasta 40km/h. Calzada con desplazamiento lento y trabado; con o sin carriles de estacionamiento; con intensa presencia de peatones y obstáculos.	27
E	Avenida Secundaria	Moderado, hasta 50km/h. Acumulan y conducen tránsito desde un barrio hacia vías de tránsito de orden superior.	16
F	Calle Residencial	Lento, hasta 40km/h. Calles residenciales de una o dos manos; con tránsito exclusivamente local. Presencia de peatones y obstáculos.	10

De lo anteriormente expuesto surge que la necesidad del mercado, en lo que se refiere a iluminación de la vía pública, requiere un producto modular, permitiendo que una luminaria se adapte a las diferentes tipos de arterias y condiciones de la calzada.

B. Productos existentes.

Teniendo en mente el diseño de un modulo para iluminación publica se realizo un estudio de mercado. La tabla 2 presenta un resumen de los productos de varias empresas, entre ellas la mexicana DMX, la italiana Ruud Led, y las chinas Elumin8, Shylon y LedEnergy.

El análisis de estas líneas de productos y muchas otras, ayudo a determinar las características de nuestro modulo, las que se detallan a continuación.

C. Especificaciones.

- Potencia: entre 20 y 30W.
- Flujo luminoso: entre 1800 y 2200 lm.
- Temperatura de Color: entre 5000- 7000°K.

La especificación de la vida útil fue omitida ya que al trabajarse con leds, esta se sabe superior a las 5000 horas. El ángulo de apertura dependerá de los Leds que se encuentren en el mercado para realizar modulo.

TABLA 2. Productos en el mercado.

Marca	Potencias [W]	F. Luminoso [lm]	Temp.Color [K]
DMX	28, 56, 112, 168.	2100, 4200, 8400, 12600.	3000-4000, 5000-7000.
RUUD LED	53, 129, 207, 306.	4000, 10000, 16000, 24000.	3500, 4300, 6000.
ELUMIN8	38, 78, 114, 143.	1800, 3880, 5860, 8110.	2000, 6500.
SHYLON	60, 90, 120.	4600,7200, 9600.	5000-6000.
LEDENERGY	28, 56, 70.	2300, 4600, 8400.	5000-6000.

III. DISEÑO

En esta parte del proyecto se tuvieron en cuenta varios aspectos, entre ellos la elección del led, la cantidad y su configuración, los circuitos de protección, el manejo térmico y el diseño del circuito impreso.

A. Eleccion del Led.

Para la elección del led se evaluaron los siguientes aspectos.

- Potencia / Eficiencia.
- Angulo.
- Temperatura de Color.
- Índice de reproducción cromática.
- Encapsulado.
- Marca.

Las marcas evaluadas fueron Osram, Philips, Cree, Everlight y Z-Light. En todas ellas encontramos productos que podían cumplir en mayor o menor medida las especificaciones definidas, pero se termino optando por un led de la marca alemana Osram, la cual provee abundante información en las hojas de datos de sus productos, buena disponibilidad de catálogos y notas de aplicación para cada uno de sus producto y para el desarrollo de nuevos diseños, además de tener un distribuidor local con soporte.

El tipo de led escogido fue el Golden Dragon LW-W5PM oval Plus. El mismo es ideal para iluminación en la vía pública, ya que posee un ángulo de visión de 120° en el eje horizontal, y de 70° en el vertical. Es capaz de disipar una potencia de 1 W y tiene una excelente eficiencia óptica, de aproximadamente 107 lm/W a 100 mA. En su versión blanco frío, emite luz blanca con una temperatura de 6500 K. Su encapsulado es fácilmente manejable por operarios como por pick and place. La figura 1, nos muestra el footprint del led seleccionado y algunas de sus características técnicas. [5]

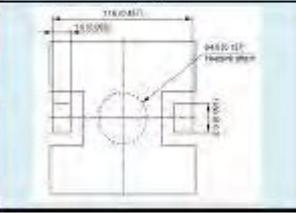
MARCA	OSRAM
MODELO	GOLDEN DRAGON LW-W5PM OVAL
POTENCIA	1W
FLUJO LUMINOSO	95 lm a 350mA hasta 213 lm a 1A
TEMPERATURA DEL COLOR	5600K
ANGULO DE VISION	Horiz.: 120° - Vert.: 70°
EFICIENCIA OPTICA	107 lm/W a 100 mA
Vf	2.7 a 3.7 V
PRECIO	N/D
FOOTPRINT / DIMENSIONES	

Figura 1.

