

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DE COMUNICACIONES



Trabajo Fin de Grado

ESCUELA POLITECNICA
SISTEMA DE ILUMINACIÓN PORTÁTIL
LED CON FIBRA ÓPTICA
SUPERIOR

Autor: Javier BENITO BLANCO

Tutor/es: Óscar ESTEBAN MARTÍNEZ

2020

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones

Trabajo Fin de Grado
SISTEMA DE ILUMINACIÓN PORTÁTIL
LED CON FIBRA ÓPTICA

Autor: Javier Benito Blanco

Tutor/es: Óscar Esteban Martínez

TRIBUNAL:

Presidente: Carlos Julián Martín Arguedas

Vocal 1º: Sonia Martín López

Vocal 2º: Óscar Esteban Martínez

FECHA: 4 de diciembre 2020

“Mil puntos. ¡Hemos ganado! Volvemos a casa con el carro blindado”

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, gracias a la educación y apoyo durante estos años.

*A todos mis compañeros y profesores,
especialmente a mi tutor Óscar Esteban Martínez,
por su guía durante este trabajo.*

ÍNDICE GENERAL DEL TFG

RESUMEN	6
PALABRAS CLAVE	6
ABSTRACT	7
KEYWORDS.....	7
Capítulo 1º INTRODUCCIÓN	8
1.1. Objetivos:.....	8
1.2. Estado del arte.....	9
1.2.1. Incandescencia - Halógenas.....	11
1.2.2. Electroluminiscencia - LED	12
Capítulo 2º PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	19
2.1. Emisión LED Nichia NSPW500GS-K1	19
2.2. Iluminación con Fibra.....	21
2.3. Pérdidas de la fibra y acople a LED	23
2.4. Fundamentos Electrónicos.....	26
Capítulo 3º DISEÑO.....	27
3.1. Diseño del circuito electrónico	27
3.1.1. Cálculo señal pulsada	28
3.1.2. Cálculo Resistencia de protección	34
3.1.3. Ajuste de Intensidad luminosa:	36
3.2. Softwares de diseño y simulación	37
3.3. Simulaciones	37
3.4. Diseño PCB	41
3.5. Pruebas realizadas	44
3.5. Análisis de medidas.....	49
3.6. Montaje prototipo	51
Capítulo 4º CONCLUSIONES.....	53

4.1. Conclusión.....	53
4.2. Trabajos futuros.....	53
Bibliografía	55
Anexos	57
1.- Anexo I. Hojas de características LED Nichia NSPW500GS-K1	57
2.- Anexo 2. Hoja de características Fibra Óptica (POF) Mitsubishi CK-40.....	67
3.- Anexo 3. Hoja de características Acoplador 5mm Though-Hole LED	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuente halógena	8
Figura 2. Esquema Fuente de iluminación LED	9
Figura 3. Emisión espontanea.....	10
Figura 4. Emisión estimulada	10
Figura 5. Clasificación Fuentes luminosas artificiales	11
Figura 6. Espectro lámpara incandescente	12
Figura 7. LED Diagrama de Energía	13
Figura 8. Función de sensibilidad del ojo y eficacia luminosa	15
Figura 9. Formas de obtención de la luz blanca	16
Figura 10. Corriente Directa vs Flujo Luminoso Relativo.....	20
Figura 11. Valores Máximos Absolutos LED	21
Figura 12. Ángulo límite de incidencia hacia la fibra	23
Figura 13. Espectro de emisión LED NSPW500G(S)-K1	24
Figura 14. Gráfica pérdidas transmisión POF CK-40.....	24
Figura 15. Esquema posible acople LED-Lente-Fibra	25
Figura 16. Acople LED-Fibra.....	26
Figura 17. Diseño propuesto	27
Figura 18. Ejemplo de Señal pulsada buscada	29
Figura 19. Esquemático y pines LM555	30
Figura 20. Configuración Astable básica	30
Figura 21. Carga y descarga del Condensador principal	31
Figura 22. Indicación Ton en señal pulsada.....	33
Figura 23. Voltaje Directo vs Corriente Directa.....	35
Figura 24. Circuito cálculo Rp.....	35
Figura 25. Corriente Directa vs Luminosidad.....	36

Figura 26. Circuito creado para Simulación	38
Figura 27. Voltaje salida pulsada(V1) Im555.....	39
Figura 28. Voltaje Directo máximo (V_{fLED}).....	39
Figura 29. Corriente Directa máxima (I_{FPMAX})	40
Figura 30. Periodo I_{FPMAX}	40
Figura 31. Periodo nivel alto (Ton).....	41
Figura 32. Diseño para PCB Multisim versión escritorio.....	42
Figura 33. PCB modelado	42
Figura 34. Modelado circuito 3D.....	43
Figura 35. Modelado Pistas Copper Top.....	43
Figura 36. Circuito pruebas protoboard	44
Figura 37. Voltaje salida pulsada(V1) Im555.....	45
Figura 38. Tren pulsos tensión Señal pulsada principal V_{FP}	45
Figura 39. Tren pulsos tensión Señal pulsada principal V_{FP}	46
Figura 40. Tren pulsos tensión Señal pulsada principal V_{FP}	46
Figura 41. Medición Iluminancia con alimentación pulsada	47
Figura 43. Medición Iluminancia con alimentación continua	48
Figura 44. Corriente directa vs Luminosidad relativa(a.u.)	49
Figura 45. Voltaje directo vs Corriente Directa	50
Figura 46. Temperatura ambiente vs Voltaje Directo y Temperatura Ambiente vs Luminosidad relativa.....	50
Figura 47. Temperatura ambiente	51
Figura 48. Montaje Fuente portátil	52
Figura 49. Montaje fuente portátil lado acoplador	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación LED según longitud de onda y composición	14
Tabla 2. valores de tensión de polarización promedio de colores LED	15
Tabla 3. Comparativa LED vs Halógenas.....	18
Tabla 4. Principales características LED BLANCO NSPW500GS-K1.....	19
Tabla 5. Valores máximos señal pulsada LED	28
Tabla 6. Principales ecuaciones Astable	32

RESUMEN

Benito Blanco, J. (2020). *SISTEMA DE ILUMINACIÓN PORTÁTIL LED CON FIBRA ÓPTICA*. Trabajo de Fin de Grado. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.

Este proyecto consiste en el diseño y montaje de un Sistema de iluminación portátil basado en un LED blanco acoplado a fibra óptica que será empleado en laboratorios de fisiología para especímenes de pequeño tamaño donde es necesaria una iluminación de alta precisión y claridad, ya que objetivo es la iluminación de fibras nerviosas de los mismos.

El resultado final supone un circuito alimentado con batería de 9 Voltios que permite la excitación del LED con una señal cuadrada con la máxima emisión de luz sin comprometer su funcionamiento y duración. El acoplamiento del LED con un latiguillo de fibra óptica de 1 mm de diámetro permite la iluminación interna de especímenes vivos de tamaño reducido.

Una funcionalidad propuesta al desarrollo es la capacidad de variar la frecuencia de excitación del LED para ensayos en los que se requiera identificar respuestas temporales, así como variar la intensidad de la iluminación del espécimen

PALABRAS CLAVE

LED, fuente, portátil, alimentación, pulsada, 555, fibra, frecuencia

ABSTRACT

Benito Blanco, J. (2020). PORTABLE LED LIGHTING SYSTEM WITH FIBER OPTICS.
Final degree project. Alcalá de Henares: University of Alcalá.

This project consists of the design and assembly of a portable lighting system based on a white LED coupled to an optical fiber that will be used in physiology laboratories for small specimens where it is necessary a high precision and clarity lighting, since the objective is the illumination of nerve fibers of them.

The final result is a circuit powered by a 9 Volt battery that allows the excitation of the LED with a square signal with maximum light output without compromising its operation and duration. The coupling of the LED with a 1 mm diameter fiber optic whip allows the internal illumination of small live specimens.

One feature proposed to the development is the ability to vary the excitation frequency of the LED for tests where it is necessary to identify temporary responses, as well as to vary the intensity of the illumination of the specimen

KEYWORDS

LED, source, portable, power, pulsed, 555, fiber, frequency

Capítulo 1º INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos:

En el estudio de la neurofisiología del dolor se impone la necesidad de disponer de iluminación de especímenes de la máxima calidad y precisión. Actualmente en los laboratorios de fisiología de la universidad de Alcalá se disponen de fuentes de iluminación de luz fría conectadas directamente a la red eléctrica, de tamaño considerable y con los inconvenientes de la introducción de ruido proveniente de la red a las señales bioeléctricas registradas de los especímenes analizados en el laboratorio. Además, aunque son fuentes móviles, sus dimensiones hacen que su portabilidad sea reducida. La estructura básica supone una lámpara halógena por la que se transmite una radiación emitida (luz) mediante fibras ópticas semirrígidas de hasta 1 centímetro de diámetro, mucho mayor del requerido para su uso en las distintas intervenciones con especímenes pequeños en los que además se requiere iluminación interna, donde se desea que se ilumine lo más cerca posible a la parte que se necesita ver, algo inviable con las fuentes actuales, como se muestra en las figura 1, por su gran tamaño, teniendo que iluminar espécimen desde el exterior a cierta distancia, y siendo más complicado su traslado a otras ubicaciones.

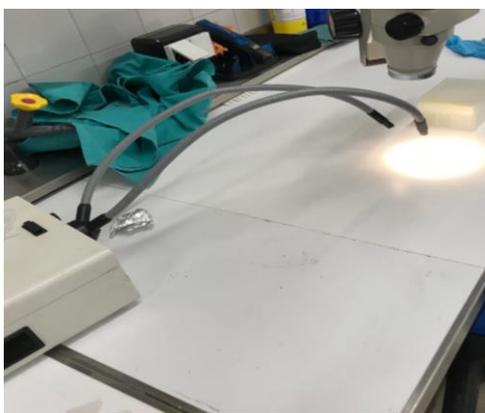


Figura 1. Fuente halógena

Por todo ello, es por lo que se propone un esquema basado en un driver con un circuito electrónico que activa un LED blanco de alta luminosidad, acoplado a una única fibra de 1 mm de diámetro resolviendo los principales problemas existentes, en cuanto a necesidad de mayor precisión en la localización especial de la iluminación de las operaciones de laboratorio, como la portabilidad y manejabilidad al ocupar menos espacio y tener alimentación

independiente de la red eléctrica, con un coste más económico, y además, proveyendo de tres distintos rangos frecuenciales de emisión de cara a experimentos y aplicaciones del laboratorio. A continuación, se muestra en la figura 2 el esquema general del diseño de la fuente propuesta.

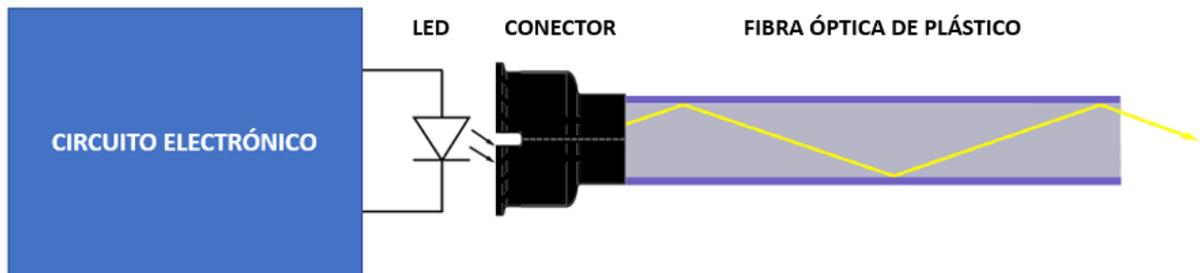


Figura 2. Esquema Fuente de iluminación LED

Se observa en la figura 2, que la fuente dispone de 4 partes principales que afectarán a su rendimiento óptimo, estudiándose y escogiendo cada una con detenimiento para su mejor funcionamiento. La primera empezando por la izquierda, corresponde al circuito de alimentación del LED, cuya principal función es la de proporcionar una corriente directa al LED en forma de una señal pulsada (con frecuencia mayor que 60Hz, a partir de la cual el ojo humano no es capaz de percibir ese parpadeo ultrarrápido) que lo haga funcionar en un estado de alto rendimiento de iluminación que no es posible mantener con corriente continua porque se quemaría el LED. Después se encuentra el LED, escogido con unas características de emisión específicas como la de alta luminosidad, bajo ángulo de emisión y capacidad de trabajo con señal pulsada. En la tercera parte se tiene de un elemento acoplador LED-Fibra, y por último se presenta la fibra óptica de plástico, un tipo específico de fibra que por sus características detalladas más adelante resulta conveniente en esta aplicación.

1.2. Estado del arte

En general, el principio de funcionamiento de una fuente de iluminación se basa en la conversión de energía en radiación electromagnética. La base de la emisión de radiación es la interacción radiación-materia y se realiza a nivel atómico mediante un proceso físico, donde el método para emitir radiación en forma de fotones implica la excitación de materia, y según esa forma de excitación se pueden clasificar los diferentes tipos de emisores de radiación. Estos procesos de aumento de energía atómica pueden provocarse de varias formas:

calentamiento, sometimiento a campos eléctricos o magnéticos, sometiendo en un gas a esfuerzos de compresión y recombinando átomos ionizados con electrones.

Una de las maneras más básicas de clasificar las fuentes de luz, es según el tipo de radiación emitida, donde se producen dos procesos microscópicos elementales de la interacción radiación-materia, en ambos procesos se emite luz, pero la diferencia radica en su origen, lo que se denomina emisión estimulada o emisión espontánea [1]. Lo que concierne al presente proyecto, es la emisión espontánea, siendo además el más común ya que se da en la totalidad de los tipos de fuentes luminosas, incluyendo la fuente utilizada en la aplicación propuesta, un LED, y el tipo de fuente de la que se parte, una incandescente (incluso se da en fuentes naturales como lava o estrellas). La emisión estimulada se da en fuentes específicas como el láser y fuentes superluminiscentes, son procesos atómicos similares en los que se induce la creación de un nuevo fotón, siendo la diferencia que en la estimulada se induce por radiación propia produciendo un nuevo fotón cuando el átomo pasa a un estado de un nivel de energía menor [2], como se ilustra en las siguientes figuras 3 y 4.

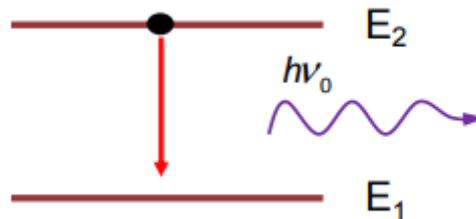


Figura 3. Emisión espontánea

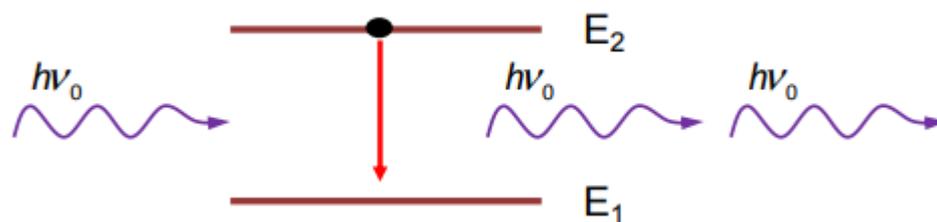


Figura 4. Emisión estimulada

Atendiendo a los diferentes criterios de clasificación, se pueden distinguir fuentes de iluminación: naturales, artificiales, emisión espectral, coherentes, incoherentes, patrón espacial de emisión... A continuación, se presenta en la figura 5 con la clasificación de las fuentes luminosas artificiales, ya que son las que concierne en este caso, debido a que en esta clasificación se encuentran los dos tipos de fuente que, estudiadas en el presente proyecto, contextualizando las ramas de donde provienen entendiendo los principios básicos de su funcionamiento.

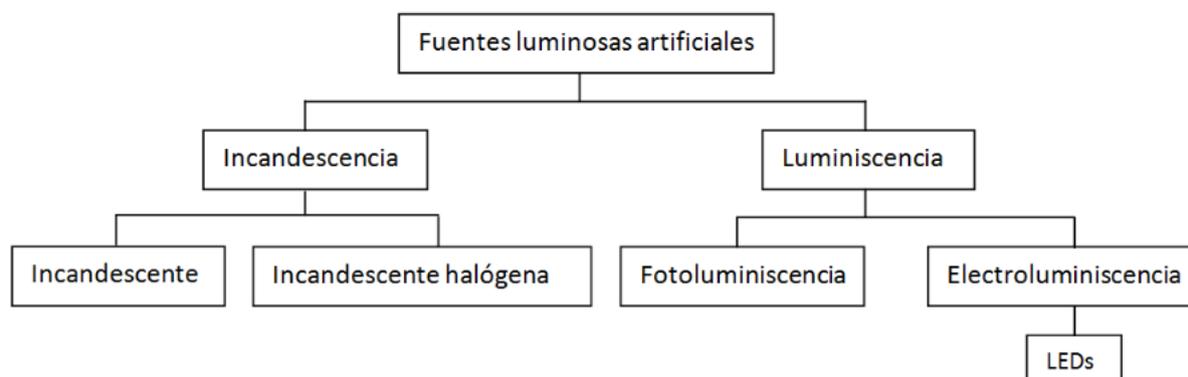


Figura 5. Clasificación Fuentes luminosas artificiales

Cada una de ellas con sus características específicas que se enumeran a continuación. La incandescencia trata de emitir luz mediante el calor, provocando una emisión de radiación electromagnética al calentar lo suficiente un determinado cuerpo. En la luminiscencia, al contrario, es una emisión por “Luz fría” donde el cuerpo emite radiación a condiciones de temperatura ambiente o baja.

Se va a realizar una comparación entre las fuentes empleadas actualmente en el laboratorio de fisiología de la UAH, de tipo halógeno, con las del tipo LED, el tipo de fuente elegida para este proyecto, además de las más empleadas y vendidas en el mercado.

1.2.1. Incandescencia - Halógenas

Este tipo de lámparas son una variante de las Incandescentes con un filamento de tungsteno dentro de un gas inerte y halógeno, filamento y gases encuentran un equilibrio químico de manera que se mejora el rendimiento del filamento y aumenta su vida útil, tolerando lámparas con menor tamaño y potencias superiores ya que soportan mejor las temperaturas altas.

Poseen una eficacia luminosa de 18 a 25 lm/W por la mayor temperatura alcanzada de su filamento, superior al de las incandescentes convencionales que tienen de 12 a 15lm/W.

La vida de estas lámparas depende completamente de la duración del filamento, llegando a unas 2000 horas, en ocasiones se puede producir un repentino deterioro si la

posición de funcionamiento les produjo disipaciones térmicas, haciendo trabajar a una parte específica del filamento a superior temperatura.

En la figura 6 se muestra el espectro de emitido por una lámpara incandescente halógena, con una reproducción del color de 100 por definición.

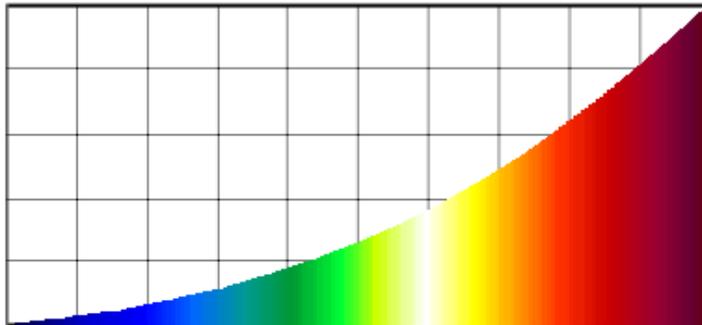


Figura 6. Espectro lámpara incandescente [5]

Hace algunos años las fuentes incandescentes eran las más empleadas en sectores como el comercial y el residencial debido a su buena iluminación haciendo que los objetos se vean con unos colores nítidos y reales, similares a la luz natural, y también a su reducido precio. Hoy en día todavía se utilizan y comercializan, pero en menor frecuencia debido a la mejora de la eficiencia tecnológica de sus competidoras. La luz halógena al ser muy blanca y brillante, se ha empleado históricamente para alumbrados interiores o focalización para zonas de trabajo por sus características superiores a otras fuentes luminosas del momento, por ejemplo, la fuente de iluminación de los laboratorios de fisiología a sustituir por el nuevo diseño del presente proyecto, que se ha utilizado durante estos años para el enfoque en los estudios fisiológicos

1.2.2. Electroluminiscencia - LED

La propuesta de este proyecto implica la sustitución de una fuente de iluminación basada en una lámpara halógena, por un sistema basado en LED. El mecanismo de funcionamiento del LED es la electroluminiscencia, la excitación de la materia por medio del paso de corriente eléctrica, transformándose a final de proceso en luz.