B. Cantidad y configuración de los leds

El módulo está constituido por un array de 16 leds. A través de cada uno de ellos circula una corriente de 350 mA, si bien con esta corriente no se obtiene la mayor eficiencia del led, pero la utilización de este a menor corriente implicaría un gran número de leds para obtener el flujo luminoso especificado. La caída de potencial en cada leds es del orden de los 3,3 V, lo que implica una potencia aproximada de 1W por led. El total de potencia del modulo es aproximadamente 18,5 W, alcanzando el limite inferior de flujo luminoso especificado. Los leds se distribuyeron en dos ramas con 8 leds, como consecuencia la corriente con el que se alimenta el módulo debió ser de 700 mA. Si se hubieran dispuesto mas ramas en paralelo la corriente de alimentación debía ser más mayor, y si se hubieran puesto todos los leds en serie, la tensión de alimentación debía ser del doble. Además, no se dispusieron más de dos ramas, porque las diferencias entre tensiones de forward de cada led quedan compensadas cuanto mayor sea la cantidad de leds. Por esto se decidió que esta disposición es la más adecuada. El hecho de conectar los leds en paralelo, si bien asegura la misma tensión sobre cada uno de ellos, no asegura la misma corriente, ya que ésta dependerá de la tensión de ruptura de cada led, que estará dentro de un rango posible, y tendrá un valor particular para cada uno. Resumiendo, el conectar leds en paralelo puede tener como resultado una corriente, un flujo luminoso, y una vida útil distintos para cada led.

Con el objetivo de proveer una corriente constante a cada rama, seleccionamos un regulador LM317, el cual provee limitación de corriente y protección contra sobrecarga térmica. Se utiliza un regulador lineal, debido a que en esta etapa no se está priorizo la eficiencia de la alimentación, sino la de iluminación. En etapas futuras, que escapan al contenido de este informe, se estudiara la posibilidad de realizarlo con un circuito del tipo switching, el cual posee un rendimiento mucho más alto.

La configuración seleccionada tiene la función de proveer una corriente de salida constante, independientemente de la tensión en la carga. Para ello, se vale de la tensión de referencia interna ADJ, fija y propia del componente (de valor

1,25 V), y de una resistencia de 3,3 ohm entre la salida Vout y la salida de referencia, fijando una corriente por la misma de 350 mA, tal como se ilustra en la figura 2. [6]

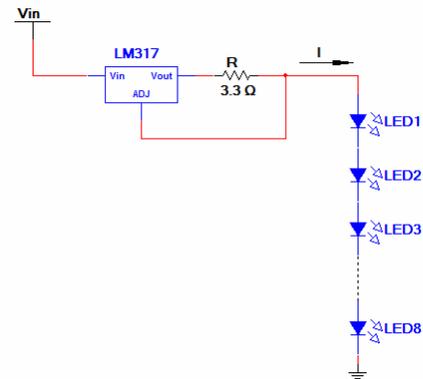


Figura 2.

C. Circuito de proteccion.

Si bien la vida útil de los leds es mayor a 50000 horas, es posible que estos fallen, la falla habitual suele ser que los leds se abran, produciendo que toda la rama deje de funcionar. Para que el circuito continúe en funcionamiento en el caso de que uno de los leds falle, se seleccionaron unos shunt de led. Los mismos se conectan en paralelo y entran en acción en el caso de que un led quede en circuito abierto, haciendo que la corriente circule a través de él y presentando una caída de tensión similar a la del led, de manera tal que los otros leds de la rama continúen encendidos.

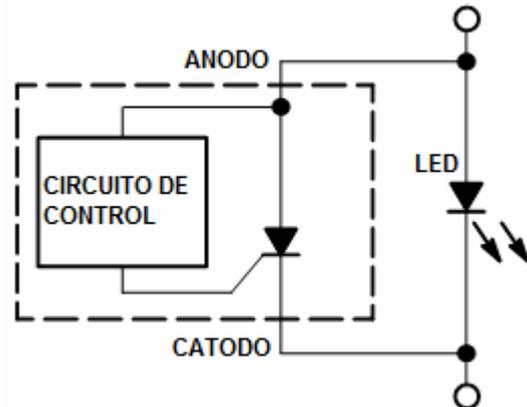


Figura 3.

Para este componente se evaluaron dos posibilidades, el PLED18Q12 de Litelfuse y el NUD4700 de On Semiconductor. Por una cuestión de disponibilidad se seleccionó para el proyecto la opción de Litelfuse. [7][8]

D. Consideraciones Termicas.

Para encapsulados de LEDs de alta potencia una buena conductividad térmica es uno de los puntos clave. PCB basados en FR4 tienen una muy baja conductividad térmica (0,23 W/mK). Por ello se utilizan las soluciones basadas en cerámicas como el oxido de aluminio (Al2O3) y nitruro de

aluminio (AlN) con valores típicos entre 25 W/mK y 180 W/mK, o PCB de núcleos metálicos (MCPCBs) con valores de 400 W/mK son de uso frecuente. Las características distintivas de los materiales, como el coeficiente de dilatación térmica, la conductividad térmica y el costo determinan su uso en diferentes aplicaciones.

La tabla 3 presenta un cuadro comparativo con valores de resistencia térmica típica entre el punto de soldadura y la placa. [8]

TABLA 3. Resistencias Térmicas

TECNOLOGIA DEL SUSTRATO	RESISTENCIA TERMICA
MCPCB con dieléctrico optimizado	3,4 K/W
MCPCB con dieléctrico en FR4	7,3 K/W
FPC sobre aluminio con PSA estándar	9,5 K/W
FPC sobre aluminio con PSA térmico optimizado	7,6 K/W
PCB sobre FR4 adherido sobre aluminio con vías térmicas	9,7 K/W

Podemos concluir que la tecnología más adecuada y más simple de implementar en nuestro diseño es el MCPCB, ya que se obtienen valores muy bajos de resistencia térmica, sin necesidad de realizar vías sobre el sustrato, obteniendo de esta manera condiciones óptimas en cuanto al manejo térmico.

Como mencionamos antes para lograr una buena confiabilidad y un óptimo rendimiento, es necesario un manejo térmico adecuado. La temperatura de operación admisible para un tiempo de vida determinado está limitada por los componentes de resina del led. Esto significa que la temperatura del componente interno, no debe exceder el valor límite especificado en la hoja de datos.

La disipación de potencia en la juntura del chip se distribuye en el encapsulado y en el sustrato por conducción del calor, y desde las superficies libres al ambiente por radiación y convección. La juntura hace referencia a la juntura p-n dentro de la cápsula semiconductor, donde se generan los fotones.

Este led consiste en un chip montado sobre un disipador de calor soldado, o adherido. El disipador de calor consiste en un material de alta conductividad como el cobre.

En la figura 4 se representa el circuito térmico equivalente, compuesto por una fuente de corriente que simboliza la potencia disipada (P_D), resistencias en serie entre la juntura y el ambiente (R_{thJA}), y una fuente de tensión, que representa la temperatura ambiente o temperatura de la carcasa (T_A).

Para saber si nuestro modulo esta operando dentro de rangos de temperatura que aseguren la vida útil de los leds,

debemos calcular a que temperatura se encuentra a juntura en condiciones normales de trabajo. Las ecuación 2 y 3 nos muestra como calcular dicha temperatura.

$$T_J = R_{thJA} \times P_D + T_A \tag{2}$$

$$T_J = (R_{thJS} + R_{thSB} + R_{thBA}) \times P_D + T_A \tag{3}$$

P_D se calcula como lo indica la ecuación 4.