El LED, "Light-Emitting Diode", Diodo Emisor de Luz en castellano, es un emisor de luz formada por un material semiconductor con dos terminales, es decir es un diodo de unión p-n que produce luz cuando se aplica tensión suficiente entre los terminales, los electrones se

recombinan con los huecos en la región p-n liberando energía en forma de fotones, es lo que se denomina electroluminiscencia. La anchura de la banda prohibida del semiconductor determina la frecuencia de onda de radiación emitida (color de luz generado). El material tipo P es el ánodo y el tipo N el cátodo del diodo [3].

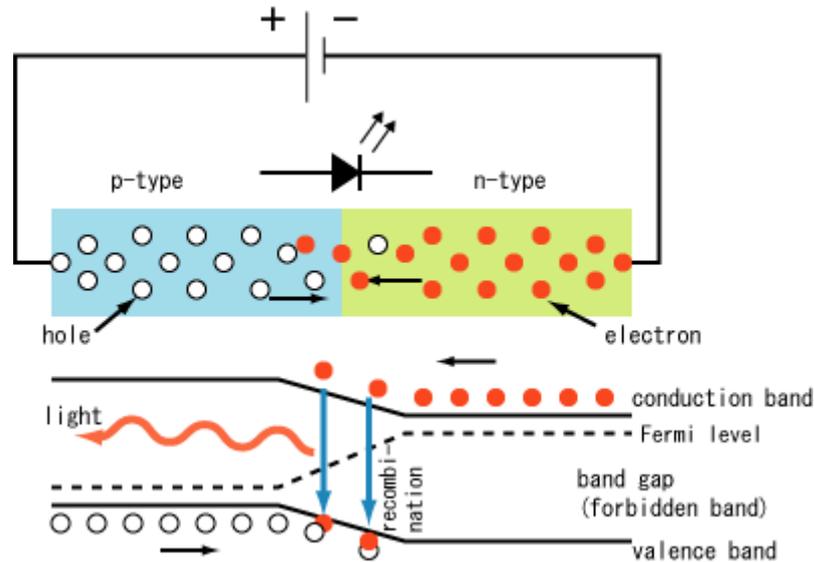


Figura 7. LED Diagrama de Energía [14]

En la figura 7, se puede apreciar un LED en Polarización directa de la unión *p-n*. En la parte superior, la creación de fotones a consecuencia de la recombinación entre electrones y huecos, mientras que, en la parte inferior de la figura, se tiene la recombinación vista en un diagrama de bandas de energía.

La cantidad de energía que contiene cada fotón liberado es proporcional a la frecuencia de la radiación que resulta, por consiguiente, al color emitido, por mediación de la denominada constante de Planck

$$E = h \times \nu$$

Siendo *E* la energía del fotón, *h* la constante de Planck y *ν* la frecuencia de radiación producida por el del fotón [4].

Por lo que, si la energía liberada al recombinarse los electrones es pequeña, el diodo emitirá en forma de ondas infrarrojas de baja frecuencia, pero si la energía liberada por los electrones es mayor, las ondas electromagnéticas emitidas por el diodo consecuentemente serán de una frecuencia superior, y, por tanto, el diodo pasa a emitir luz infrarroja a luz visible. El color de LED del material semiconductor elegido porque la energía de la banda prohibida coincide con la energía del fotón emitido, en la tabla 1 se ilustran las distintas composiciones,

en la que sus elementos, pertenecientes a la tabla periódica ofrecen una longitud de onda y espectro distinto.

Tabla 1. Clasificación LED según longitud de onda y composición [15]

Composición del chip	Nombre del compuesto	Color de la luz emitida	Tensión de trabajo en volt (V)	Frecuencia en hertz (Hz)	Longitud de onda en nm
GaAs	Arseniuro de galio	Infrarrojo	< 1,9	< $4,0 \times 10^{14}$	> 760
GaAlAs	Arseniuro de galio y aluminio				
GaP	Fosfuro de galio				
GaAlAs	Arseniuro de galio y aluminio		$\pm 1,8$	$4,8 - 4,0 \times 10^{14}$	610 - 760
AlInGaP	Fosfuro de aluminio indio y galio				
GaAsP/GaP	Fosfuro de galio y arsénico / Fosfuro de galio				
AlInGaP	Fosfuro de aluminio indio y galio		$\pm 2,0$	$5,1 - 4,8 \times 10^{14}$	590 - 610
GaAsP/GaP	Fosfuro de galio y arsénico / Fosfuro de galio				
AlInGaP	Fosfuro de aluminio indio y galio				
GaP	Fosfuro de galio		$\pm 3,0$	$5,3 - 5,1 \times 10^{14}$	570 - 590
InGaN	Nitruro de indio y galio				
GaN	Nitruro de galio				
InGaN / Zafiro	Nitruro de indio y galio / Zafiro		$\pm 3,3$	$5,8 - 5,3 \times 10^{14}$	500 - 570
SiC	Carburo de silicio				
InGaN / Zafiro	Nitruro de indio y galio / Zafiro				
GaN	Nitruro de galio		$\pm 3,3$	$6,7 - 6,0 \times 10^{14}$	450 - 500
InGaN / Zafiro	Nitruro de indio y galio / Zafiro				
InGaN	Nitruro de indio y galio				
GaN	Nitruro de galio	Ultravioleta	$\pm 3,4$	$7,9 - 6,7 \times 10^{14}$	
GaN	Nitruro de galio		$\pm 3,7$	$>7,9 \times 10^{14}$	< 400
Ce:YAG	Granate-aluminio-itrio, dopado de cerio		$\pm 3,4$	Espectro completo	Espectro completo

Los voltajes de operación para los que está diseñado cada LED van de un rango desde 1,8 V hasta los 3,8V, dependiendo también de sus materiales, y, por tanto, la longitud de onda a la que emita). A mayor gap (que depende del material), mayor energía de la radiación emitida y necesita de mayor tensión de polarización. En la siguiente figura se muestra una tabla con las tensiones de polarización nominales promedio para distintos colores, el que interesa en aras de una mayor reproducción cromática es el blanco.

Tabla 2. valores de tensión de polarización promedio de colores LED

Color	Diferencia de Potencial (V.)
Infrarrojo	≤ 1.6
Rojo	1.8 V – 2.2
Naranja	2.2 V – 2.3
Amarillo	2.3 V – 2.6
Verde	2.6 V – 3.2
Azul	3.0 V – 3.5
Blanco	3.0 V – 3.5
Ultravioleta	≥ 3.5

Pero el ojo humano no aprecia de misma manera las longitudes de onda existentes. En condiciones de visión diurna se responde mejor a radiación con longitudes de onda en torno al amarillo(585nm), mientras que tiene peor respuesta a tonos rojizos (630nm) y azulados(470nm), esto se aprecia en la figura 8, donde se muestra la respuesta del ojo humano a la radiación visible [6] según la comisión internacional de iluminación (CIE).

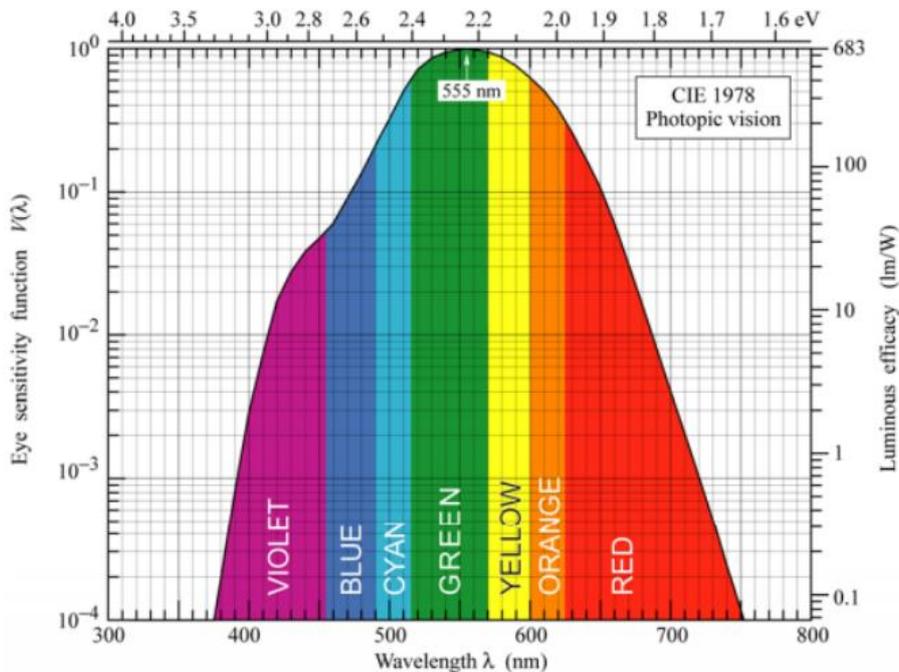


Figura 8. Función de sensibilidad del ojo y eficacia luminosa

Con la aparición del LED azul, se dio el comienzo de un importante desarrollo de los dispositivos SSL (Solid State Lighting), un tipo de denominación que hace referencia a que la luz es emitida por un objeto sólido, generalmente un semiconductor, a diferencia de otro tipo como bombillas incandescentes o fluorescentes donde la luz es emitida por componentes en otro estado o que intervienen en su emisión. Se dio este desarrollo debido a que con el LED azul era posible crear luz blanca de una nueva forma, como se representa en la siguiente figura.

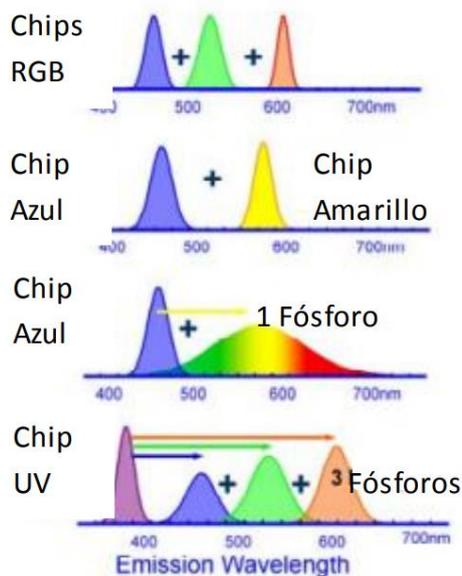


Figura 9. Formas de obtención de la luz blanca [5]

Como se ilustra en la figura 9, se dispone de cuatro maneras de obtener la luz blanca en los dispositivos de estado sólido: combinando los tres colores primarios, combinando ciertas proporciones de LED Azul + LED amarillo, empleando un LED Ultravioleta que excita 3 fósforos (rojo, verde y azul) y por último la más utilizada en la actualidad, que empleará el LED de alta luminosidad escogido para este proyecto, utilizando un chip azul + fósforo amarillo.

El LED escogido para la fuente requerida es un diodo de alta luminosidad, según marcan las pautas y evoluciones tecnológicas de la actualidad, de una luz blanca muy potente según el último método comentado, mediante un chip Azul + fósforo amarillo, donde el fósforo absorbe una parte de la luz azul y emite una proporción de luz amarilla, logrando así el resultado de luz blanca, método denominado PC con acrónimo *Phosphor Conversion* [7].

Se van a nombrar las ventajas principales de la tecnología LED frente a otras tecnologías y también a la halógena, dando sentido a la elección tecnología para la fuente de iluminación diseñada en este proyecto. Ventajas [8][9][4] específicas LED son:

- Temperatura de trabajo, no interfiriendo en la temperatura ambiente por su reducido tamaño y tecnología, aunque como se estudiará en este trabajo, la disipación de calor podría afectar a su rendimiento y desgaste.
- Direccionalidad de emisión de luz, disponiendo de ángulos reducidos de hasta 15° gracias a la lente que modula su emisión.
- Tamaño pequeño y variable gracias al gran catálogo existente en el mercado, permite encontrar uno de tamaño idóneo para las necesidades de iluminación, acople a conector fibra y portabilidad.
- Bajo consumo, requieren poca potencia para misma cantidad de luz que otras tecnologías anteriores. Incluido para este caso en el que se necesita una alimentación más alta de lo normal para llegar a los valores exigidos de alimentación pulsada, con una pila de 9 Voltios(6LR61/MN1604) es suficiente.
- Compatibilidad con sistemas electrónicos
- Evitar emisiones Infrarrojas o Ultravioleta
- Mayor durabilidad y pérdida de luminosidad con el tiempo en comparación con otros emisores. Pero el tiempo de uso o tipo alimentación, son factores que afectan a esas características, por lo que se estudiará y comprobarán para el caso de uso presente.

En la tabla 3 se muestra una comparativa resumen de ventajas e inconvenientes entre LED y halógenas, de la que se concluye que como se viene detallando, el LED tiene mayores beneficios no solo para la realización de este proyecto, sino también a nivel general, de utilización en numerosos ámbitos.

Tabla 3. Comparativa LED vs Halógenas

LEDs		HALÓGENAS	
Ventajas	Inconvenientes	Ventajas	Inconvenientes
Gran Eficiencia energética Luz similar con un 15% de energía de las halógenas	Sensibilidad a temperaturas altas (65°C aprox. Llegando a quemarse)	Mayor resistencia a temperaturas altas	Poca eficiencia energética, mayor gasto energético y por ende económico
Vida útil muy superior (15000h vs 2000h) Mayor rentabilidad a largo plazo	Coste inicial superior. (Disminuye gradualmente por su mayor fabricación en volumen)	Coste inicial inferior	Duración inferior, menor rentabilidad a largo plazo debido a consumo y duración
Emisiones de calor 20% como máximo de la energía total			Emisiones de calor 90% como máximo de la energía total
Rápido encendido (sin necesidad de calentamiento)			Prohibida su fabricación en UE tras normativa del 1 de septiembre de 2018
Mayor usabilidad mundo real (semáforos, señales de tráfico, letreros...)			Perjudiciales para el medio ambiente en material y gasto energético

Capítulo 2º PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

2.1. Emisión LED Nichia NSPW500GS-K1

En la selección de este LED se han tenido en cuenta varios requisitos del sistema de iluminación que se ha diseñado, que son fundamentales para la obtención de la iluminación deseada por la fuente. Estos requisitos necesarios para el LED, en base a las necesidades de la fuente comentadas al principio de esta memoria, son:

- Bajo ángulo de emisión
- Tamaño compatible con fuente deseada para fibra 1mm
- Alta luminosidad
- Posibilidad de alimentación pulsada (alta eficiencia)
- Alta reproducción cromática (LED Blanco)

Para la fabricación de la fuente idónea se deben de tener en cuenta algunas características de los LED que sean las más convenientes para su uso, en relación con la iluminación, ángulo de emisión, eficiencia y coste. Por ello, el LED seleccionado para la aplicación es el LED Nichia de 5mm blanco NSPW500GS-K1 de alta luminosidad (44 000mcd), con un ángulo de emisión de 15°, teniendo también la posibilidad de llevarlo a zona de máxima eficiencia alimentándolo según pulsos de determinadas características de frecuencia y ancho de pulso indicados en las hojas de características para los que su luminosidad es máxima. A continuación, se muestra en la tabla 4 resumen de las principales cualidades principales en base a las cuales se ha seleccionado el LED de alta luminosidad Nichia NSPW500GS-K1 que se han obtenido de sus hojas de características [Anexo 1].

Tabla 4. Principales características LED BLANCO NSPW500GS-K1.

Color	Blanco
Diámetro	5 mm
Intensidad luminosa media(20mA)	33 cd
Angulo de emisión	15 °
Corriente directa pulsada (Max)	100mA
Flujo luminoso relativo(100mA)	138.6 cd
Condiciones Corriente pulsada Directa (I _{FP})	Ancho pulso ≤10ms y Ciclo de trabajo≤10%

El flujo radiante, es la energía radiada por la fuente por unidad de tiempo, midiéndose en vatios, mientras que el flujo luminoso (o Intensidad radiante en radiometría medida en W/sr) es la correspondiente parte de esa energía percibida como luz (Flujo visual), medido en lúmenes. En la siguiente imagen de la figura 10 se presenta la relación del flujo luminoso(relativo) entre la corriente directa del LED para una temperatura fija de 25°C, ya que la emisión de un LED depende de la corriente de inyección. Se debe tener en cuenta que según la tabla de valores máximos absolutos de sus hojas de características [Anexo 1] la corriente directa máxima es de 30mA que se ilustra en la figura 10.

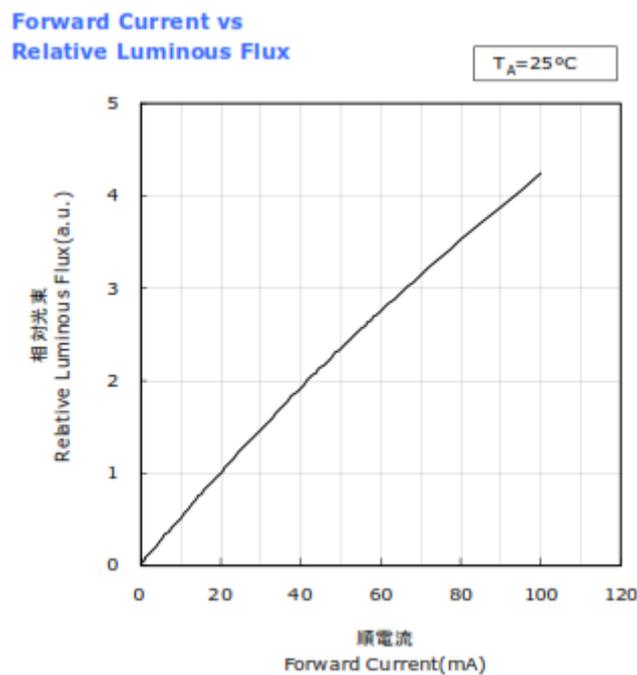


Figura 10. Corriente Directa vs Flujo Luminoso Relativo

El objetivo es acercarse mediante la técnica de alimentación pulsada a corrientes directas cercanas a los 100mA ya la corriente directa máxima en continua son 30mA según las hojas de características [Anexo 1], para obtener la mayor eficiencia luminosa, donde la intensidad luminosa emitida se puede obtener multiplicando el valor medio de intensidad luminosa (33cd a los I_F=20mA) por el valor de flujo luminoso relativo (unidad arbitraria) por Corriente directa(mA), es decir:

$$I_v = 33 \text{ cd} \times 4,2(\text{a.u.}) = 138.6\text{cd}$$

pero se han de tener en cuenta parámetros como la temperatura, provocando modificación de rendimiento del LED. Además, la luminosidad relativa, que afectará al flujo luminoso percibido por el ojo humano en función de la frecuencia de parpadeo del LED.

En lo relativo a la alimentación por señal pulsada, las hojas de características del fabricante indican un valor absoluto máximo de alimentación por señal pulsada de 100mA como se remarca en rojo en figura 11, además, se indica que son para una temperatura ideal de 25°C, por lo que se deduce que pueden existir alteraciones en los resultados finales esperados por influencia de la temperatura o calentamiento del LED. También se puede observar en la figura 11 remarcados en la parte más inferior en rojo, los valores mínimos de la señal de Corriente Directa Pulsada, de un ancho de pulso de 10 ms, y un ciclo de trabajo de 10%.

(1) Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	I_F	30	mA
Pulse Forward Current	I_{FP}	100	mA
Reverse Voltage	V_R	5	V
Power Dissipation	P_D	105	mW
Operating Temperature	T_{opr}	-30~85	°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40~100	°C
Junction Temperature	T_J	100	°C

* Absolute Maximum Ratings at $T_A=25^\circ\text{C}$.

* I_{FP} conditions with pulse width $\leq 10\text{ms}$ and duty cycle $\leq 10\%$.

Figura 11. Valores Máximos Absolutos LED

2.2. Iluminación con Fibra

En los últimos años se han desarrollado todo tipo de tecnologías para mejorar la iluminación, entre ellas la Fibra Óptica de plástico (POF), que es con la que se ha decidido contar para el diseño de esta fuente de iluminación. La fibra óptica empleada para la fuente será la CK-40, una POF de alto rendimiento del fabricante Mitsubishi Chemical Co de 1mm de diámetro.

Las POF se fabrican con materiales plásticos (Poliestireno, policarbonatos y polimetil metacrilato) siendo más económicas que las de vidrio [11], aunque presentando mayores pérdidas es una gran desventaja frente a estas, para el caso presente, como se detalla más adelante no son pérdidas significativas, y su reducido precio son una de las principales razones de su selección.

A continuación, se listan las características de esta fibra por las que se ha decidido emplear en este proyecto de fuente de iluminación:

- Componentes sencillos y económicos
- Flexible, lo que también la hace tolerante a curvaturas, vibraciones y choques, buenas cualidades para el tipo de empleo que se le va a dar en operaciones de laboratorio donde necesitará de ajustarse para iluminación de especímenes.
- Peso ligero
- Compatibilidad con conectores para LED

Para este tipo de utilización las POF es idónea, ya se emplea en numerosas aplicaciones industriales para distancias cortas. De los poco inconvenientes que tiene, es que desde el punto de vista medioambiental no se puede reciclar al estar hecha por polímeros, y en caso de quemarse de la misma, produce unos gases perjudiciales para la salud.

La radiación se propaga de manera confinada, y la base geométrica es la reflexión total interna [10]. Para que esta se produzca deben cumplirse ciertas condiciones, que son:

- Índice de refracción Núcleo(n_1) > Índice de refracción del revestimiento (n_2)
- Ángulo de incidencia de la luz debe ser mayor al ángulo crítico, calculado a través de la ley de Snell:

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

En el caso de la POF actual CK-40, el índice de refracción del núcleo ($n_1=1.49$) es superior al del revestimiento, ya que este último según indican sus hojas de características [Anexo 2] es de salto de índice (step index), esto quiere decir que es un perfil de índice escalonado donde el fabricante garantiza una fuerte disminución del índice de refracción en la relación núcleo-revestimiento, cumpliendo con la condición primera condición $n_1 > n_2$. Además, por la información que se observa en las mismas hojas de características [Anexo 2], indica que el material del revestimiento es un polímero fluorado, perteneciente a familias con índice de refracción entre 1.3-1.4.

Ahora, se va a realizar el cálculo del ángulo mínimo de incidencia (ángulo límite) de la fibra para comprobar que los rayos percibidos en su base provenientes del LED cumplan con tal condición. Sabiendo que la apertura numérica es $NA=0.5$ obtenida de las hojas de características de la fibra de plástico CK-40, partiendo de la definición de la apertura numérica para sistemas ópticos:

$$AN = n \text{ sen } \theta_1$$

Aplicando la definición anterior al caso presente, ilustrado en la figura 12, con n siendo el índice de refracción del aire ($n_0= 1,00029$) a efectos prácticos considerado como $n_0=1$, y $\theta_1= \theta_i$.

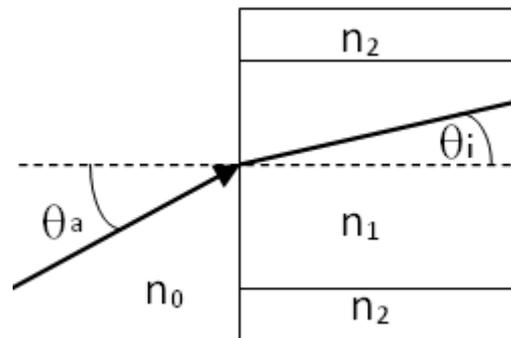


Figura 12. Ángulo límite de incidencia hacia la fibra

Se tiene finalmente un ángulo de incidencia resolviendo la ecuación:

$$\theta_i = \arcsen(NA) = \arcsen(0.5) = 30^\circ$$

2.3. Pérdidas de la fibra y acople a LED

En cuanto a pérdidas por atenuación, se deben principalmente al material de que está hecha la fibra y otros factores que van a afectar, como son la longitud de onda de transmisión del LED y la distancia, que, al ser de 1 metro en este caso, no serán pérdidas significativas. La longitud de onda en la que se va a hacer funcionar el LED es aproximadamente 450nm, la zona más eficiente, como objetivo principal, según se muestra en el su espectro documentado en las características ópticas de las hojas de características [Anexo 1] del LED NSPW500G(S)-K1, ilustrado en la siguiente figura 13.

Spectrum

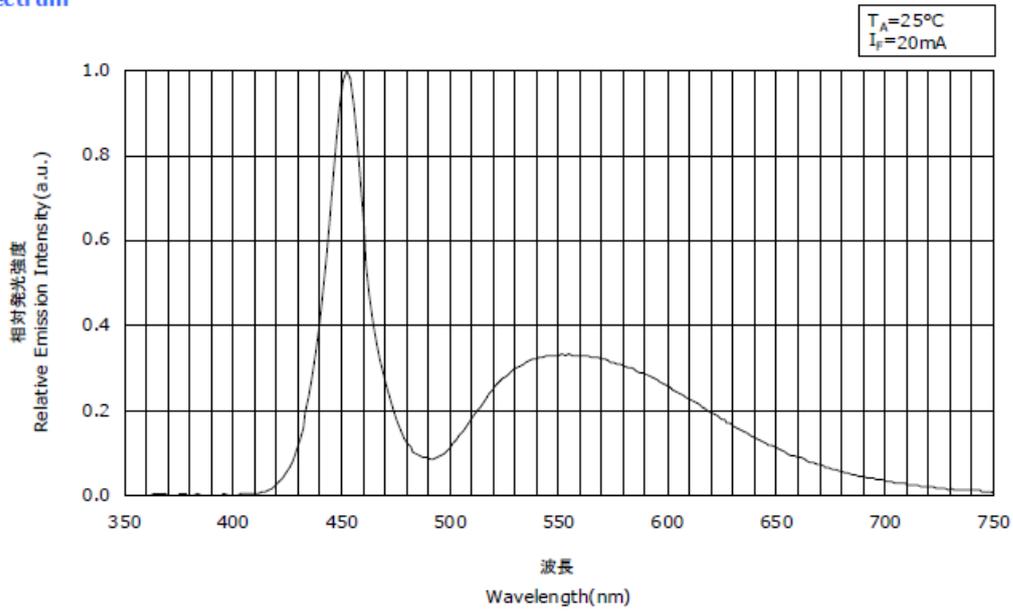


Figura 13. Espectro de emisión LED NSPW500G(S)-K1

Y en la gráfica de transmisión presentada en la figura 14 de la fibra óptica de plástico CK-40 se tienen las siguientes pérdidas para la longitud de onda del LED.

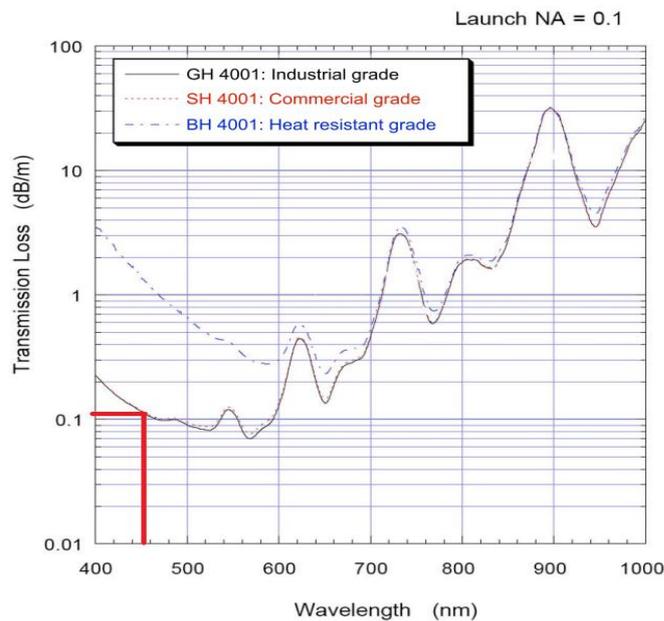


Figura 14. Gráfica pérdidas transmisión POF CK-40

Teniendo unas pérdidas de transmisión de 0.1 dB/km, ajustando a 1 m, se tienen unas pérdidas ínfimas que apenas afectarán al flujo lumínico:

$$0.1 \text{ dB/km} * 0.001 = 10^{-4} \text{ dB.}$$

Respecto a las pérdidas de acoplamiento, al tratarse de un LED, aunque su posea un ángulo de emisión bajo (10°), con diámetro en su lente de 5mm, el área de emisión de superficie es muy grande en proporción con el área de recepción de la fibra utilizada, CK-40 de aproximadamente 980 μm de diámetro de núcleo, con lo cual, cabría la posibilidad de interponer una lente para hacer coincidir las extensiones del LED y de la punta de la fibra, como se representa en la Figura 15.

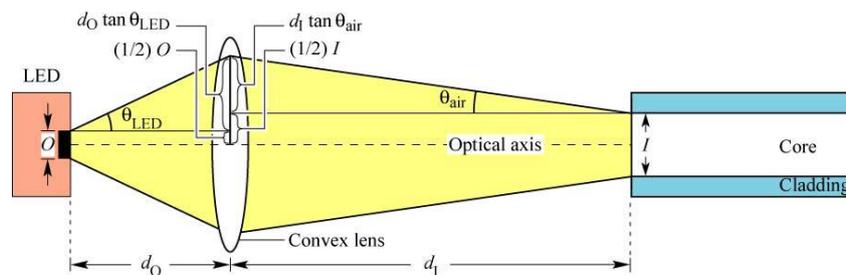


Figura 15. Esquema posible acople LED-Lente-Fibra [12]

Pero hay que tener en cuenta que la extensión de la fibra es más pequeña(1:5) teniendo un área de emisión mucho mayor que la del área receptora de la fibra(1mm de diámetro aproximadamente), por lo que solo puede captar una cantidad de brillo máxima de acuerdo a su extensión además de otras pérdidas (distancia, trabajo, fresnel...etc) entonces la mejor opción en cuanto a coste-eficiencia es colocar la punta de la fibra receptora de luz lo más pegada al LED posible[12]. Se concluye que el uso de la lente no mejora de manera significativa el acoplamiento de radiación y que lo único que haría es complicar el montaje.

Por lo que finalmente se ha seleccionado un acoplador LED-fibra de 5mm - 1mm con el que se consigue el objetivo de realizar el acople con la mínima distancia posible entre los dos como se observa en la siguiente figura 16 recogida de sus hojas de características [Anexo 3], como mejor solución y de coste menor.

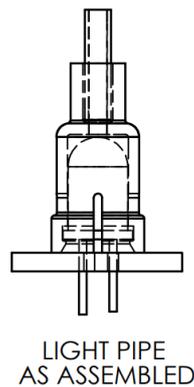


Figura 16. Acople LED-Fibra [Anexo 3]

2.4. Fundamentos Electrónicos

En esta parte se va a detalla la parte de la alimentación de LED, que será alimentado por una señal pulsada con los valores mínimos específicos de ciclo de trabajo y de ancho de pulso indicados en las hojas de características del diodo, como ya se ilustro en el apartado anterior de la emisión LED.

La idea de usar la señal pulsada con esas características es hacer trabajar al diodo LED en una zona de alto rendimiento lumínico durante periodos de tiempo mínimos, controlados por la frecuencia de esa señal, que al ser superior a 50Hz, el ojo humano percibirá la luz de manera continua sin percatarse de que el LED está apagándose y encendiéndose extremadamente rápido, con un flujo luminoso relativamente superior al obtenido en corriente continua. Además, se obtendrán otros beneficios añadidos por el empleo de esta alimentación, como evitar el sobre calentamiento ya que esta proporcionalmente una cuarta parte del tiempo encendido como mínimo respecto a la corriente continua.

Capítulo 3º DISEÑO

3.1. Diseño del circuito electrónico

En este apartado se explica cómo se ha realizado el diseño del circuito electrónico que alimenta y controla frecuencia de parpadeo del LED. En la figura 17 se muestra el circuito impreso desarrollado con los principales bloques marcados en color para explicar su función a continuación.

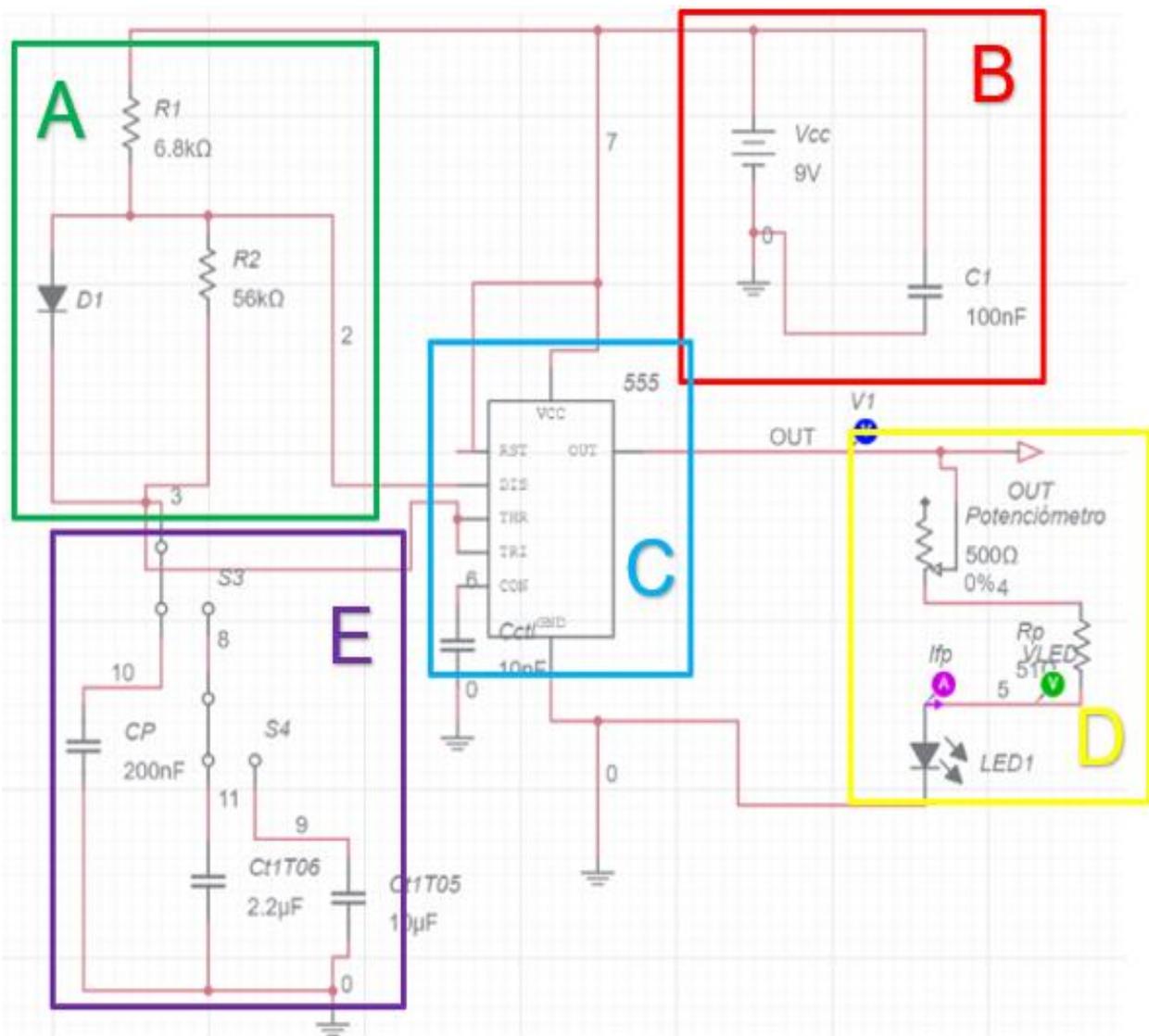


Figura 17. Diseño propuesto

Bloque A. Control del ciclo de trabajo de la señal pulsada mediante las resistencias por la que se carga y descarga el condensador seleccionado en el bloque E.

Bloque B. Alimentación general del circuito y condensador de 100nF para la eliminación de ruidos.

Bloque C. Integrado 555, con el que se obtiene la señal de alimentación hacia el LED objetivo.

Bloque D. Bloque de regulación del LED mediante la señal pulsada obtenida a salida del 555 otros elementos resistivos.

Bloque E. Selección de frecuencia de parpadeo LED

3.1.1. Cálculo señal pulsada

De acuerdo a los valores máximos proporcionados por el fabricante, y presentados en la tabla 5, el objetivo es alimentar el LED con una señal pulsada con un ciclo de trabajo mínimo de un 10%, ancho de pulso mínimo de 10ms y corriente directa máxima en nivel alto de 100mA. Así pues, los parámetros a configurar en el bloque D de alimentación del LED son:

Tabla 5. Valores máximos señal pulsada LED

Ciclo de trabajo	$D \leq 10\%$
Ancho de pulso	Pulse Width $\leq 10\text{ms}$
Corriente de pulso	$I_{FP} \leq 100\text{mA}$

Para la conseguir el objetivo principal, se realizará la configuración de un astable sobre el integrado 555. Un astable es un circuito que cambia de un estado a otro sin la intervención del exterior, es decir, para el caso actual, será un circuito configurado con el que se obtendrá la señal para que el diodo ilumine a máxima eficiencia según sus hojas de características.

Esta señal debe tener uno de los dos estados a nivel alto durante un máximo del 10% del total del periodo de la señal, como se indica en la tabla 5 ($D \leq 10\%$), un periodo menor de 10ms y una corriente máxima de 100 mA. Un ejemplo gráfico se ve en la figura 18 (producido durante las simulaciones) podría ser el siguiente:

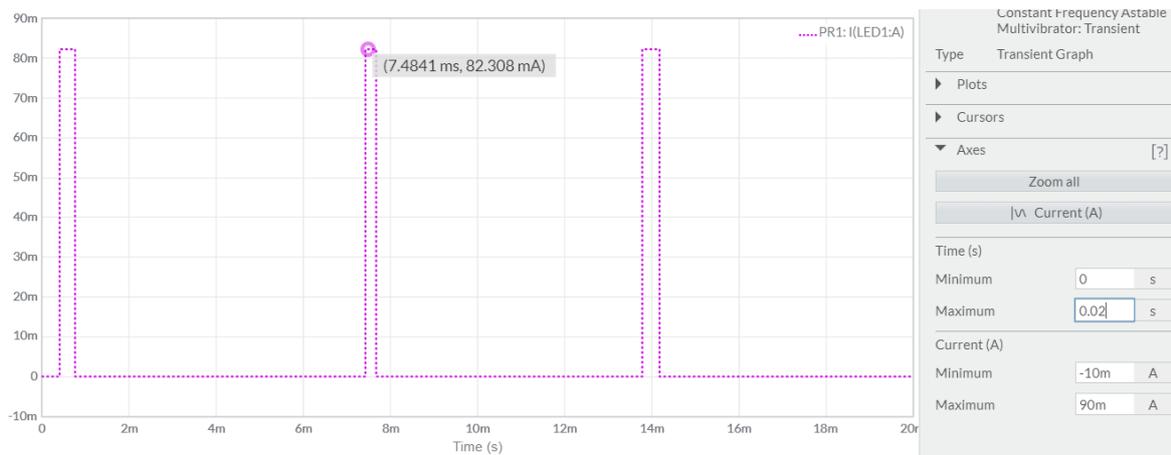


Figura 18. Ejemplo de Señal pulsada buscada

A continuación, se va a explicar el funcionamiento del integrado 555 con el que se obtendrá la señal pulsada objetivo, similar a la de la anterior figura 18.

El integrado 555, es uno de los más conocidos en el mundo de la electrónica, debido a su reducido precio, facilidad de uso y versatilidad, características que lo hacen idóneo para la construcción de circuitos electrónicos como el de esta ocasión. Se denomina 555 porque en su interior coexisten tres resistencias, permitiendo que a su vez otros elementos de su interior, los amplificadores comparadores, analicen la tensión de los pines *Threshold* y *Trigger*, estos elementos se ilustran en la figura 19, detallándose su funcionamiento conjunto a continuación:

- Doble Divisor de tensión con $R_3=R_4=R_5$, que proporcionan a los amplificadores dos voltajes de referencia (Uno conectado al *Trigger* y otro al *Threshold*), comparándose con $1/3$ y $2/3$ de V_{cc} .
- Uno de los amplificadores(comparadores) compara $1/3$ de V_{cc} con la tensión de entrada *Trigger*, activándose la salida cuando la tensión de entrada en el *Trigger* sea inferior que la de referencia ($V_{cc}/3$), con lo cual se activará también la entrada *Set* del *Flip-Flop*.
- El otro amplificador compara $2/3$ de V_{cc} con la tensión de la patilla *Threshold*, y cuando en *Threshold* supere el valor de $(2/3) V_{cc}$, se activará la salida, que conecta con el pin *Reset* del *Flip-Flop*, por lo que se reinicia el biestable.