$$P_D = 350mA \times 3.2V = 1.12W \tag{4}$$

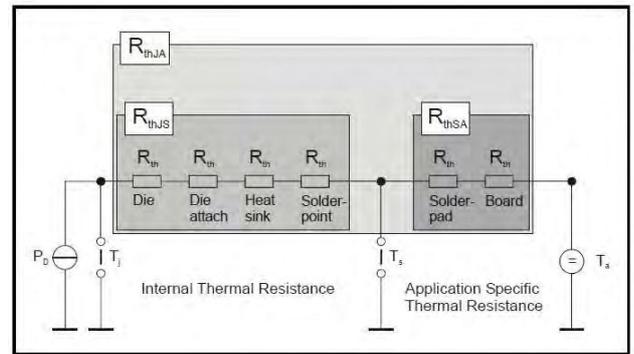


Figura 4.

Si queremos calcular la resistencia térmica de un paquete entero, necesitamos conocer los diferentes materiales dentro del sistema, sus resistencias térmicas, y las dimensiones de cada capa.

La figura 5 muestra un detalle de todas las resistencias térmicas que están en juego.

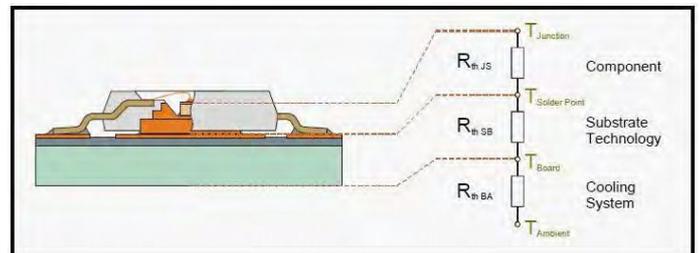


Figura 5.

Resistencia térmica de un material de estado sólido de ángulos rectos esta definida por la ecuación 5.

$$R_{th} = d / \lambda \times A = KT / P \tag{5}$$

- d = espesor de la capa
- A = área de la capa
- λ = conductividad térmica
- KT = diferencia de temperatura
- P = potencia disipada

Para el caso de una conexión en serie de N materiales diferentes, la resistencia térmica esta determinada por la ecuación 6.

$$R_{th\text{serie}}=R_{th1}+ R_{th2}+ \dots +R_{thN} \quad (6)$$

En caso de tratarse de MCPCB, podemos observar tres capas de distintos materiales: una de cobre, otra dieléctrica y una última de aluminio. Las siguientes ecuaciones detallan el cálculo de la resistencia serie de la placa de MCPCB, los datos empleados para este cálculo fueron brindados por el proveedor de los circuitos impresos, INARCI S.A. [10]

$$R_{thSB} = R_{thCu} + R_{thD} + R_{thAl} \quad (7)$$

$$R_{thSB} = (d_{cu}/ \lambda_{Cu} \times A) + (d_D/ \lambda_D \times A) + (d_{Al}/ \lambda_{Al} \times A) \quad (8)$$

$$R_{thSB} = (1/A) \times ((d_{Cu}/ \lambda_{Cu}) + (d_D/ \lambda_D) + (d_{Al}/ \lambda_{Al})) \quad (9)$$

$$R_{thSB} = (1/A) \times ((35 \times 10^{-6} \text{m} / 400 \text{W/mK}) + (150 \times 10^{-6} \text{m} / 0.6 \text{W/mK}) + (1.6 \times 10^{-3} \text{m} / 180 \text{W/mK})) \quad (10)$$

$$R_{thSB} = (1/A) \times (259 \times 10^{-6} \text{Km}^2/180 \text{W}) \quad (11)$$

Considerando un área de 144 mm^2 ($12 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$), que corresponde al footprint recomendado por el fabricante obtenemos,

$$R_{thSB} = 1.8 \text{ K/W} \quad (12)$$

Se utilizará un disipador de aluminio de $115 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ con 20 aletas de 12 mm . Consultando fabricantes se obtuvo que la resistencia térmica de este tipo de disipadores, en el peor de los casos es,

$$R_{thBA} = 1 \text{ K/W} \quad (13)$$

Y revisando la hoja de datos del led utilizado se extrajo que la resistencia térmica interna del dispositivo es,

$$R_{thJS} = 11 \text{ K/W} \quad (14)$$

Y la temperatura máxima de junta es de 135°C o lo que es lo mismo 408°K . Por lo tanto, nuestro cálculo debe dar un resultado menor a esta temperatura. Si suponemos una T_A de 75°C (348°K),

$$T_J = (11 + 1.8 + 1) \text{ K/W} \times 1.12 \text{ W} + 348 \text{ K} \quad (15)$$

$$T_J = 15.46 \text{ K} + 348 \text{ K} = 363.5 \text{ K} = 90.5^\circ\text{C} \quad (16)$$