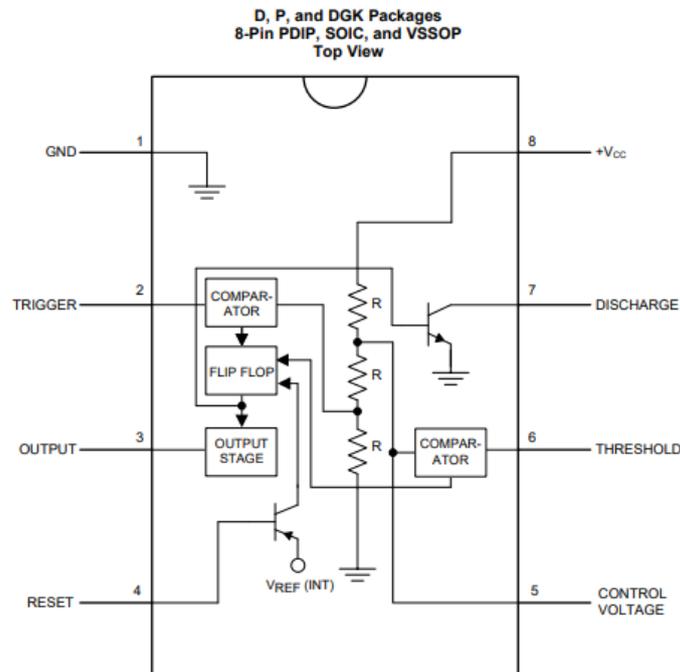


Figura 19. Esquemático y pines LM555 [13]

Como ya se ha comentado anteriormente se va a configurar el integrado en modo astable para conseguir la señal pulsada objetivo, esto se llevará a cabo mediante la colocación de varios componentes pasivos conectados entre sí y con el integrado, de tal manera que la configuración final proporcionará la onda deseada. Las propias hojas de características [Anexo 1] del 555 aportan la configuración básica del astable como se puede observar a continuación en la figura 20:

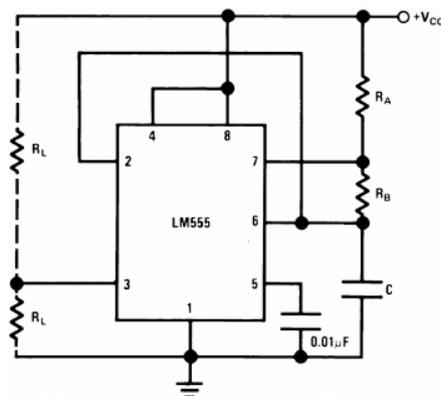


Figura 20. Configuración Astable básica [13]

Para obtener los valores de la señal exigida, se va a configurar el integrado 555 en modo astable, pero con algunos cambios necesarios para posibilitar crear la señal objetivo(figura18), ya que con esa configuración básica de astable como se muestra en la figura 20, solo se obtendría una señal de un ciclo de trabajo máximo del 50%, esto es porque la carga y la descarga del condensador, se producen por la misma rama. Entonces para lograr el objetivo, se controlará el camino de la carga y descarga del condensador C1 mediante la adhesión de otra rama con un diodo, evitando la descarga por esa rama cuando este se polarice en inversa.

- Ton: se colocará el Diodo (D1) con el ánodo a la patilla 7 (Discharge) y el cátodo a la 2 Trigger, así el condensador CP se cargará por R1(figura 21). Como se marca en la figura 21 por la flecha de color azul.
- Toff: mediante la resistencia de descarga R2(figura 21), así se garantiza la descarga siempre por R2 estando el diodo D1 polarizado en inversa, evitando que pase corriente por esa rama en la descarga, y solo circulando a través de la rama de R2. Como se puede observar remarcado por la flecha naranja en la figura 21.

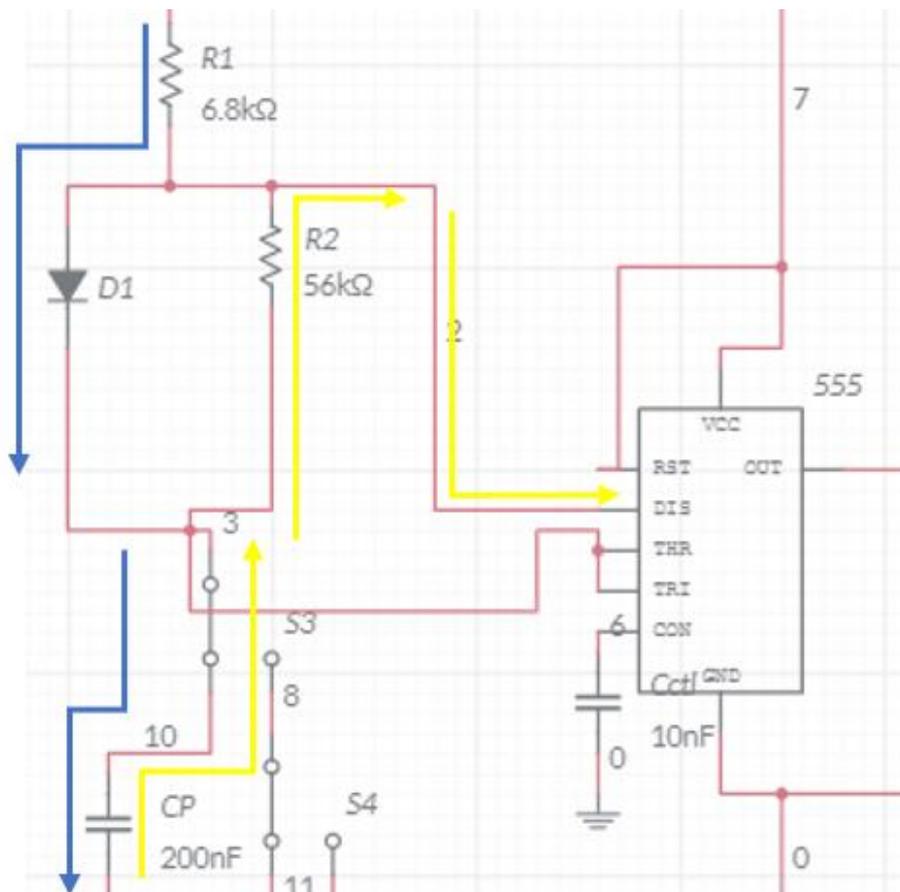


Figura 21. Carga y descarga del Condensador principal

Por lo que el tiempo de carga pasa a ser por la introducción de D1: $T_{on}=0.693 \times R_1 \times C$, mientras que el de descarga se realiza por la resistencia R2 siendo $T_{off}=0.693 \times R_2 \times C$. Recapitulando en la tabla 6 las principales ecuaciones del astable, se tiene:

Tabla 6. Principales ecuaciones astable

Tiempo en nivel alto(carga):	$T_{on} = 0.693 \times R_1 \times C$
Tiempo en nivel bajo (descarga):	$T_{off} = 0.693 \times R_2 \times C$
Periodo:	$T = T_{on} + T_{off}$
Ciclo de trabajo:	$D = \frac{R_1}{R_2 + R_1}$

Con estas ecuaciones se ajustan los componentes a las limitaciones de la señal pulsada permitida mínimas del diodo, que eran las indicadas en la tabla 5.

Entonces, dado que ciclo de trabajo D debe ser como máximo de $1/10 = R_1/(R_1+R_2)$, se escogerá una relación próxima a $1/10$ sin alejarse de esa proporción para no perder eficiencia luminosa. Resultando indiferente el valor de las resistencias, siempre y cuando se mantenga la proporción necesaria, se van a escoger unos valores de resistencias en base a los valores comerciales con alta disponibilidad y bajo coste en cualquier vendedor de productos electrónicos:

$$R_1 = 6.8K\Omega$$

$$R_2 = 56K\Omega$$

Con estos valores obtenemos un ciclo de trabajo de un 10.8%, cumpliendo con uno de los requisitos:

$$D = \frac{6.8k}{6.8k+56k} = 0.108$$

Aparte del ciclo de trabajo, también hay que considerar la anchura del pulso en que el diodo se polariza en directa (*Pulse Width*), que es la parte de la señal pulsada activa

correspondiente con T_{on} , como se muestra en la figura 22 de una señal pulsada similar a la que se quiere obtener.

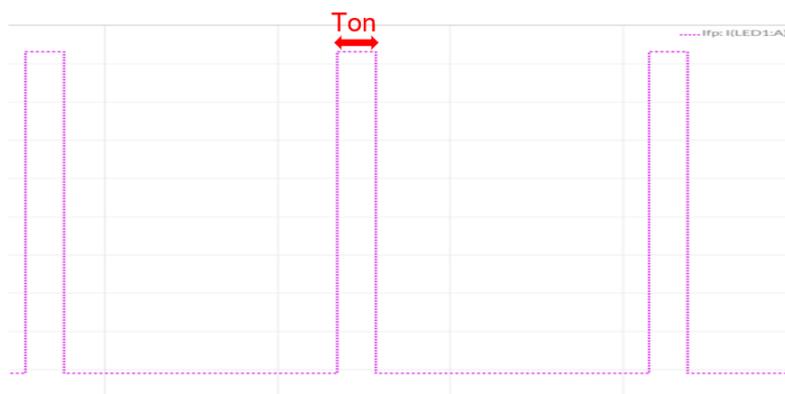


Figura 22. Indicación T_{on} en señal pulsada

Ahora, para cumplir uno de los requisitos iniciales del trabajo, que la frecuencia de parpadeo del LED debe sea mayor que 60 Hercios para no ser percibido por el ojo humano, y no interferir en la apreciación por parte de un observador, se selecciona un valor con margen suficiente, 100 Hercios:

$$F_{LED} = 100\text{Hz}$$

$$T_{LED} = \frac{1}{100} = 10\text{ms}$$

Con este valor de periodo del LED, se procede a ajustar la segunda condición (Pulse Width $\leq 10\text{ms}$), donde para cumplir esta, condicionada a la condición anterior de imperceptibilidad del ojo humano y la tercera condición del apartado anterior ($D \leq 10\%$), se tiene el requisito a cumplir de:

$$T_{on} \leq 1\text{ms}$$

Así pues, para asegurar un Pulse Width de 1ms, se hace uso de la ecuación de carga $T_{on} = 0.693 \times R_1 \times C$. Se selecciona entonces un condensador acorde para asegurar con amplio margen que no se sobrepasen los 10ms, por ejemplo, con uno de valor comercial 200 nF, se tendrá un T_{on} aproximado de:

$$T_{on} = 0.693 \times 6.8\text{k}\Omega \times 200 \times 10^{-9}\text{F} = 0.942\text{ms}$$

Y calculando la otra parte de la señal a nivel bajo, Toff:

$$T_{off} = 0.693 \times 56k\Omega \times 200 \times 10^{-9} F = 7.76 \text{ ms}$$

Se tendrá un periodo total de la señal pulsada de:

$$T = 8.702 \text{ ms}$$

Una de las funcionalidades propuestas iniciales era la de poder obtener varias frecuencias de parpadeo del LED, por lo que la manera de obtener estas distintas frecuencias de iluminación será mediante la utilización de dos condensadores más de distinta capacidad, que provocarán un cambio de frecuencia en la señal de alimentación pulsada, y con ello en el propio LED.

Estos dos condensadores, y el principal, serán controlados por un switch para poder seleccionar una frecuencia distinta, que, según necesidad del usuario de la fuente de iluminación, seleccionará la frecuencia que necesite por medio del switch. Las dos frecuencias añadidas serán:

- 10.44Hz =>T= 95.74mseg => Condensador de 2.2uF
- 2.29Hz =>T=435.22mseg => Condensador de 10uF

3.1.2. Calculo Resistencia de protección

Los LEDs generalmente van acompañados de una resistencia de protección, debido a que en función del color que disponen, cae una determinada cantidad de voltaje, que suele rondar entre los 2.3V~3.5V (dependiendo del LED y color del mismo), pero en esta ocasión, dado que se quiere conseguir una corriente de pulso I_{FP} cercana al valor máximo de 100mA (figuras 12 y 22), tendremos una V_F de hasta 4.5V superior según la gráfica de la figura 22 obtenida de las hojas de características. Y dado que generalmente no existen fuentes de la cantidad de voltaje específica como alimentación, es obligatoriamente necesario esta resistencia de protección R_p en serie, para ajustar la Intensidad máxima de la señal pulsada.

En este circuito la alimentación va a ser mediante una pila comercial 6LR61/MN1604 de 9V, la corriente máxima que puede pasar como se ilustra en las figuras 12 y 22 de las hojas de características, $I_{FP}=100\text{mA}$ para la señal pulsada, y el voltaje medio $V_F= 4,5\text{V}$ como se ve remarcado en rojo en la siguiente figura 23, donde se observa la relación entre el Voltaje directo y la Corriente directa del diodo.

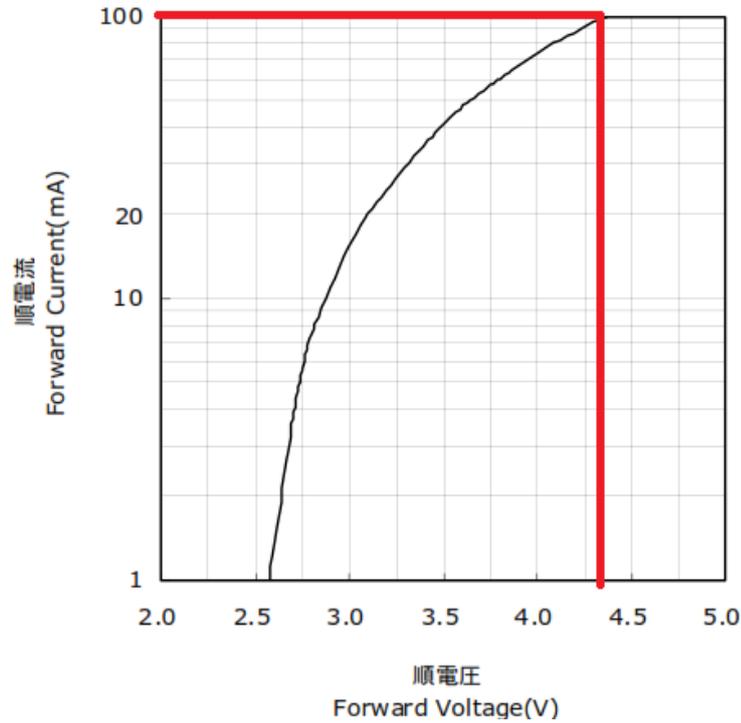


Figura 23. Voltaje Directo vs Corriente Directa

Con estos datos, aplicando la Ley de ohm, se procede a realizar el cálculo de R_p , observando el siguiente circuito de la figura 24 simplificado:

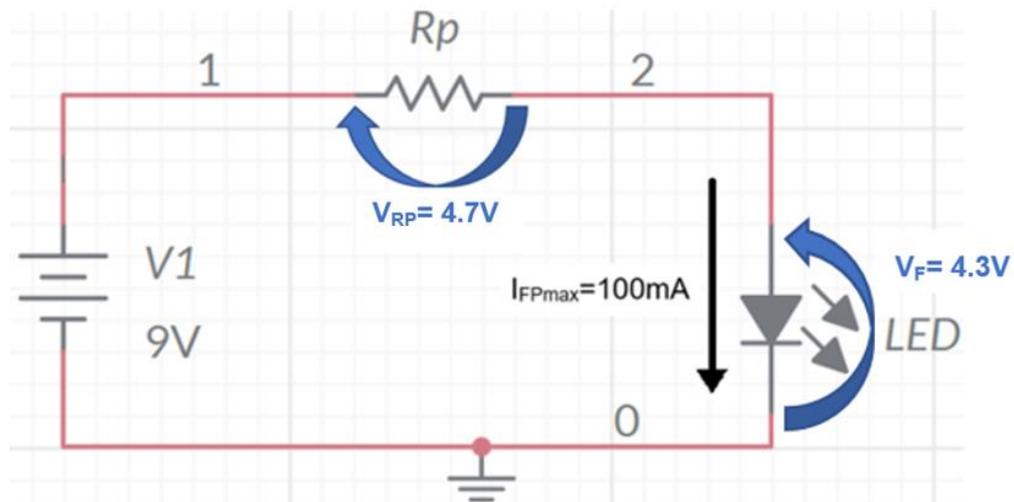


Figura 24. Circuito cálculo R_p

Sobre R_p caerán $V_{RP}=V_1-V_{FLED}= 9 - 4.3= 4.7V$ y teniendo en cuenta que al estar en serie la corriente que pase por R_p es la misma que por el LED (100mA), aplicando la ley de Ohm se calcula el valor de la resistencia de protección:

$$R_p = \frac{V_1 - V_{FLED}}{I} = \frac{4.7V}{100mA} = 47 \Omega$$

Ahora bien, se va a tener en cuenta tener un margen de protección para el caso de que se produjeran picos de corriente durante unos instantes no se quemara el LED, con lo que sabiendo la resistencia de comercial más cercano superior (teniendo una corriente directa pulsada de paso por el LED algo inferior al límite), se procede al cálculo de la corriente de pulso máxima con esta resistencia:

Resistencia de Protección (R_p) de 51 Ω .

$$I_{FPMAX} = \frac{V_{RP}}{R_p} = \frac{V_1 - V_{FLED}}{R_p} = \frac{9 - 4.3}{51} = 92.156mA$$

3.1.3. Ajuste de Intensidad luminosa:

Para ajustar la emisión de radiación de un LED, hay que modificar la corriente directa que circula por el mismo, ya que como se observa en una de las gráficas (figura 25) de sus hojas de características [Anexo 1], la corriente que transcurre por el LED es directamente proporcional a su luminosidad:

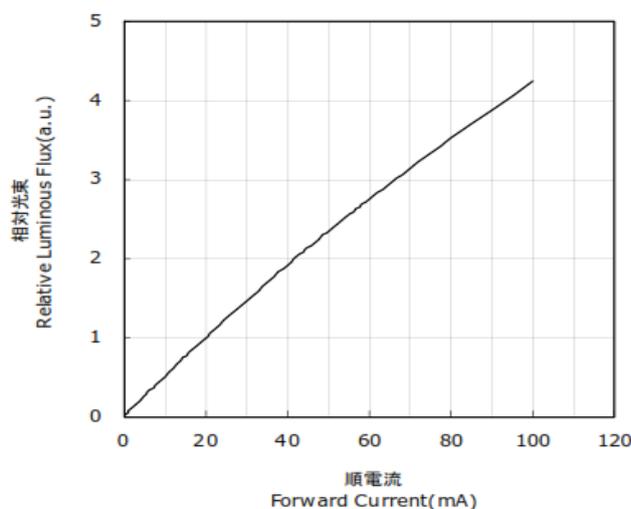


Figura 25. Corriente Directa vs Luminosidad

Por lo que, en este caso se colocara un Potenciómetro en serie que produzca una variación de voltaje y con ello de intensidad a través del circuito, y con ello también del diodo, disminuyendo o acrecentando dicha luminosidad a gusto del usuario. Con el mismo circuito que el apartado anterior, se aplica la ley de Ohm suponiendo el caso de desear una luminosidad mínima (ejm.10mA):

$$R_{tot} = \frac{V}{I} = \frac{4,7V}{10mA} = 470 \Omega$$

El dato obtenido es la resistencia total para una corriente baja (10mA), se le debe restar el valor de la resistencia de protección R_p que está incluido $R_{VARIABLE}=470-51= 419 \Omega$, se escoge en este caso el valor comercial más cercano $R_{VAR}= 500 \Omega$. Proporcionando, una corriente mínima real (I_{FP}), cuando esté en su máximo de valor de:

$$I_{FPmin} = \frac{V}{R} = \frac{4,7V}{51+500} = 8.52mA$$

Teniendo una luminosidad en torno al 5 % de su capacidad mínima máxima según la tabla anterior. Y con el potenciómetro ajustado al mínimo (0 Ω), no se produce ninguna caída de tensión sobre el mismo, únicamente sobre la resistencia de protección y el diodo, quedando lo calculado anteriormente en el apartado anterior $I_{FP}=92.156mA$, cerca de la máxima eficiencia lumínica.

3.2. Softwares de diseño y simulación

Para la realización de las tanto las simulaciones como el diseño del circuito y placa PCB se han decidido emplear la aplicación de Multisim, un software estándar con versión online (Multisim live) en la industria para el diseño de circuitos y simulación SPICE (Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis) para electrónica de potencia, analógica y digital en educación e investigación.

Se ha escogido este software ya que Multisim integra simulación SPICE estándar en la industria, con entornos esquemáticos interactivos donde se visualizan y analizan al momento los comportamientos de los circuitos electrónicos, pudiendo realizar modificaciones, pruebas y variaciones instantáneas al desarrollo de prototipo.

3.3. Simulaciones

El principal objetivo de las simulaciones es verificar que se cumplen las condiciones del diseño impuestas para el LED, es decir, la obtención de la señal pulsada de alimentación

que se ha implementado mediante el diseño realizado en el punto anterior (3.2) con los requisitos establecidos detallados en la tabla 5.

En la versión online de Multisim se seleccionaron los componentes con los valores calculados en el apartado anterior, formando el diseño del circuito al completo. Este circuito se ilustra en la figura 26, donde en la parte inferior derecha, se encuentra la salida del integrado 555, que dará la señal de alimentación al LED, por lo que se han colocado voltímetros y amperímetros para la toma de medida de los valores de salida simulados.

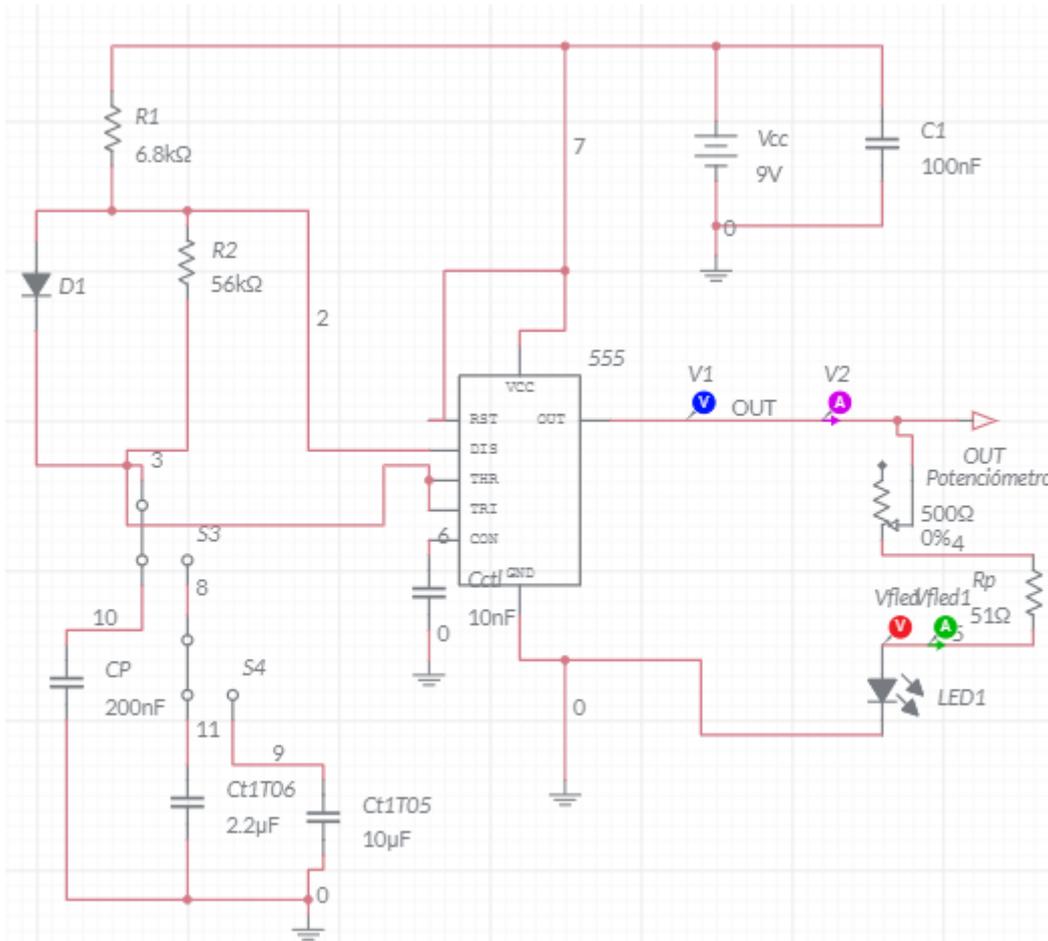


Figura 26. Circuito creado para Simulación [16]

Verificando que se cumplen las condiciones de diseño, en la siguiente figura 27 se ilustra la gráfica de tensión a la salida del integrado 555, tal y como se espera, una señal pulsada de 9 voltios en los pulsos a nivel alto, ya que la alimentación del integrado es de mismo valor(9v) ya que ese valor de alimentación corresponde en el circuito real con una pila comercial 6LR61/MN1604.

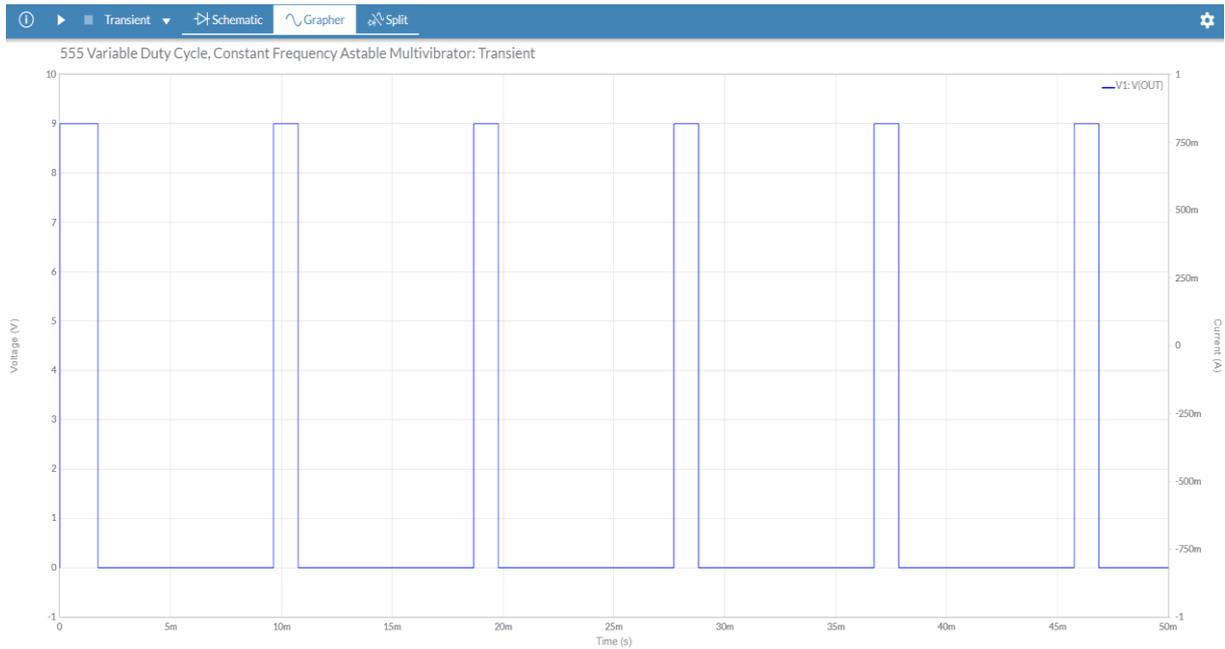


Figura 27. Voltaje salida pulsada(V1) Im555

A continuación, en las siguientes figuras se presentan las gráficas de corriente (figura 29) y tensión (figura 28) sobre el LED, de igual temporalidad que la anterior, pero con los valores ajustados por la resistencia R_p , para que la señal se ajuste a los requisitos establecidos por las hojas de características de LED:

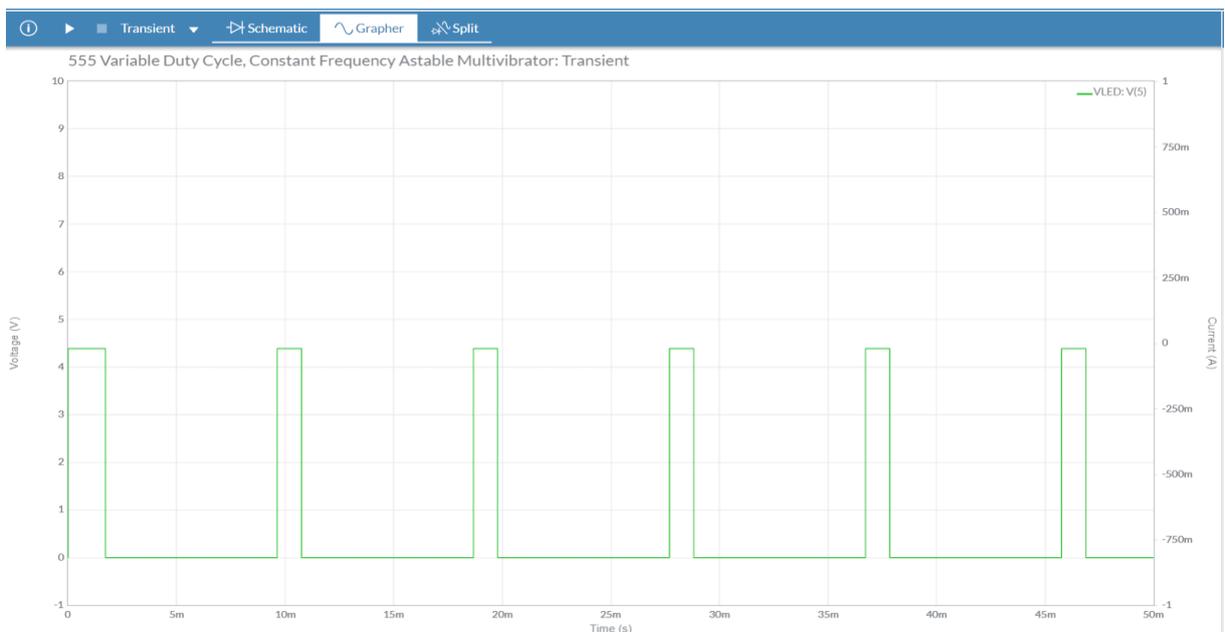


Figura 28. Voltaje Directo máximo (V_{fLED})

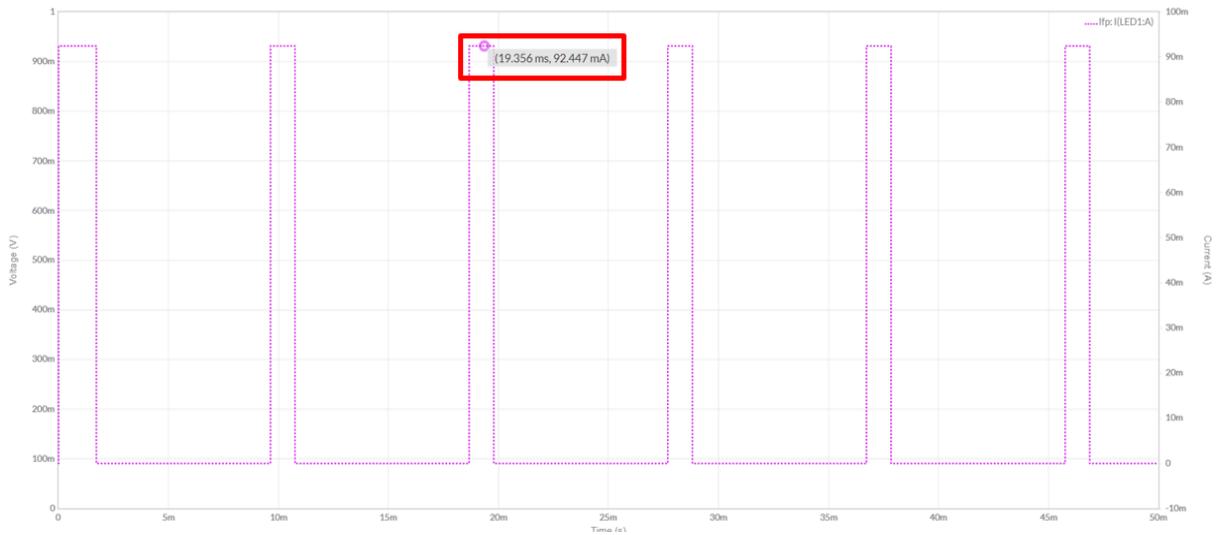


Figura 29. Corriente Directa máxima (I_{FPMAX})

Se tienen una $I_{FPmax}=92.447\text{mA}$, como se había calculado y se marca en color rojo en la figura 29, que transcurre a través de toda la rama y del LED mientras el potenciómetro se encuentra al 0%, sin modificar su intensidad. También se ilustra en la siguiente figura 30, el periodo de la corriente de pulso, disponiendo de una frecuencia total de 112.02Hz, algo superior a la establecida por las pequeñas variaciones de las características de los componentes de la simulación, pero cumpliendo con los requisitos temporales calculados y establecidos por el LED.



Figura 30. Periodo I_{FPMAX}

El periodo T_{on} simulado como se muestra en la figura 31, entre los cursores, $T_{on_{sim}}=948.33\mu s$, muy cercano al calculado teóricamente $T_{on}= 942\mu s$, cumpliendo el límite del requisito respecto al ciclo de trabajo de la señal de pulsada de $D \leq 10\%$



Figura 31. Periodo nivel alto (T_{on})

3.4. Diseño PCB

Para realizar el diseño del circuito impreso, se ha empleado la versión de escritorio de Multisim para Windows 10. Se ha realizado el diseño del circuito de manera similar al simulado en la herramienta online, pero para los componentes no existentes en sus librerías, se ha colocado una huella, donde irá soldado el integrado 555 y conectores para el caso de las conexiones de la pila ($J1$) y del LED ($J2$). Después se realizó la colocación de los componentes y diseño de pistas de cobre sobre la placa para su interconexión. En la siguiente figura 32 se ilustra el circuito con alguna modificación necesaria para la representación de los componentes en el diseño PCB disponiendo del componente en el software, ya que algunos de los componentes serán puestos una vez impresa la placa mediante soldadura.

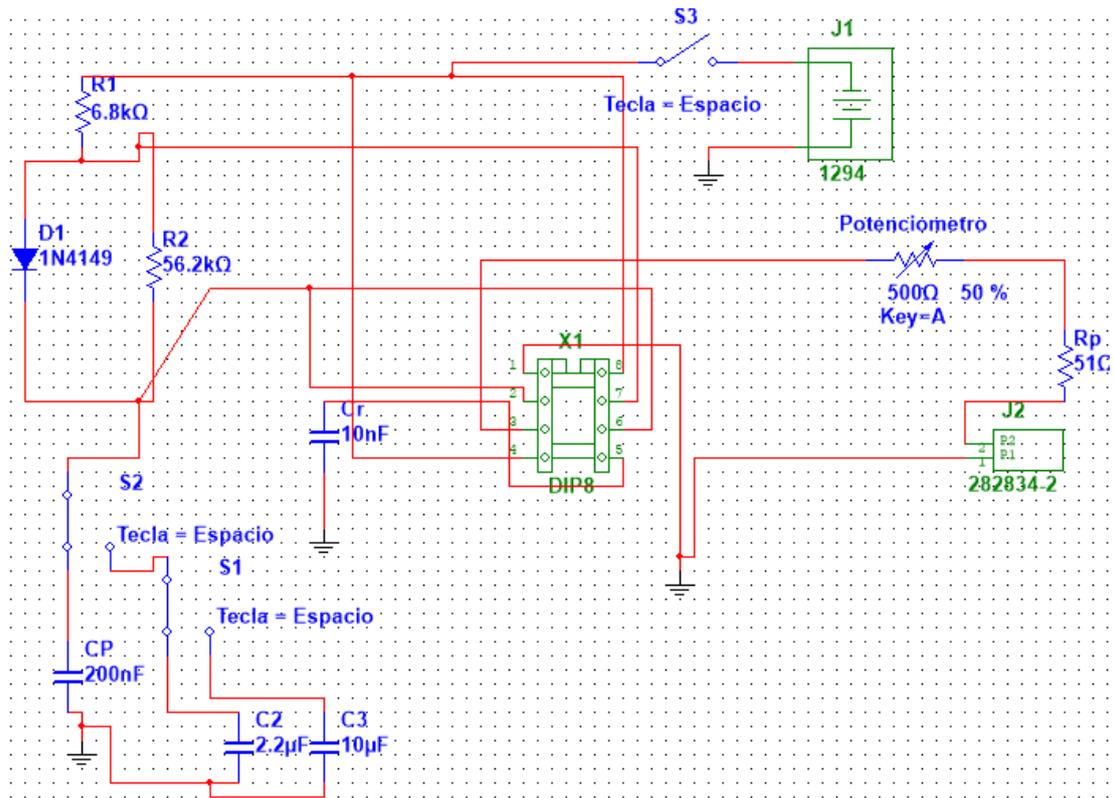


Figura 32. Diseño para PCB Multisim versión escritorio

En la figura 33 muestra la colocación de componentes y dibujado de pistas, a continuación en la figura 34 un prototipo 3D de como quedaría el circuito con los componentes soldados.

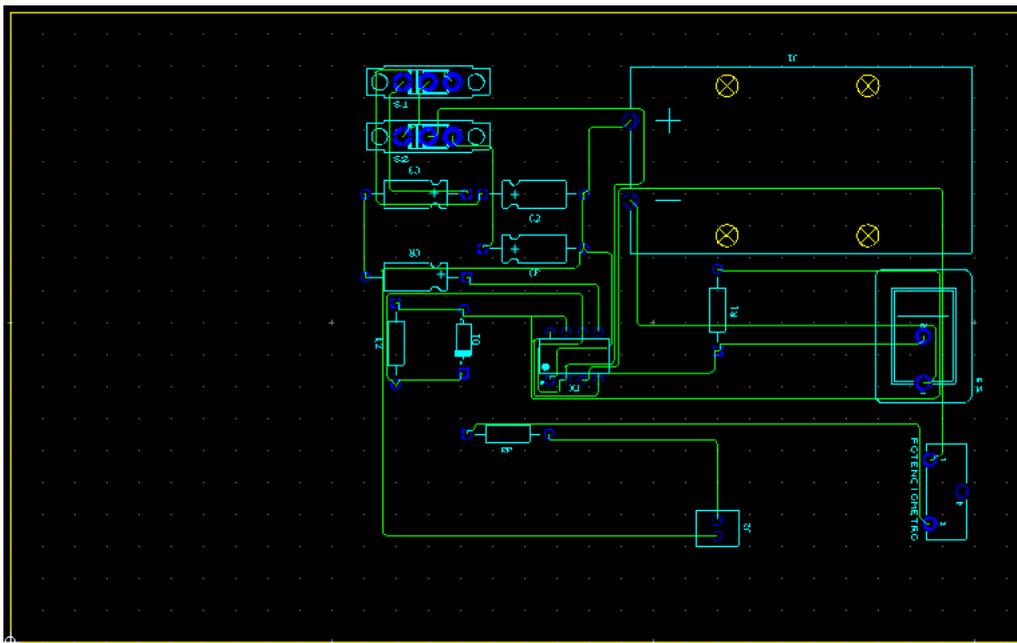


Figura 33. PCB modelado

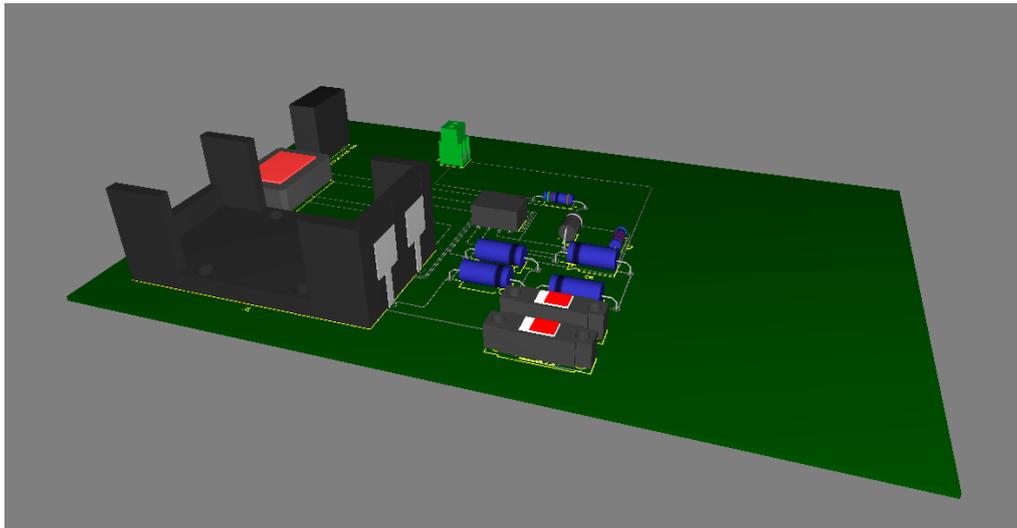


Figura 34. Modelado circuito 3D

Por último, en la figura 35 se tiene el diseño de la parte superior de la placa PCB con el dibujado de pistas, el Copper Top, ya que solo se ha necesitado la parte superior de la tablilla para el prototipado de las pistas.