De esta forma, queda demostrado que el área prefijada es capaz de disipar una potencia que asegura una temperatura de junta por debajo de la temperatura máxima especificada por el fabricante.

E. Circuito impreso

El diseño del PCB fue realizado con el software gratuito Kicad. Con el se generaron el circuito esquemático, los footprints, el PCB y la vista 3D de la placa.

Con el objetivo de hacer un producto adaptable a modificaciones del tipo de leds elegido, ya sea por un tema de disponibilidad del led o por un motivo económico, se generó un footprint en el que puede ser soldado dos modelos de leds distintos. Además del Golden Dragon LW-W5PM oval Plus de Osram y se seleccionó como alternativa: ZL-XEL011W-*BA de Z-Light, por cuestiones económicas Utilizando la información disponible en las hojas de datos se genero el footprint que se puede ver en la figura 6.

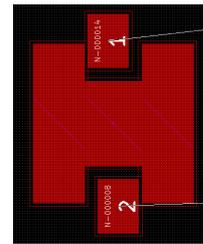


Figura 6.

En la figura 7 y 8 se puede ver una fotografía de la placa montada y diseño de la placa fabricada.

En el diseño del circuito impreso se cometió un error a raíz de no estar acostumbrado a trabajar con circuitos impresos del tipo MCPCB. Se emplearon componentes pasantes, sin considerar que el elemento sustrato es conductor, produciendo cortocircuito entre las patas del regulador y la resistencia. Este error fue salvado gracias a la detección del fabricante del circuito impreso, INARCI S.A., quien gentilmente modifico los archivos para adaptar los componentes a montaje superficial.



Figura 7.

IV. MEDICIONES

Para medir el flujo luminoso, se debe utilizar una esfera integradora de Ulrich, figura 9, la cual suma todo el flujo radiante sin importar la dirección hacia donde radia. La misma consiste básicamente en un cuerpo esférico con un interior hueco pintado de blanco, con pequeñas aberturas respecto de su tamaño. El principio de funcionamiento es el siguiente: después de la enésima reflexión en sus paredes interiores, si las mismas están recubiertas de un material altamente difusor, el flujo radiante reflejado se uniformiza, por lo que es correcto medir el flujo luminoso que llega a una área pequeña y multiplicarlo proporcionalmente al área total de la esfera, para obtener así el flujo total que emite la fuente. Lamentablemente no se cuenta con este equipamiento y el mismo es de difícil acceso. A continuación se detalla la prueba sobre el modulo, las condiciones y el instrumental utilizado.

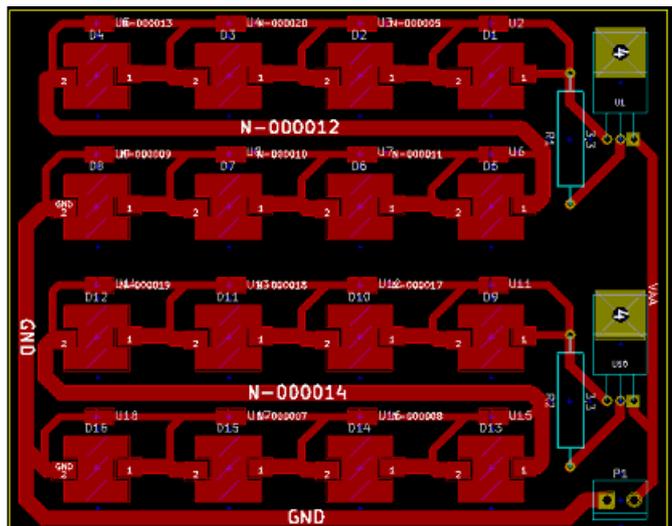


Figura 8.