Ultiboard-DISEÑOFINAL _parapcb - 12/10/2020 - 22:18:56 Copper Top

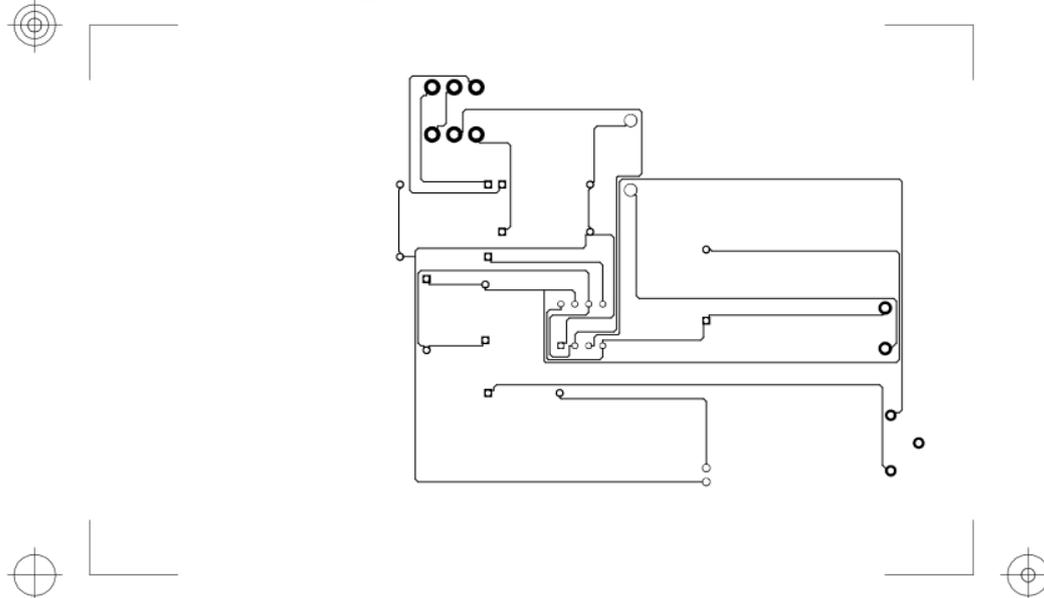


Figura 35. Modelado Pistas Copper Top

3.5. Pruebas realizadas

Debido a las circunstancias extraordinarias durante el presente año, no se pudieron realizar las pruebas en un laboratorio de la Universidad Politécnica de Alcalá como se tenía previsto hacer en su totalidad, de realizar mediciones de la señal pulsada y niveles de luz con un osciloscopio y un fotodiodo. Al comienzo de las pruebas en laboratorio, solo se pudo realizar la comprobación de la obtención de la señal pulsada a través del circuito montado sobre la placa protoboard, y la comprobación de que la señal de salida del integrado eran las deseadas midiéndolas en aquel momento en el osciloscopio y cambiando el tipo condensador (Bloque E), pudiendo observar claramente el parpadeo en las otras dos frecuencias seleccionadas. Se muestra el montaje del circuito sobre la placa protoboard en la figura 36.

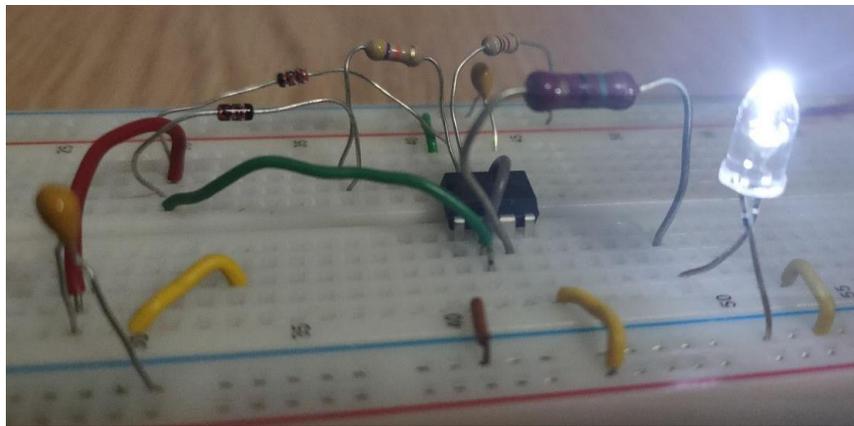


Figura 36. Circuito pruebas protoboard

Ante las circunstancias de la imposibilidad de acceso al laboratorio se procedió a comprar el osciloscopio portátil Digital DSO138 2.4" TFT, de menores características, pero que ha servido para realizar las comprobaciones de la señal de salida del 555. En la siguiente figura 37 se muestra la señal pulsada obtenida en tensión, verificando los requisitos de la tabla 5, teniendo en cuenta un margen de error del osciloscopio, se observan pulsos de 9 voltios, con un Periodo de 8ms, algo menor al simulado y calculado teóricamente, debido al error de medida del osciloscopio y de los propios componentes, pero cumple con suficiente margen con los límites establecidos para la alimentación del LED.

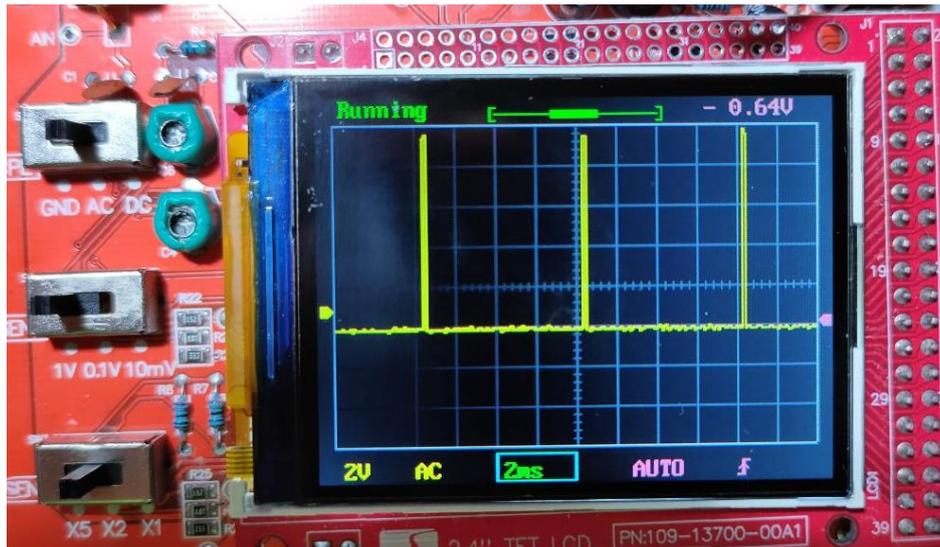


Figura 37. Voltaje salida pulsada(V1) Im555

En la siguiente figura 38, se presenta la medición de la misma señal con escala de medición $T=5\text{ms}$, donde se puede ver la misma señal desde una temporalidad más amplia.



Figura 38. Tren pulsos tensión Señal pulsada principal V_{FP}

Y en las figuras 39 y 40, se presentan las señales pulsadas con frecuencias más lentas, debido al cambio de condensadores, de tiempos casi similares a los calculados teóricamente y simulados

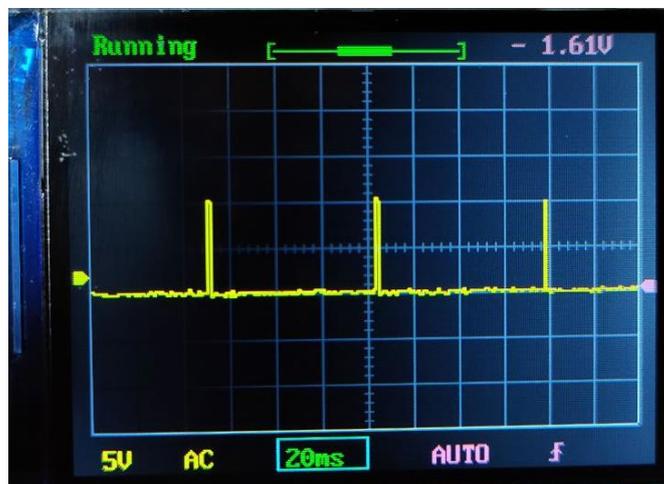


Figura 39. Tren pulsos tensión Señal pulsada principal V_{FP}



Figura 40. Tren pulsos tensión Señal pulsada principal V_{FP}

Además, Mediante la aplicación de Android Physics Toolbox Suite que se puede descargar en Play Store [17] de manera gratuita, se han tomado medidas con el sensor del móvil como luxómetro para realizar la comparación de iluminación con alimentación de la señal pulsada y de una alimentación continua.

El test se ha realizado acoplado el LED a la fibra óptica en condiciones de mínima iluminación para no afectar al test, enfocando a 3 cm el sensor del smartphone durante al menos 30 segundos. En la siguiente figura 41 se muestra la captura recogida para la alimentación pulsada.

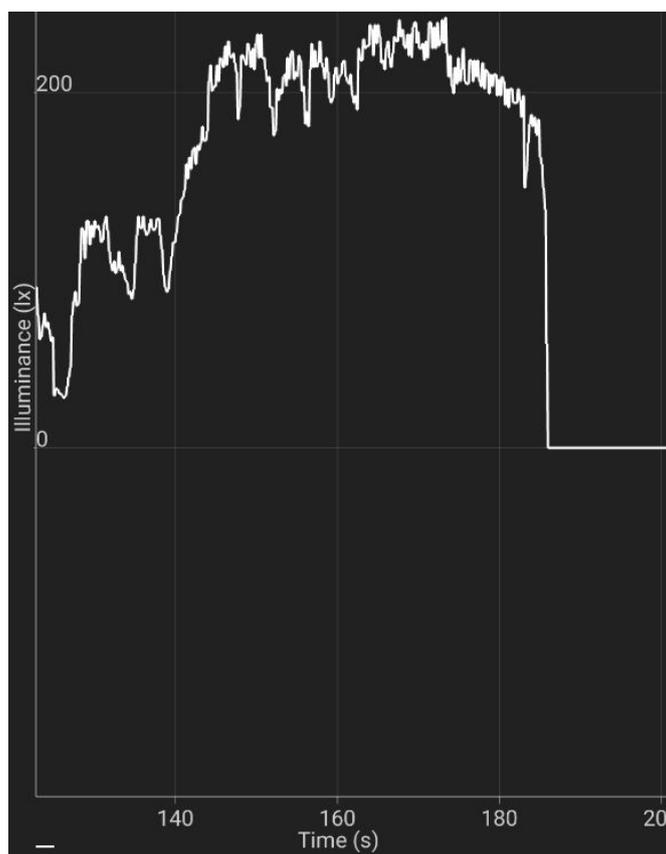


Figura 41. Medición Iluminancia con alimentación pulsada

Realizando el mismo proceso de captura para la alimentación continua, la aplicación permite exportar los datos a formato Excel, por lo que se han exportado ambos test y se ha filtrado el dato obtenido durante 10 segundos de exposición al sensor, obteniendo una media de iluminancia por cada tipo de alimentación. En la siguiente figura 42 se ilustra la iluminancia obtenida para la alimentación con señal pulsada.

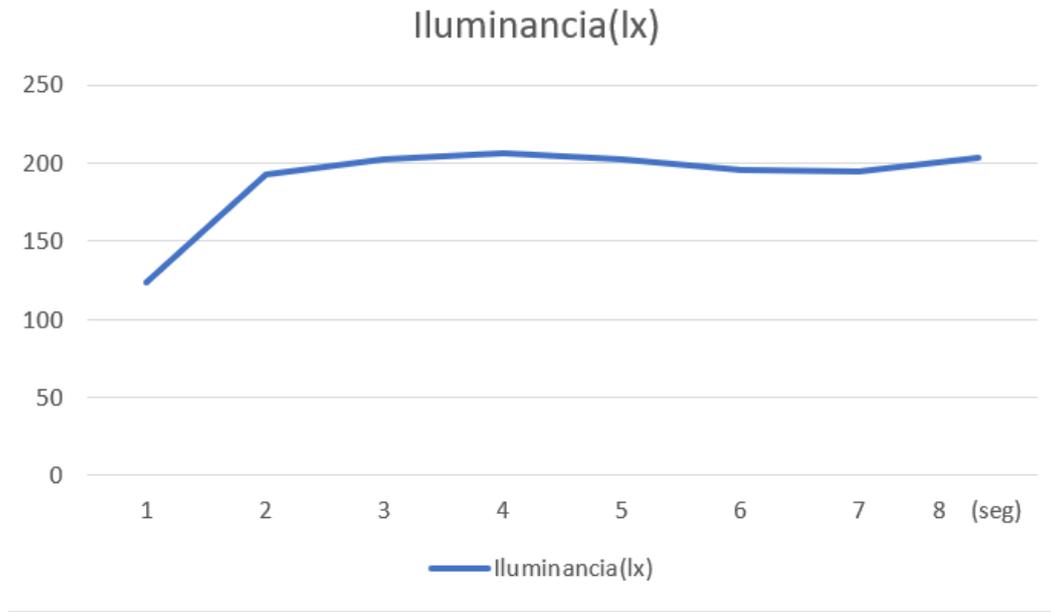


Figura 42. Medición Iluminancia con alimentación pulsada

Y en la siguiente figura 43, se tiene la iluminancia para una alimentación continua tradicional de 3,5V, donde los valores considerablemente superiores, aunque hay que tener en cuenta que no es un luxómetro oficial calibrado, existiendo un error posible de hasta un 5% dependiendo de la gama del móvil.

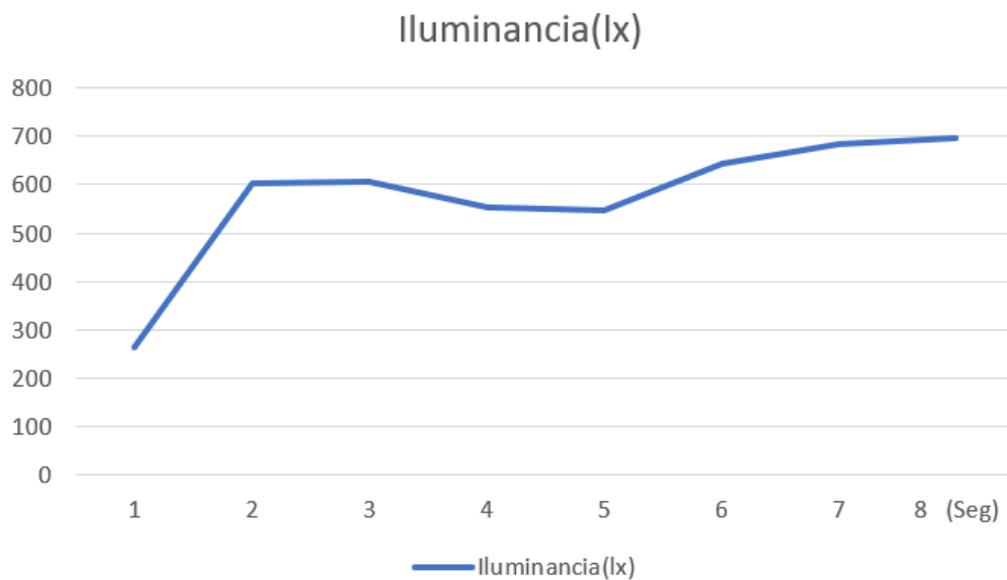


Figura 43. Medición Iluminancia con alimentación continua

3.5. Análisis de medidas

El resultado de la iluminancia para el LED alimentado con señal pulsada ha sido inferior al esperado, puesto además en comparación con la medición del mismo LED, pero con una alimentación continua, donde se presupone un inferior rendimiento lumínico según sus gráficas sus hojas de características [Anexo 1], las posibles causas de estos resultados son:

- Examinando la gráfica de luminosidad (figura 44) en función de la intensidad de corriente, se percibe un desvío de la aparente linealidad. Por tanto, existe una tasa de rendimiento decreciente a medida que aumenta la corriente por el LED.

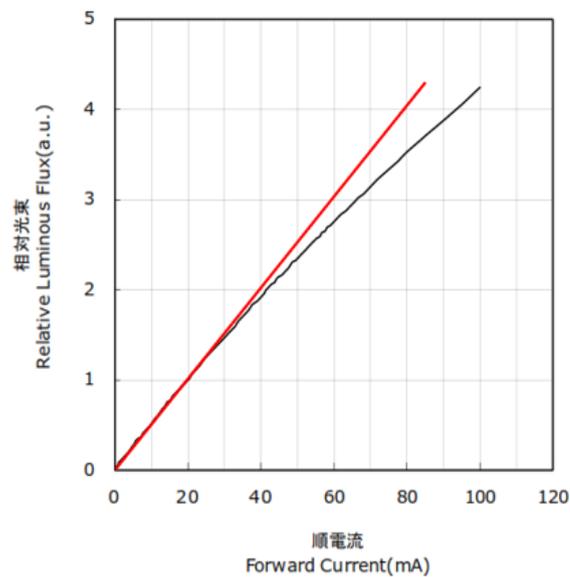


Figura 44. Corriente directa vs Luminosidad relativa(a.u.)

- En la siguiente gráfica (figura 45), al contrario, se percibe una salida creciente de voltaje a partir del rango de los 10-20mA. Lo que tiene una influencia en la temperatura del LED.

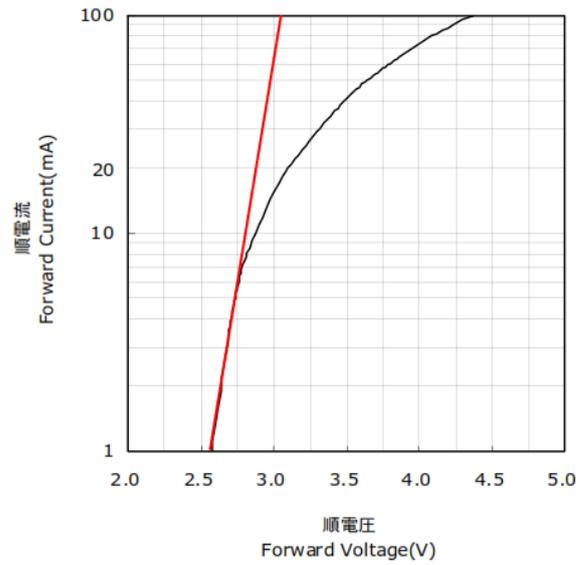


Figura 45. Voltaje directo vs Corriente Directa

A mayor voltaje, la temperatura aumenta, y como se ve en la gráfica de la derecha se pierde rendimiento de la luminosidad. En el caso actual, se pueden llegar hasta picos altos de temperatura y voltaje, por lo que también es justificado como se muestra en la gráfica de la derecha de la figura 46 una pérdida de rendimiento lumínico por aumento de temperatura.

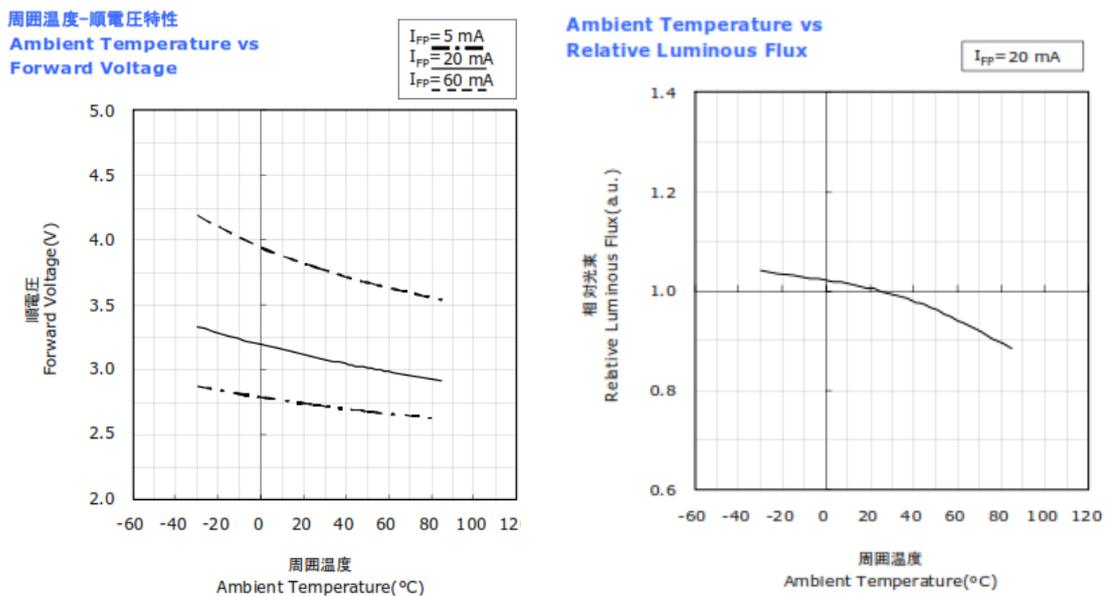


Figura 46. Temperatura ambiente vs Voltaje Directo y Temperatura Ambiente vs Luminosidad relativa

3.6. Montaje prototipo

Tras las pruebas realizadas con su posterior análisis, con los medios disponibles al alcance, que, debido a las circunstancias de extraordinarias de pandemia han sido limitados, se ha decidido realizar un prototipo con un montaje casero al no tener la posibilidad de solicitar la PCB y disponer de ella en un tiempo decente.

Por lo que se ha reutilizado una vieja batería portátil para la carga de dispositivos móviles con intención finalmente de alimentar al led con corriente continua ya que además según pruebas realizadas se tendrá mayor luminosidad.

Se reutiliza la pista ya existente donde se encuentran uno de los cuatro LEDs de decoración que dispone, desoldando el más cercano al borde de la carcasa, para soldar ahí nuestro LED Nichia Superluminiscente, comprobando previamente con el polímetro que se tiene un nivel de alimentación continua óptimo entre 3,2V - 3,7V, y abrir justo al lado un agujero en la carcasa, donde se aprovechará para fijar el acoplador, fijado automáticamente por el cerramiento de la propia carcasa. En la siguiente figura 47 se muestra el paso previo a la unión y fijación de componentes con la fuente.



Figura 47. Temperatura ambiente

Por lo que finalmente, en este prototipo se dispone de una fuente portátil de máxima iluminación con carga por USB debido al aprovechamiento de la batería portátil. Se ilustra montaje en las siguientes figuras 48 y 49.



Figura 48. Montaje Fuente portátil

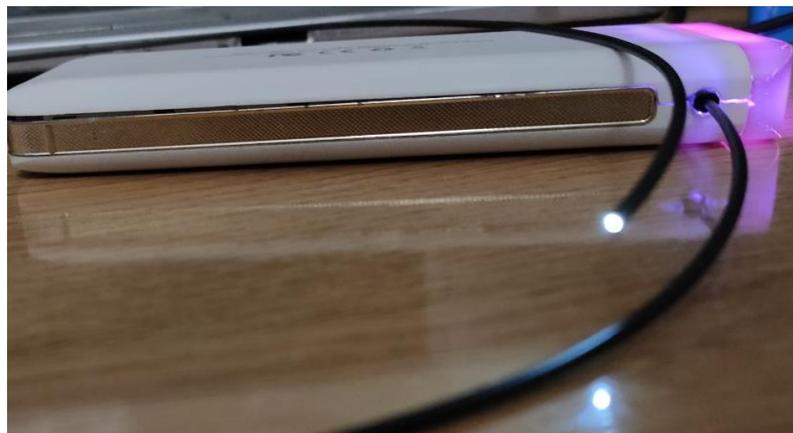


Figura 49. Montaje fuente portátil lado acoplador

Capítulo 4º CONCLUSIONES

4.1. Conclusión

Durante las pruebas y mediciones de luminosidad realizadas a la salida de la fibra óptica mediante la aplicación de *Android Physic Toolbox suite*, se tuvo un resultado inferior para la prueba de alimentación pulsada que para la continua. Las posibles causas de este resultado como se han comentado en el análisis pueden ser: los efectos de influencia del voltaje en su relación con la temperatura que afecta al rendimiento lumínico del led y la desviación decreciente de luminosidad relativa a medida que la corriente aumentaba, con una consecuente pérdida de rendimiento.

Por lo que la pulsación de corrientes muy altas con ciclos de trabajo bajos no nos garantiza la mejor luminosidad, será necesario desplazar el ciclo de trabajo y la intensidad de corriente seleccionadas a unos valores más cercanos al promedio, donde mantengamos una media de brillo alta, pudiendo beneficiarnos a su vez de la alimentación pulsada, con el aumento del tiempo de vida del LED y el ahorro de energía.

Uno de los principales objetivos de este Trabajo Fin de Grado era la realización de una alimentación pulsada adecuada al LED de iluminación, y con ello obtener un óptimo funcionamiento para la Fuente de iluminación portátil LED en los laboratorios de fisiología, lo cual se ha conseguido, pero se concluye que no es el funcionamiento ideal de acuerdo con la obtención de la mayor luminosidad posible. Las funcionalidades propuestas añadidas de obtener distintas frecuencias de excitación se han desarrollado a nivel teórico y experimental, han sido implementadas en el diseño, pero no en el prototipo final debido a las circunstancias extraordinarias durante este año que afectaron, imposibilitando el desarrollo normal de pruebas en laboratorio e implementación de diseño planeado.

Finalmente se realizó el montaje de un prototipo de fuente de iluminación portátil con carga mediante USB, de óptima iluminación con el LED Nichia seleccionado, que cumple con las características necesarias para la óptima iluminación en el laboratorio de Fisiología.

4.2. Trabajos futuros

A partir de la realización de este proyecto y los resultados, han surgido las siguientes ideas como líneas de continuación:

- Estudio de ajuste de eficiencia luminosa LED alimentado por señal pulsada contra una alimentación continua.

- Integración de cámara de visión a través de fibra óptica como complemento a este tipo de fuentes de iluminación.
- Estudio de efectos beneficiosos para la salud del empleo LED pulsados a diferentes frecuencias en ámbitos de la salud y el medioambiente.

Bibliografía

[1] Einstein, Albert. 1917. "On the quantum theory of radiation," *Physikalische Zeitschrift* 18: 121–128 [in German]. English translation in Barnes, Frank S. (ed.). *Laser Theory*. IEEE Press, New York (1972).

[2] Didier Dangoisse, Daniel Hennequin, Veronique Zehnlé-Dhaoui. *Les lasers*. Dunod, Paris. (1998)

[3] http://wikifisica.etsit.upm.es/index.php/El_Diodo_LED

[4] *Iluminación con tecnología LED Escrito por Fraile Vilarrasa, Jorge, Gago Calderon, Alfonso*

[5] <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/205/1/17098.pdf>

[6] <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>

[7] John Bird "Engineering Mathematics", Fifth Edition, Ed. Newnes Elseiver, USA 2007. https://www.nichia.co.jp/es/about_nichia/info.html

[8] *Iluminación Eficiente, Capitulo 4 Beatriz M. O'Donell, José D. Sandoval y Fernando Paukste*

[9] *Practical Reliability Engineering Patrick O'Connor Wiley, 08/07/2002*

[10] H.Killen; *Fiber Optic Communications; Prentice Hall, 1990*

[11] P.Polishuk; *Plastic Optical Fibers* ; Siemens 2003

[12] E.F. Schubert *Ligth-Emitting Diodes*(Cambridge Univ. Press)

[13] LM555 <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf?ts=1588021615839>

[14] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fundamentofisico.png>

[15] http://oa.upm.es/34006/1/PFC_cesar_segura_antunez.pdf

[16] <https://www.multisim.com/content/5qqcVD5HWoiWgBHjeZzTrQ/frequency-pwm-with-ne555-with-control-LED/open/>

[17] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolbox-suite&hl=es_419&gl=US

Anexos

1.- Anexo I. Hojas de características LED Nichia NSPW500GS-K1

NICHIA STS-DA1-1479A <Cat.No.110318>

SPECIFICATIONS

(1) Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	I_F	30	mA
Pulse Forward Current	I_{FP}	100	mA
Reverse Voltage	V_R	5	V
Power Dissipation	P_D	105	mW
Operating Temperature	T_{opr}	-30~85	°C
Storage Temperature	T_{sta}	-40~100	°C
Junction Temperature	T_J	100	°C

* Absolute Maximum Ratings at $T_A=25^\circ\text{C}$.

* I_{FP} conditions with pulse width $\leq 10\text{ms}$ and duty cycle $\leq 10\%$.

(2) Initial Electrical/Optical Characteristics

Item	Symbol	Condition	Typ	Unit
Forward Voltage	V_F	$I_F=20\text{mA}$	3.1	V
Luminous Intensity	I_v	$I_F=20\text{mA}$	33	cd
Chromaticity Coordinate	x	$I_F=20\text{mA}$	0.31	-
	y	$I_F=20\text{mA}$	0.32	-

* Characteristics at $T_A=25^\circ\text{C}$.

* The Chromaticity Coordinates are derived from the CIE 1931 Chromaticity Diagram.

RANKS

Item	Rank	Min	Max	Unit
Forward Voltage	-	2.7	3.5	V
Reverse Current	-	-	50	μA
Luminous Intensity	W	31.0	44.0	cd
	V	22.0	31.0	
	U	15.5	22.0	

Color Ranks

Rank a0				
x	0.280	0.264	0.283	0.296
y	0.248	0.267	0.305	0.276

Rank b1				
x	0.283	0.287	0.330	0.330
y	0.305	0.295	0.339	0.360

Rank b2				
x	0.296	0.287	0.330	0.330
y	0.276	0.295	0.339	0.318

Rank c0				
x	0.330	0.330	0.361	0.356
y	0.318	0.360	0.385	0.351

* Ranking at $T_A=25^\circ\text{C}$.

* Reverse Current at $V_R=5\text{V}$.

* Tolerance of measurements of the Forward Voltage is $\pm 3\%$.

* Tolerance of measurements of the Luminous Intensity is $\pm 10\%$.

* Tolerance of measurements of the Chromaticity Coordinate is ± 0.01 .

* Basically, a shipment shall consist of the LEDs of a combination of the above ranks.

The percentage of each rank in the shipment shall be determined by Nichia.

SOLDERING

• Hand Soldering

Temperature	350°C Max
Soldering Time	3sec Max
Position	No closer than 3mm from the base of the lens.

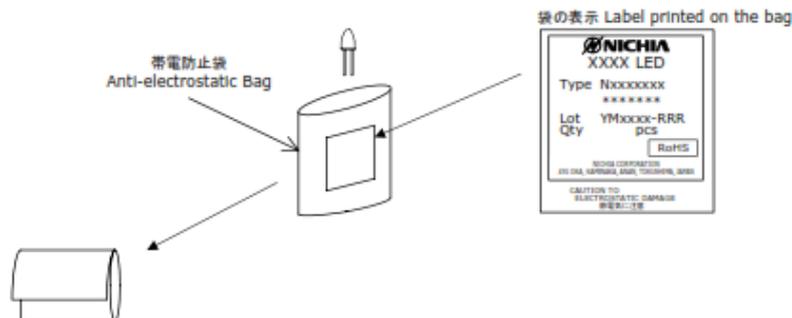
• Dip Soldering

Pre-Heat	120°C Max
Pre-Heat Time	60sec Max
Solder Bath Temperature	260°C Max
Dipping Time	10sec Max
Dipping Position	No closer than 3mm from the base of the lens.

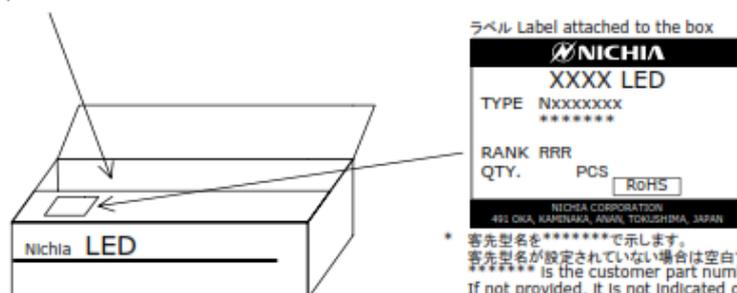
- * For a better thermal performance, copper alloy is used for the leadframe of the product. Care must be taken for the soldering conditions and handling of the products after soldering.
- * Solder the LED no closer than 3mm from the base of the lens. Soldering beyond the base of the tie bar is recommended.
- * Dip soldering and manual soldering must only be done once.
- * Care should be taken to avoid cooling at a rapid rate and ensure the peak temperature ramps down slowly.
- * Do not apply any stress to the lead particularly when heated.
- * After soldering, the LED position must not be corrected.
- * After soldering, NO mechanical shock or vibration should be applied to LED lens until the LEDs cool down to room temperature.
- * In order to avoid damage on the lens during cutting and clinching the leads, it is not recommended to solder the LEDs directly on customer PCB without any gap between the lens and the board. If it is unavoidable, customer is advised to check whether such soldering will not cause wire breakage or lens damage. Direct soldering to double-sided PCBs must be avoided due to an increased effect of heat on the lens.
- * When it is necessary to clamp the LEDs to prevent soldering failure, it is important to minimize the mechanical stress on the LEDs.
- * Cut the LED lead frames at room temperature. Cutting the lead frames at high temperature may cause failure of the LEDs.

PACKAGING - BULK

Nxxxxxxx
管理番号 No. STS-DA7-0001A



帯電防止袋を並べて入れ、ダンボールで仕切ります。
The anti-electrostatic bags are packed in a cardboard box with corrugated partition.

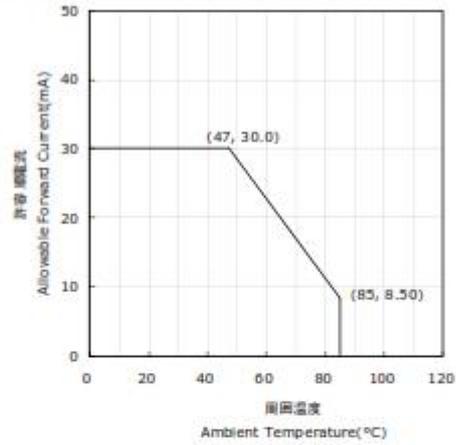


- * 客先型名を*****で示します。客先型名が設定されていない場合は空白です。***** is the customer part number. If not provided, it is not indicated on the label.
- * ロット表記方法についてはロット番号の項を参照して下さい。For details, see "LOT NUMBERING SCHEME" in this document.

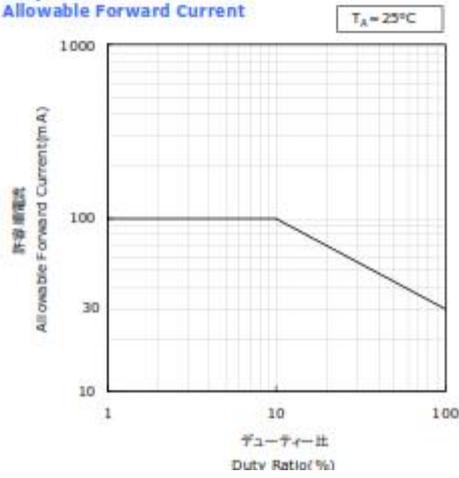
DERATING CHARACTERISTICS

NSPW500G(S)-K1
管理番号 No. STS-DA7-0762

周囲温度-許容順電流特性
Ambient Temperature vs
Allowable Forward Current



デューティ比-許容順電流特性
Duty Ratio vs
Allowable Forward Current

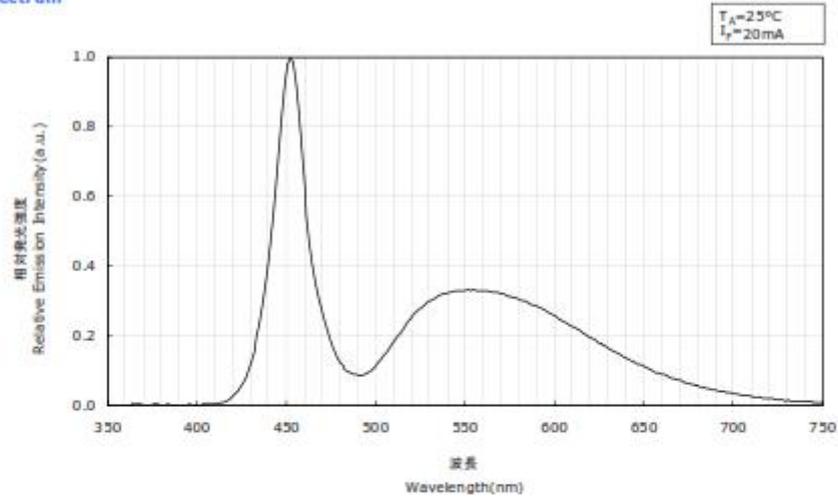


OPTICAL CHARACTERISTICS

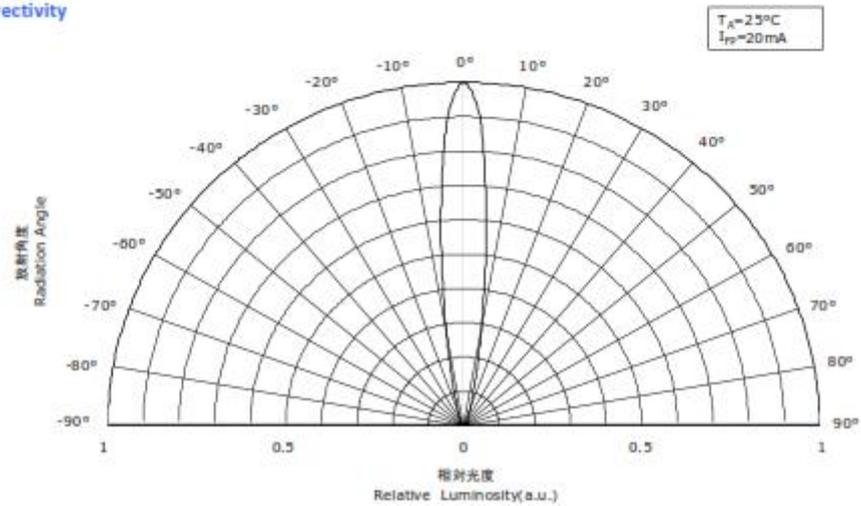
* 本特性は参考です。
All characteristics shown are for reference only and are not guaranteed.

NSPW500G(S)-K1
管理番号 No. STS-DA7-0763

発光スペクトル Spectrum



指向特性 Directivity

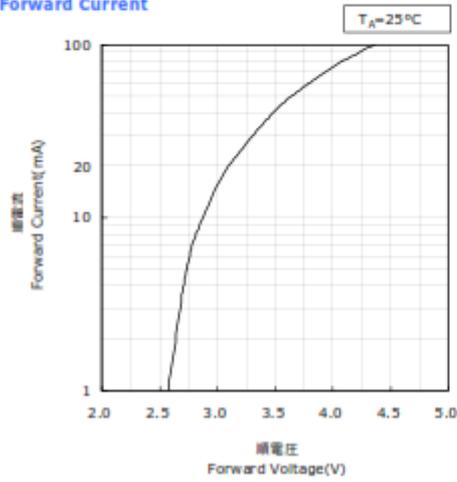


FORWARD CURRENT CHARACTERISTICS / TEMPERATURE CHARACTERISTICS

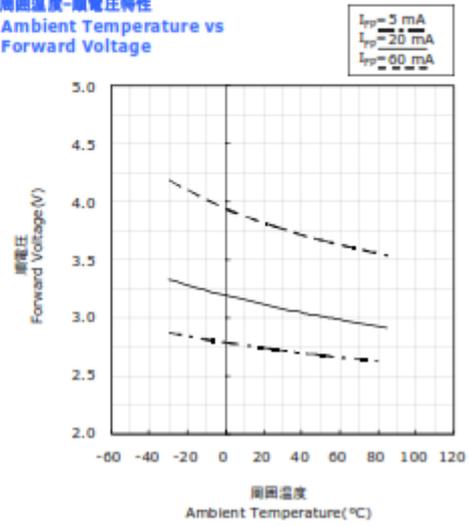
* 本特性は参考です。
All characteristics shown are for reference only and are not guaranteed.