Para realizar las mediciones, se preparó una habitación de manera tal de que no exista ninguna fuente de luz que pueda afectar las mismas. Tal condición se corroboró con la ayuda del luxómetro, modelo TM-201 de la empresa TENMARS[11], obteniéndose un valor de iluminancia cero antes de comenzar los ensayos. Luego, se ubicaron los LEDs sobre una pared, de manera tal de que exista una zona libre de elementos que puedan afectar la medición, entre los mismos y el equipo de medición. El luxómetro se ubico a una distancia de 1m y la tensión de alimentación del modulo fue de 30V. El modulo estuvo funcionando 1 hora, durante este tiempo no se observo cambio en el flujo luminoso del modulo, lo que fue nuestro primer indicio de que todo estaba funcionando correctamente.

Para realizar las mediciones, se preparó una habitación de manera tal de que no exista ninguna fuente de luz que pueda afectar las mismas. Tal condición se corroboró con la ayuda del luxómetro, modelo TM-201 de la empresa TENMARS [11], obteniéndose un valor de iluminancia cero antes de comenzar los ensayos. Luego, se ubicaron los LEDs sobre una pared, de manera tal de que exista una zona libre de elementos

que puedan afectar la medición, entre los mismos y el equipo de medición. El luxómetro se ubico a una distancia de 1m y la tensión de alimentación del modulo fue de 30V. El modulo estuvo funcionando 1 hora, durante este tiempo no se observo cambio en el flujo luminoso del modulo, lo que fue nuestro primer indicio de que todo estaba funcionando correctamente.

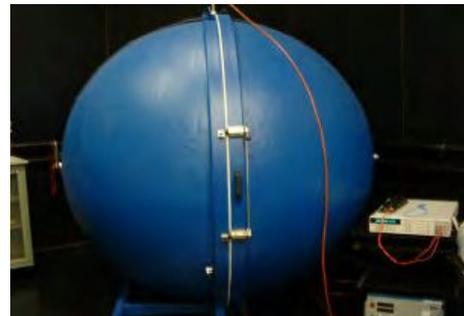


Figura 9.

La tensión sobre cada LED dio un valor de 3,2 V aproximadamente, y la corriente, arrojó un valor de 380 mA (establecido por la configuración de fuente de corriente del LM317). El valor de iluminancia obtenido fue de 180,4 Lux, valor el cual se considera dentro de lo esperado. Y la temperatura sobre la placa estuvo en los 35-40°C.

V. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha representado una muy buena herramienta para explicar conceptos relacionados a la cátedra donde el proyecto fue realizado. Además de brindar un acercamiento a los alumnos a una tecnología que está en pleno auge. En referencia al comportamiento del modulo, este ha tenido un desempeño satisfactorio cumpliendo las expectativas.

REFERENCIAS

- [1] <http://www.solociencia.com/ingenieria/07060505.htm>
- [2] http://www.pantallasled.com.mx/productos/iluminacion_exterior/
- [3] http://www.probattery.com.ar/nueva/home_ilu.php
- [4] Iluminacion – Luz, Vision, Comunicacion. Tomo1 y 2 Asociacion Argentina de Luminotancia.
- [5] Datasheet LUW_W5PM_Pb_free.pdf. <http://catalog.osram-os.com/catalogue/catalogue.do?favOid=000000020001a48406900023&act=showBookmark>
- [6] AN-181 3-Terminal Regulator isAdjustable. <http://www.national.com/an/AN/AN-181.pdf>
- [7] http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NUD4700-D.PDF
- [8] http://www.littelfuse.com/data/en/Data_Sheets/Littelfuse_PLED6.pdf
- [9] Thermal_Management_Of_Golden_dragon_Led.pdf <http://catalog.osram-os.com/catalogue/catalogue.do?act=showBookmark&favOid=000000000002529300090023>
- [10] <http://inarci.com.ar/>
- [11] <http://www.tenmars.com/cetacean/front/bin/ptdetail.phtml?Part=TM-201&Category=115301>