NSPW500G(S)-K1
管理番号 No. STS-DA7-0764

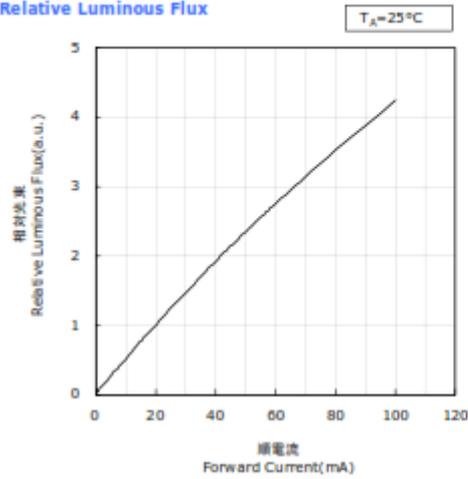
順電圧-順電流特性
Forward Voltage vs
Forward Current



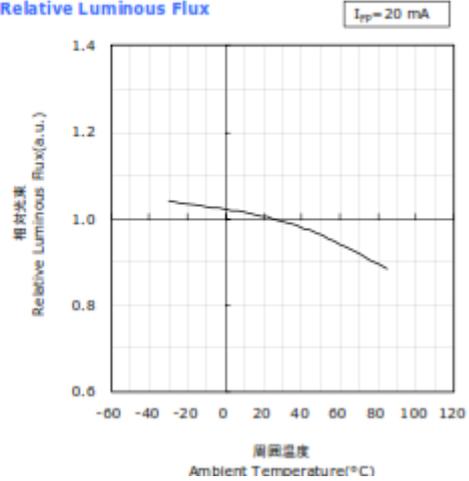
周囲温度-順電圧特性
Ambient Temperature vs
Forward Voltage



順電流-相対光束特性
Forward Current vs
Relative Luminous Flux



周囲温度-相対光束特性
Ambient Temperature vs
Relative Luminous Flux

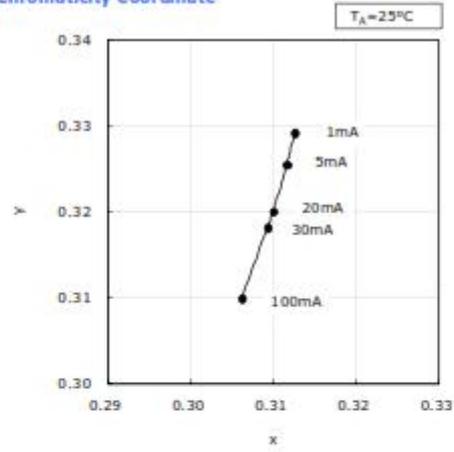


FORWARD CURRENT CHARACTERISTICS / TEMPERATURE CHARACTERISTICS

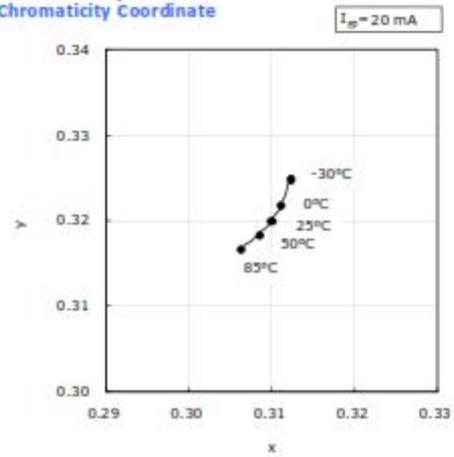
* 本特性は参考です。
All characteristics shown are for reference only and are not guaranteed.

NSPW500G(5)-K1
管理番号 No. STS-DA7-0765

順電流-色度特性
Forward Current vs
Chromaticity Coordinate



周囲温度-色度特性
Ambient Temperature vs
Chromaticity Coordinate



RELIABILITY

(1) Tests and Results

Test	Reference Standard	Test Conditions	Test Duration	Failure Criteria #	Units Failed/Tested
Resistance to Soldering Heat	JEITA ED-4701 300 302	$T_{\text{ald}}=260\pm 5^{\circ}\text{C}$, 10sec, 1dip, 3mm from the base of the lens		#1	0/50
Solderability	JEITA ED-4701 303 303A	$T_{\text{ald}}=245\pm 5^{\circ}\text{C}$, 5sec, Lead-free Solder(Sn-3.0Ag-0.5Cu)		#2	0/50
Temperature Cycle	JEITA ED-4701 100 105	$-40^{\circ}\text{C}(30\text{min})\sim 25^{\circ}\text{C}(5\text{min})\sim 100^{\circ}\text{C}(30\text{min})\sim 25^{\circ}\text{C}(5\text{min})$	100cycles	#1	0/50
Moisture Resistance (Cyclic)	JEITA ED-4701 200 203	$25^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$, 90%RH, 24hr per cycle	10cycles	#1	0/50
Terminal Bend Strength	JEITA ED-4701 400 401	5N, $0^{\circ}\sim 90^{\circ}\sim 0^{\circ}$ bend, 2bending cycles		#1	0/50
Terminal Pull Strength	JEITA ED-4701 400 401	10N, $10\pm 1\text{sec}$		#1	0/50
High Temperature Storage	JEITA ED-4701 200 201	$T_{\text{A}}=100^{\circ}\text{C}$	1000hours	#1	0/50
Temperature Humidity Storage	JEITA ED-4701 100 103	$T_{\text{A}}=60^{\circ}\text{C}$, RH=90%	1000hours	#1	0/50
Low Temperature Storage	JEITA ED-4701 200 202	$T_{\text{A}}=-40^{\circ}\text{C}$	1000hours	#1	0/50
Room Temperature Operating Life		$T_{\text{A}}=25^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{F}}=30\text{mA}$	500hours	#1	0/50
Temperature Humidity Operating Life		60°C , RH=90%, $I_{\text{F}}=20\text{mA}$	500hours	#1	0/50
Low Temperature Operating Life		$T_{\text{A}}=-30^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{F}}=20\text{mA}$	500hours	#1	0/50

NOTES:

Measurements are performed after allowing the LEDs to return to room temperature.

(2) Failure Criteria

Criteria #	Items	Conditions	Failure Criteria
#1	Forward Voltage(V_{F})	$I_{\text{F}}=20\text{mA}$	$> \text{U.S.L.} \times 1.1$
	Luminous Intensity(I_{V})	$I_{\text{F}}=20\text{mA}$	$< \text{L.S.L.} \times 0.7$
	Reverse Current(I_{R})	$V_{\text{R}}=5\text{V}$	$> \text{U.S.L.} \times 2.0$
#2	Solderability	-	Less than 95% solder coverage

U.S.L. : Upper Specification Limit L.S.L. : Lower Specification Limit

CAUTIONS

(1) Lead Forming

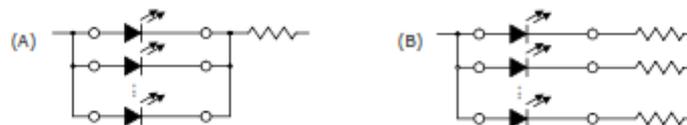
- When forming leads, the leads should be bent at a point at least 3mm from the base of the epoxy bulb.
Do not use the base of the leadframe as a fulcrum during lead forming.
- Lead forming should be done before soldering.
- Do not apply any bending stress to the base of the lead.
The stress to the base may damage the LED's characteristics or it may break the LEDs.
- When mounting the product onto a printed circuit board, the via-holes on the board should be exactly aligned with the lead pitch of the product. If the LEDs are mounted with stress at the leads, it causes deterioration of the epoxy resin and this will degrade the LEDs.

(2) Storage

- Shelf life of the products in unopened bag is 3 months(max.) at 30°C and 70% RH from the delivery date.
If the shelf life exceeds 3 months or more, the LEDs need to be stored in a sealed container with desiccant (silica gel) to ensure their shelf life will not exceed 1 year.
- Nichia LED leadframe are silver plated copper alloy. This silver surface may be affected by environments which contain corrosive substances. Please avoid conditions which may cause the LED to corrode, tarnish or discolor.
This corrosion or discoloration may cause difficulty during soldering operation.
It is recommended that the LEDs be used as soon as possible.
- To avoid condensation, the products must not be stored in the areas where temperature and humidity fluctuate greatly.

(3) Directions for Use

- In designing a circuit, the current through each LED must not exceed the Absolute Maximum Rating specified for each LED.
It is recommended to use Circuit B which regulates the current flowing through each LED. In the meanwhile, when driving LEDs with a constant voltage in Circuit A, the current through the LEDs may vary due to the variation in Forward Voltage characteristics of the LEDs.



- This product should be operated in forward bias. A driving circuit must be designed so that the product is not subjected to either forward or reverse voltage while it is off. In particular, if a reverse voltage is continuously applied to the product, such operation can cause migration resulting in LED damage.
- For stabilizing the LED characteristics, it is recommended to operate at 10% of the rated current or higher.
- Care must be taken to ensure that the reverse voltage will not exceed the Absolute Maximum Rating when using the LEDs with matrix drive.
- For outdoor use, necessary measures should be taken to prevent water, moisture and salt air damage.

(4) Handling Precautions

- When handling the product, do not touch it directly with bare hands as it may contaminate the surface and affect on optical characteristics. In the worst cases, excessive force to the product might result in catastrophic failure due to package damage and/or wire breakage.
- If the product is dropped, it might be damaged.
- Do not stack assembled PCBs together. Failure to comply can cause the resin portion of the product to be cut, chipped, delaminated and/or deformed, and wire to be broken, and thus resulting in catastrophic failure.

(5) Design Consideration

- PCB warpage after mounting the products onto a PCB can cause the package to break.
The LEDs should be placed so as to minimize the stress on the LEDs due to PCB bow and twist.
 - The position and orientation of the LEDs affect how much mechanical stress is exerted on the LEDs placed near the score lines.
The LEDs should be placed so as to minimize the stress on the LEDs due to board flexing.
- 0

(6) Electrostatic Discharge (ESD)

- The products are sensitive to static electricity or surge voltage. An ESD event may damage its die or reduce its reliability performance. When handling the products, measures against electro static discharge, including the followings, are strongly recommended.
 - Eliminating the charge;
 - Wrist strap, ESD footwear and garments, ESD floors
 - Grounding the equipment and tools at workstation
 - ESD table/shelf mat (conductive materials)
 - Proper grounding techniques are required for all devices, equipment and machinery used in the assembly of the products. Also note that surge protection should be considered in the design of customer products.
 - If tools or equipment contain insulating materials, such as glass or plastic, proper measures against electro static discharge, including the followings, are strongly recommended.
 - Dissipating the charge with conductive materials
 - Preventing the charge generation with moisture
 - Neutralizing the charge with ionizers
 - When performing the characteristics inspection of the LEDs in your application, customer is advised to check on the LEDs whether or not they are damaged by ESD. Such damage can be detected during forward voltage measurement or light up test at low current. (the recommended current is 1mA or lower)
 - ESD-damaged LEDs may have an increased leakage current, current flow at low voltage, or no longer light up at low current.
Failure Criteria: $V_f < 2.0V$ at $I_f = 0.5mA$

(7) Thermal Management

- Thermal management is an important factor when designing your product by using the LEDs.
 - The rise in LED die temperature can be affected by PCB thermal resistance or/and LED spacing as mounted on the board. Customer is advised to design the product to ensure that the LED die temperature does not exceed the required maximum Junction Temperature (T_J).
- Drive current should be determined for the surrounding ambient temperature (T_A) to dissipate the heat from the product.

(8) Cleaning

- If required, Isopropyl alcohol (IPA) should be used. Other solvents may cause premature failure to the LEDs due to the damage to the resin portion. The effects of such solvents should be verified prior to use. In addition, the use of CFCs such as Freon is heavily regulated.
- Ultrasonic cleaning is not recommended for the LEDs since it may adversely effect on the LEDs by the ultrasonic power and LED assembled condition.
If it is unavoidable, customer is advised to check prior to use that the cleaning will not damage the LEDs.

(9) Eye Safety

- The International Electrical Commission (IEC) published in 2006, IEC 62471:2006 Photobiological safety of lamps and lamp systems which includes LEDs within its scope. Meanwhile LEDs were removed from the scope of the IEC 60825-1:2007 laser safety standard, the 2001 edition of which included LED sources within its scope. However, keep it mind that some countries and regions have adopted standards based on the IEC laser safety standard IEC 60825-1:2001 which includes LEDs within its scope. Following IEC 62471:2006, most of Nichia LEDs can be classified as belonging to either Exempt Group or Risk Group 1. Especially a high-power LED, that emits light containing blue wavelengths, may be in Risk Group 2. Great care should be taken when viewing directly the LED driven at high current or the LED with optical instruments, which greatly increase the hazard to your eyes.
- Viewing a flashing light may cause eye discomfort. When incorporating the LED into your product, precaution should be taken to avoid adverse effect on human body caused by the light stimulus.

(10) Others

- The LEDs described in this brochure are intended to be used for ordinary electronic equipment (such as office equipment, communications equipment, measurement instruments and household appliances).
Consult Nichia's sales staff in advance for information on the applications in which exceptional quality and reliability are required, particularly when the failure or malfunction of the LEDs may directly jeopardize life or health (such as for airplanes, aerospace, submersible repeaters, nuclear reactor control system, automobiles, traffic control equipment, life support systems and safety devices).
- The customer shall not reverse engineer by disassembling or analysis of the LEDs without having prior written consent from Nichia. When defective LEDs are found, the customer shall inform Nichia directly before disassembling or analysis.
- Customer and Nichia shall agree the official specification of supplied products prior to the start of a customer's volume production.
- The appearance and specifications of the product may be modified for improvement without notice.

2.- Anexo 2. Hoja de características Fibra Óptica (POF) Mitsubishi CK-40

Data Sheet Apr.3 2019

Mitsubishi Chemical Corporation

No

1. Scope

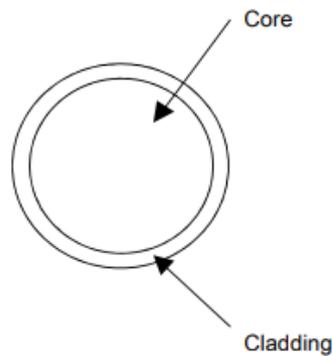
The specification covers basic requirements for the structure and optical performances of CK-40.

2. Structure

Table 1

Item		CK-40			
		Specification			
		Unit	Min.	Typ.	Max.
Optical Fiber	Core Material	—	Polymethyl-Methacrylate Resin		
	Cladding Material	—	Fluorinated Polymer		
	Core Refractive Index	—	1.49		
	Refractive Index Profile	—	Step Index		
	Numerical Aperture	—	0.5		
	Core Diameter	μm	920	980	1,040
	Cladding Diameter	μm	940	1,000	1,060
Approximate Weight		g/m	1		

Sectional View



3. Performances

Table 2

		CK-40				
Item		Acceptance Criterion and/or [Test Condition]	Specification			
			Unit	Min.	Typ.	Max.
Maximum Rating	Storage Temperature	No Physical Deterioration [in a Dry atmosphere]	°C	-55	-	+70
	Operation Temperature	No Deterioration in Optical Properties* [in a Dry atmosphere]	°C	-55	-	+70
		No Deterioration in Optical Properties** [under 95%RH condition]	°C	-	-	+60
Optical Properties	Transmission Loss	[650nm Collimated Light] [Standard condition] [10m-1m cutback]	dB/km	-	-	200
Mechanical Characteristics	Minimum Bend Radius	Loss Increment ≤ 0.5 dB [A Quarter Bend]	mm	25	-	-
	Tensile Strength	Tensile Force at yield point [in Conformity to the JIS C 6861]	N	65	-	-

All tests are carried out under temperature of 25°C unless otherwise specified.

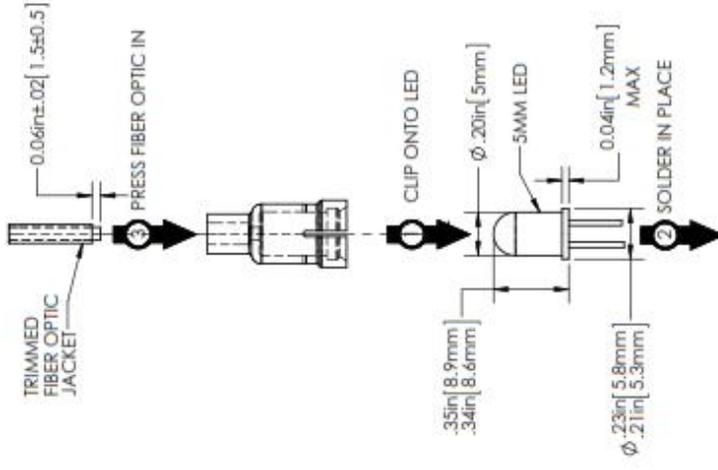
* Attenuation change shall be within +/- 10% after 1,000 hours.

** Attenuation change shall be within +/- 10% after 1,000 hours, except that due to absorbed water.

3.- Anexo 3. Hoja de características Acoplador 5mm Though-Hole LED

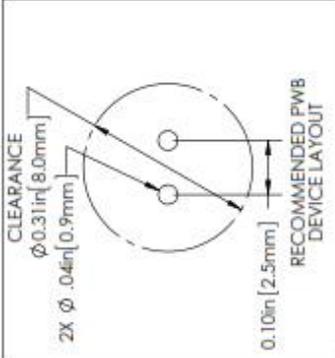
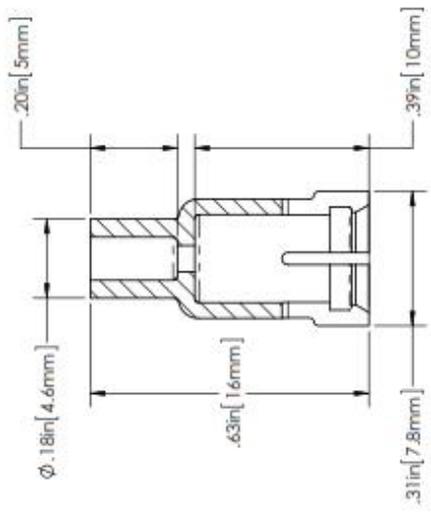
NOTES

1. ROHS COMPLIANT.
2. UL 94-HB FLAMMABILITY RATING.
3. -40°C TO 85°C OPERATING TEMPERATURE.
4. SUITABLE FOR LIGHT PIPE WITH ϕ 2.2MM JACKET AND OPTICAL CORE NO GREATER THAN ϕ 1.5MM.
5. DO NOT WAVE SOLDER WITH THIS DEVICE.
6. FOR BEST RESULTS USE ONLY NARROW VIEWING ANGLE NON-DIFFUSED LEDS WITH OUTPUT POWER GREATER THAN 100mcd.



LIGHT PIPE PREPARATION AND SEQUENCE OF ASSEMBLY

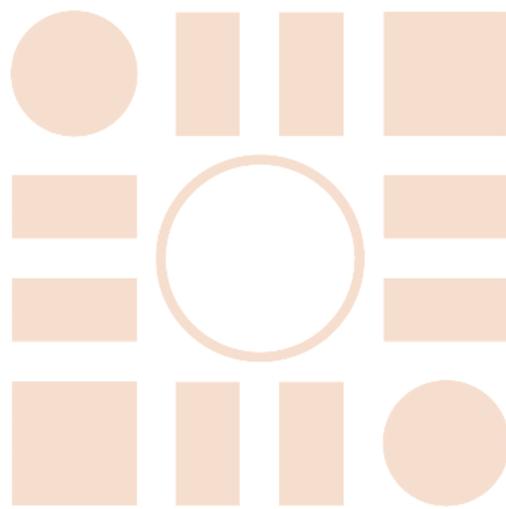
LIGHT PIPE AS ASSEMBLED



REVISIONS			
REV.	DESCRIPTION	DATE	INITIALS
000	INITIAL RELEASE	1/4/12	R2H
001	REVISED PER ECF 0205120401	2/6/12	R2H
004			AZ

OPTOELECTRONICS 10000 WILSON AVENUE, SUITE 100, SAN DIEGO, CA 92121 TEL: 619-444-0000 FAX: 619-444-0001 WWW.VBO.COM	
DATE	1/12
APPROVAL	NYLON 6/6, BLACK UL 94-HB
DRAWN	ALMELLI
CHECKED	ALMELLI
DATE	1/12
REVISED PER ECF	0205120401
REV.	001
DESCRIPTION	MOUNT, 5mm THROUGH-HOLE LED
SIZE	B
DWG. NO.	THR 5 22
REV.	001
DO NOT SCALE DRAWING	
SCALE	5:1
SHEET 1 OF 1	

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá