



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

TECNOLOGÍA LED DE POTENCIA: APLICACIONES EN AUTOMOCIÓN

Alumno: Julián Redondo Cano

Tutores: Prof. D. Juan Domingo Aguilar Peña

Prof. D. Gabino Jiménez Castillo

Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

SEPTIEMBRE, 2019

UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

TECNOLOGÍA LED DE POTENCIA: APLICACIONES EN AUTOMOCIÓN

Alumno: Julián Redondo Cano

Tutores: Prof. D. Juan Domingo Aguilar Peña

Prof. D. Gabino Jiménez Castillo

Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

SEPTIEMBRE, 2019



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

Don Juan Domingo Aguilar Peña y Don Gabino Jiménez Castillo, tutores del Proyecto Fin de Carrera titulado: **“Tecnología led de potencia: aplicaciones en automoción”**, que presenta Julián Redondo Cano, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, SEPTIEMBRE de 2019

El alumno:

Julián Redondo Cano

Los tutores:

Juan Domingo Aguilar Peña

Gabino Jiménez Castillo

Índice

1. INTRODUCCIÓN	15
2. ANTECEDENTES	16
3. OBJETIVOS	16
4. CONTEXTO DENTRO DEL GRADO.....	16
5. METODOLOGÍA.....	16
6. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	19
6.1. Definición	19
6.2. Historia.....	19
6.3. Funcionamiento.....	23
6.4. Estructura.....	27
6.5. Tipos de led.....	28
6.6. Led de potencia.....	30
6.7. Fabricación.....	31
6.7.1. Producción del sustrato	31
6.7.2. Fabricación de matrices.....	32
6.7.3. Ensamble del led en el encapsulado	32
6.8. Disipadores de calor.....	33
6.9. Sistemas ópticos asociados al led.....	35
6.9.1. Tipos de sistemas ópticos.	36
6.9.2. Eficacia de los sistemas ópticos.	37
6.10. Control del led. Driver	38
7. ILUMINACIÓN EN AUTOMOCIÓN.....	41
7.1. Historia.....	41
7.2. Conceptos de iluminación	42
7.3. Faros.....	43
7.3.1. Estructura de un faro básica.....	43
7.3.2- Tipos de faros.	45
7.4. Pilotos	47
7.5. Lámparas incandescente y halógena.....	49
7.6. Tecnología xenón.....	53
7.7. Tecnología led.....	55
7.8. Tecnología laser.....	55

7.9. Normativa respecto iluminación en automoción.....	57
8. DRIVER PARA LED.....	59
8.1. Driver lineal	60
8.2. Driver conmutado.....	62
8.2.1 Convertidor conmutado básico	62
8.2.2. Convertidor reductor o Buck	63
8.2.3 Convertidor elevador o Boost	68
8.2.4. Convertidor reductor-elevador o Buck-Boost	72
9. ILUMINACIÓN LED EN AUTOMOCIÓN.....	75
9.1. Evolución de la tecnología led	75
9.2. Ventajas del led en automoción.....	77
9.3. Led específico de automoción.....	79
9.4. Drivers para led específicos para automoción	83
ANEXO 1: MONTAJES EXPERIMENTALES CON CARÁCTER DIDÁCTICO.....	91
Práctica 1: Definiciones de conceptos del led	94
Práctica 2: Caracterización del led.....	98
Práctica 3: Regulador de corriente lineal.....	102
Práctica 4: Fuente de corriente constante.....	108
Práctica 5: Driver lineal en circuito integrado para iluminación led	114
Práctica 6: Fuente de corriente constante con ajuste de corriente	120
Práctica 7: Driver conmutado PWM	124
ANEXO 2: MONTAJES EXPERIMENTALES CON CARÁCTER DIDÁCTICO RESUELTOS (manual del profesor)	133
Práctica 1: Definiciones de conceptos del led	133
Práctica 2: Caracterización del led.....	141
Práctica 3: Regulador de corriente lineal.....	147
Práctica 4: Fuente de corriente constante.....	152
Práctica 5: Driver lineal en circuito integrado para iluminación led	158
Práctica 6: Fuente de corriente constante con ajuste de corriente	164
Práctica 7: Driver conmutado PWM	168
ANEXO 3: PRESUPUESTO DE MONTAJES PRÁCTICOS	179
Bibliografía.....	185

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Publicación “Nota sobre el Carborundo”, H.J.Round, Electrical World, 49, 209, 1907	20
Ilustración 2 Diagrama de banda de paso de un diodo Schottky, (a) estado de equilibrio (b) conducción directa (c) alta tensión en directo, lo que conlleva emisión de luz.....	20
Ilustración 3 Unión semiconductor pn.....	24
Ilustración 4 Estructura básica de un led convencional.....	28
Ilustración 5 Clasificación de los led	28
Ilustración 6 Espectro electromagnético	29
Ilustración 7 Comparación entre led convencional y led de potencia	30
Ilustración 8 Fases de fabricación de obleas para obtener led	32
Ilustración 9 Ejemplo final de led empaquetado, modelo Philips Luxeon Rabel.....	33
Ilustración 10 Ejemplo de estructura de led con disipador de calor.....	33
Ilustración 11 Flujo de aire por la pared de un disipador.....	34
Ilustración 12 Relación entre resistencia térmica y distancia entre aletas para un radiador de 100x100mm y 45mm altura de aletas.....	34
Ilustración 13 Comparación entre un radiador con distancia entre aletas de 4mm y otro de 8 mm	35
Ilustración 14 Tipos de tecnologías para sistemas ópticos	36
Ilustración 15 Conjunto de led de potencia más reflector y lente	37
Ilustración 16 Circuito básico de excitación de led.....	38
Ilustración 17 Tecnologías de iluminación en automoción a partir de 1990[17].....	42
Ilustración 18 Despiece de un faro halógeno.....	44
Ilustración 19 Módulo de proyección para un faro	45
Ilustración 20 Dispersores sin óptica y con óptica de dispersión	45
Ilustración 21 Sistema de faro paraboloide.....	46
Ilustración 22 Sistema de faro de geometría libre FF.....	47
Ilustración 23 Sistema de faro de geometría Súper DE	47
Ilustración 24 Estructura de un piloto.....	48
Ilustración 25 Sistemas ópticos para lámpara incandescente.....	49
Ilustración 26 Bombilla incandescente.....	49
Ilustración 27 Bombilla halógena.....	50
Ilustración 28 Proceso de generación de luz en bombilla halógena.....	51
Ilustración 29 Comparación entre lámpara halógena incandescente y lámpara de descarga de gas	52
Ilustración 30 Bombilla H4 de Philips.....	52
Ilustración 31 Lámparas D2S y D2R.....	54
Ilustración 32 Sistema xenón.....	54
Ilustración 33 Funciones luminosa del proyector del Audi A8	55
Ilustración 34 Vista de la planta de la iluminación de un faro con tecnología laser	56
Ilustración 35 Estructura módulo laser.....	56
Ilustración 36 Código de homologación de un faro Hella	58
Ilustración 37 Esquema de circuito para limitar la corriente por resistencia	59
Ilustración 38 Esquema de circuito para limitar la corriente por fuente de corriente constante	60

Ilustración 39 Circuito básico para el CL2N3-G de microchip	61
Ilustración 40 Circuito con ramas en paralelo para el CL2N3-G de microchip.....	61
Ilustración 41 Circuito con varios CL2N3-G en paralelo.....	62
Ilustración 42 (a) Convertidor DC/DC básico conmutado. (b) Equivalente para conmutación. (c) Tensión de salida.	63
Ilustración 43 Convertidor DC/DC reductor (a) esquema del circuito. (b)Circuito equivalente cuando el interruptor está cerrado. (C) Circuito equivalente cuando el interruptor está abierto.	64
Ilustración 44 Formas de onda del convertidor Buck. (a) Tensión por la bobina. (b) Corriente por la bobina. (c) Corriente en el condensador.	65
Ilustración 45 Diagrama de bloques y esquema del circuito de uso típico del 172946001 de Würth Elektronik.....	67
Ilustración 46 Convertidor DC/DC elevador (a) esquema del circuito. (b)Circuito equivalente cuando el interruptor está cerrado. (C) Circuito equivalente cuando el interruptor está abierto.	68
Ilustración 47 Formas de onda del convertidor Boost. (a) Tensión por la bobina. (b) Corriente por la bobina. (c) Corriente en el diodo. (d) Corriente en el condensador.	69
Ilustración 48 Esquema de circuito de uso típico del driver LTM8005 de Analog Devices	71
Ilustración 49 Esquema de circuito de uso típico del driver TPS60230 de Texas Instrument	71
Ilustración 50 Convertidor DC/DC reductor-elevador (a) esquema del circuito. (b)Circuito equivalente cuando el interruptor está cerrado. (c)Circuito equivalente cuando el interruptor está abierto.	72
Ilustración 51 Formas de onda del convertidor Buck-Boost. (a) Tensión por la bobina. (b) Corriente por la bobina. (c) Corriente en el diodo. (d) Corriente en el condensador	73
Ilustración 52 Esquema de circuito de uso típico del driver HVLED001B de STMicroelectronics.....	74
Ilustración 53 Evolución de las distintas tecnologías de faros para automóviles en los últimos años y previsión hasta el 2021	76
Ilustración 54 Tecnología Matrix Beam.....	76
Ilustración 55 Pilotos Oled del Bmw M4 y Audi A8 respectivamente.....	77
Ilustración 56 Consumo de un faro halógeno	78
Ilustración 57 Consumo de un faro led	78
Ilustración 58 Página web de Vishay, apartado de automoción.....	79
Ilustración 59 Datasheet de Power SMD LED PLCC-2 Plus.....	80
Ilustración 60 Buscador de led de Osram.....	81
Ilustración 61 Datasheet de KW CULPM1.TG OSLO® Boost HX	82
Ilustración 62 Página web de Lumileds	82
Ilustración 63 Datasheet de LUXEON Versat 3030 CW 150.....	83
Ilustración 64 Solución electrónica de Infineon para faro led descentralizado	84
Ilustración 65 Esquema de uso sencillo para el circuito integrado TLD 5098EL	85
Ilustración 66 Solución de Infineon para (a) un sistema de iluminación completo del automóvil, (b) piloto trasero independiente.....	86
Ilustración 67 Solución de Texas Instrument para (a) faro independiente completamente de led (b) piloto de led con varias configuraciones según el número de canales.....	87
Ilustración 68 Circuito excitación del led.....	99
Ilustración 69 Esquema de circuito para regulador de corriente	102
Ilustración 70 Fuente de corriente constante independiente de la alimentación.....	108

Ilustración 71 Tipos de encapsulado para el CL2N3-G de microchip	114
Ilustración 72 Circuito básico para el CL2N3-G de microchip	115
Ilustración 73 Circuito con ramas en paralelo para el CL2N3-G de microchip.....	115
Ilustración 74 Circuito con varios CL2N3-G en paralelo.....	116
Ilustración 75 Tipos de encapsulado para el LM 317	120
Ilustración 76 Circuito limitador de corriente para led con LM317	121
Ilustración 77 Luminosidad de un foco con modulación PWM.....	124
Ilustración 78 Circuito de control de corriente para led con PWM.....	125
Ilustración 79 Circuito de control de corriente para led con generador de funciones	129
Ilustración 80 Circuito de control de corriente para led con 555.....	129
Ilustración 81 Ángulo ω	134
Ilustración 82 Diferencia entre flujo luminoso e intensidad luminosa	134
Ilustración 83 Temperatura de color del led.....	134
Ilustración 84 Elipse de MacAdam.....	135
Ilustración 85 Clasificación para el led LR T677F de Osram.....	136
Ilustración 86 Zonas de incidencia para el haz de cruce para faro clase A.....	137
Ilustración 87 Led KW H2L531.TE de Osram.....	138
Ilustración 88 TOP VIEW LED A09K-C71501H-AM de Everlight.....	139
Ilustración 89 Power SMD LED PLCC-2 Plus de Vishay	140
Ilustración 90 HFTV1108GS-P-TR de Stanley.....	140
Ilustración 91 Vista de la página web de Everlight.....	141
Ilustración 92 Iluminación del led azul (a) $V_{cc}=6,2$ V, (b) $V_{cc}=5,6$ V, (c) $V_{cc}=3,2$ V	142
Ilustración 93 Iluminación del le LT T67c (a) $V_{cc}=6$ V, (b) $V_{cc}=2,1$ V.....	142
Ilustración 94 Iluminación del led amarillo para (a) $V_{cc}=6$ V, (b) $V_{cc}=1,8$ V	143
Ilustración 95 Iluminación del led rojo para (a) $V_{cc}=6v$, (b) $V_{cc}=1,6v$	143
Ilustración 96 Corriente directa e intensidad luminosa relativa para el led azul.....	144
Ilustración 97 Corriente directa e intensidad luminosa relativa para el led verde	144
Ilustración 98 Corriente directa e intensidad luminosa relativa para led amarillo	145
Ilustración 99 Corriente directa e intensidad luminosa relativa para led rojo.....	145
Ilustración 100 Intensidad relativa luminosa con respecto a la temperatura de la unión para el led azul.....	146
Ilustración 101 Corrientes para $V_{cc}=15,7$ V.....	147
Ilustración 102 Barrido de V_{cc} desde 5V a 20 V en azul tensión y en morado corriente.....	148
Ilustración 103 Esquema electrónico del circuito simulado por Pspice para 4 leds	148
Ilustración 104 Barrido simulado con Pspice de V_{cc} desde 8 v a 24v mostrando corriente por el led	149
Ilustración 105 Montaje experimental de la práctica	149
Ilustración 106 Barrido experimental de V_{cc} desde 5 v a 21v.....	150
Ilustración 107 Barrido experimental de V_{cc} desde 15 v a 24v.....	150
Ilustración 108 Montaje experimental de la práctica para 4 leds.....	151
Ilustración 109 Circuitos simulados por Pspice.....	154
Ilustración 110 Circuitos simulados por Pspice.....	154
Ilustración 111 Fotografía del montaje en el laboratorio para un led con transistores bipolares	155
Ilustración 112 Fotografía del montaje en el laboratorio para transistores mosfet.....	155
Ilustración 113 Fotografía del montaje en el laboratorio para 4 led.....	156
Ilustración 114 Fotografía del montaje en el laboratorio para transistores mosfet.....	156
Ilustración 115 Simulación de corriente lled para un barrido de V_{cc} desde 0v a 15v.....	157

Ilustración 116 Esquema de circuito con CL2 y 6 led.....	158
Ilustración 117 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 20 V y tensión en el led	159
Ilustración 118 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 20 V y corriente en el led.....	159
Ilustración 119 Montaje del circuito con CL2 y 6 led	160
Ilustración 120 Esquema de circuito con 3 CL2 y 3 led.....	160
Ilustración 121 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 16 V y tensión en el led	161
Ilustración 122 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 16 V y corriente en el led.....	161
Ilustración 123 Montaje del circuito con 3 CL2 y 3 led	161
Ilustración 124 Esquema del circuito con 3 CL2 y 6 led.....	162
Ilustración 125 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 20 V y tensión en el led	162
Ilustración 126 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 20 V y corriente en A.....	163
Ilustración 127 Montaje del circuito con 3 CL2 en paralelo y 2 ramas paralelas de 3 led en serie	163
Ilustración 128 Simulación de I_F y V_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 6 V.....	164
Ilustración 129 Simulación de I_f y V_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 20 V.....	165
Ilustración 130 Gráfica de V_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 10 V	166
Ilustración 131 Gráfica de I_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 10 V.....	166
Ilustración 132 Fotografía de montaje con 1 led	166
Ilustración 133 Gráfica de V_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 15 V.....	167
Ilustración 134 Gráfica de I_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 15 V.....	167
Ilustración 135 Fotografía de montaje con 4 led	167
Ilustración 136 Simulación para $D=0,91$	169
Ilustración 137 Simulación para $D=0,53$	169
Ilustración 138 Simulación para $D=0,09$	170
Ilustración 139 Simulación para $R_2=1\Omega$	170
Ilustración 140 Simulación para $R_2=48K\Omega$	171
Ilustración 141 Simulación para $R_2=220K\Omega$	171
Ilustración 142 Tensión por los led experimentalmente para $D=0,91$	172
Ilustración 143 Tensión por los led experimentalmente para $D=0,53$	172
Ilustración 144 Tensión por los led experimentalmente para $D=0,09$	173
Ilustración 145 Montaje realizado con generador de funciones	173
Ilustración 146 Tensión por los led experimentalmente para $R_2=1\Omega$	174
Ilustración 147 Tensión por los led experimentalmente para $R_2=48K\Omega$	174
Ilustración 148 Tensión por los led experimentalmente para $R_2=220K\Omega$	174
Ilustración 149 Montaje realizado con 555.....	175

Índice de Tablas

Tabla 1 Material semiconductor utilizado para generar iluminación led	26
Tabla 2 Relación entre longitud de onda, tensión aplicado y material del led[8]	27
Tabla 3 Distribución temporal de sesiones prácticas	91
Tabla 4 Características de los led.....	99
Tabla 5 Medidas obtenidas en laboratorio	100
Tabla 6 Barrido de Vcc experimentalmente de 5 a 21 V	104
Tabla 7 Barrido de Vcc experimentalmente de 15,7 a 24 V	105
Tabla 8 Resultados obtenidos para Vcc calculado	105
Tabla 9 Datos obtenidos para el circuito con transistores bipolares.....	111
Tabla 10 Datos obtenidos para transistores mosfet.....	111
Tabla 11 Datos obtenidos para D	130
Tabla 12 Datos obtenidos para R_2	130
Tabla 13 Nivel de reproducción cromático con respecto IRC para el led	135
Tabla 14 Requisitos para el haz de cruce para faro clase A	137
Tabla 15 Límites de flujo luminoso para luces de posición y freno	139
Tabla 16 Características de los led.....	141
Tabla 17 Medidas obtenidas en para el led azul.....	142
Tabla 18 Datos obtenidos para el led verde	142
Tabla 19 Datos obtenidos para el led amarillo	142
Tabla 20 Datos obtenidos para led rojo	143
Tabla 21 Grupos de brillo para el led azul	146
Tabla 22 Barrido de Vcc experimentalmente de 5 a 21 V	150
Tabla 23 Barrido de Vcc experimentalmente de 15,7 a 24 V	150
Tabla 24 Resultados obtenidos para Vcc = 15,7 V	151
Tabla 25 Datos obtenidos para el circuito con transistores bipolares.....	156
Tabla 26 Datos obtenidos para transistores mosfet.....	156
Tabla 27 Datos obtenidos para 4 led para transistores bipolares	157
Tabla 28 Datos obtenidos para 3 led para transistores mosfet	157
Tabla 29 Datos obtenidos para 1 CL2 y 6 led	159
Tabla 30 Datos obtenidos para 3 CL2 y 3 led	160
Tabla 31 Datos obtenidos para 3 CL2 y 6 led	162
Tabla 32 Resultado medición experimenta con $R_1=43,14\Omega$	165
Tabla 33 Resultado medición experimenta con $R_1=43,14\Omega$	166
Tabla 34 Datos obtenidos para $D=0,91$	175
Tabla 35 Datos obtenidos para $D=0,53$	175
Tabla 36 Datos obtenidos para $D=0,09$	175
Tabla 37 Datos obtenidos para $R_2=1\Omega$	176
Tabla 38 Datos obtenidos para $R_2=48K\Omega$	176
Tabla 39 Datos obtenidos para $R_2=220K\Omega$	176
Tabla 40 Presupuesto para Práctica 2.....	179
Tabla 41 Presupuesto para Práctica 3.....	180
Tabla 42 Presupuesto para Práctica 4.....	181
Tabla 43 Presupuesto para Práctica 5.....	181
Tabla 44 Presupuesto para Práctica 6.....	182

Tabla 45 Presupuesto para Práctica 7	182
Tabla 46 Presupuesto para la realización de las prácticas	183

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en el estudio teórico de la tecnología led de potencia y su uso en la automoción, cómo se puede ver cada día es mayor y se desarrollan más aplicaciones.

El trabajo está dividido en cuatro partes:

En la primera parte se estudiará la tecnología led, esto está compuesto por la historia y evolución del led, el funcionamiento, la fabricación, tipos de led que existen, y aparte, se describirán las partes indispensables, para que esta nueva tecnología pueda obtener la alta luminosidad que obtiene, como son las lentes, driver y los disipadores de calor.

En la segunda parte, se describe la iluminación en automoción, desde la primera luz que fue puesta en un coche, hasta las nuevas tecnologías, se estudiarán las más importantes, así como su estructura.

La tercera parte, trata sobre la iluminación led en automoción y las soluciones que aportan los principales fabricantes del sector, para cada aplicación. Se puede observar cómo se está consolidando como una tecnología, la cual supera tanto en potencia como en versatilidad y eficiencia a sus predecesoras, aunque todavía es una tecnología cara, pero cada vez es más accesible.

Y para concluir el trabajo, se incluirá un apartado experimental, en el que se desarrollarán una serie de circuitos básicos utilizados en iluminación para el automóvil, basados en led y su excitación. Esta parte experimental, después de haber sido verificada, tanto en el laboratorio, montando los circuitos y testeándolos, como teóricamente, como simulando en PC a partir del software Pspice, se elaborará de forma, que sean introducidas en una nueva asignatura optativa, llamada Electrónica Aplicada a la Iluminación del Automóvil, que comenzará a impartirse en el curso 2020/21, como prácticas a realizar por el alumnado. Se incluirán dos partes en el trabajo. Una parte que será la que se entregue al alumno como guion de prácticas y otra parte que servirá como manual del profesor, con las prácticas resueltas.

2. ANTECEDENTES

Está claro que la tecnología led en el automóvil está en auge, y que cada día se pueden ver por la calle más vehículos con ella, por lo tanto es un tema del cual se está hablando bastante. Aunque no se ha conseguido encontrar ningún trabajo relacionado con ella, en la Universidad de Jaén o en otra, pero si se busca por internet, nos aparecen bastantes artículos, de prestigiosos medios informativos hablando sobre este tema, como puede ser el diario ABC con su artículo “¿Puedo montar luces LED en mi coche? Esta es la normativa”, publicado el 19 de febrero de 2018, o el periódico The New York Times con su publicación “*So Efficient, L.E.D.’s Are Now Fashion Plates, Too*” de 27 de enero de 2008.

3. OBJETIVOS

Este trabajo fin de grado, tiene como objetivo principal, el estudio de la tecnología led de potencia y sus aplicaciones en automoción. Para ello, se estudiará de forma teórica este tema. Una vez hecho esto, se expondrán una serie de guiones de casos prácticos, con sus correspondientes soluciones, que servirán como propuesta, para que sean realizados por los alumnos de la asignatura optativa, Electrónica Aplicada a la Iluminación del Automóvil.

4. CONTEXTO DENTRO DEL GRADO

En este trabajo fin de grado, se expondrán conocimientos adquiridos en el Grado de Ingeniería Electrónica Industrial, impartido por la Universidad de Jaén. La mayor parte de estos conocimientos, son desarrollados en las asignaturas obligatorias de tercer curso, Sistemas Analógicos y Electrónica de Potencia.

5. METODOLOGÍA

La metodología para la elaboración de este trabajo, consiste en la búsqueda de información en libros, artículos de revistas, hojas de características y páginas webs relacionados con la tecnología led y la automoción. Todos ellos son citados en la bibliografía al final de este trabajo.

El trabajo ha sido redactado con el software, Microsoft Office Word 2013.

Para la parte de prácticas, además de lo anteriormente expuesto, se ha tenido que utilizar el laboratorio A3-454, de Electrónica Analógica, de la Escuela Politécnica Superior de Jaén, para realizar los montajes experimentales, para los cuales se han utilizado sus instrumentos, expuestos a continuación:

-Fuente de alimentación: HY3005D-3 de HYelec.

-Multímetro digital: 1604 de TTI.

-Generador de funciones: TG300 de TTI.

-Osciloscopio: OD581 de Promax

Para la parte de simulación, se ha utilizado el software Orcad Pspice 9.2.

6. FUNDAMENTOS TEORICOS.

En este capítulo se trata de describir que es un diodo led, la evolución que ha seguido hasta el día de hoy, como funciona, la estructura que tiene, como es el proceso de fabricación, como se puede clasificar ya que existen varios tipos, componentes necesarios para mejorar su rendimiento, como son: las lentes, los disipadores de calor o los driver.

6.1. Definición

Según la RAE (Real Academia Española):“Diodo semiconductor que emite luz cuando se le aplica tensión”[1].

6.2. Historia

Aunque se piensa que el diodo led es algo nuevo, es una tecnología que se descubrió hace ya tiempo, pero por el coste que supone su estudio no ha sido hasta hace unos años cuando se han logrado grandes avances, a continuación se habla de forma resumida su historia.

En 1891, Eugene G. Acheson, comercializó un nuevo material, el carburo de silicio (SiC) o Carborundo, llamado comercialmente. La fabricación se realizó en un horno, consiguiendo que a alta temperatura que el vidrio y el carbono reaccionaran formando el SiC. Este nuevo material tenía una simetría parecida al diamante, además de una dureza muy alta (en la escala de durezas: diamante 10.0, Carborundo 9.5, SiC puro 9). Como era relativamente fácil y barato de fabricar tuvo gran aceptación en la industria de los abrasivos.

En 1907, Henry Joseph Round, comenzó a utilizar estos cristales de SiC como detectores de estado y experimentó su utilización como una alternativa a los costosos diodos de tubo de vacío utilizados en la demodulación de radiofrecuencia. En este proceso Round observó que los cristales emitían luz al aplicar determinadas tensiones, como notificó en la carta que mandó al Electrical World y que fue publicada como se muestra en la Ilustración 1, y he aquí el nacimiento de la tecnología led.

A Note on Carborundum.

—

To the Editors of Electrical World:

SIRS:—During an investigation of the unsymmetrical passage of current through a contact of carborundum and other substances a curious phenomenon was noted. On applying a potential of 10 volts between two points on a crystal of carborundum, the crystal gave out a yellowish light. Only one or two specimens could be found which gave a bright glow on such a low voltage, but with 110 volts a large number could be found to glow. In some crystals only edges gave the light and others gave instead of a yellow light green, orange or blue. In all cases tested the glow appears to come from the negative pole, a bright blue-green spark appearing at the positive pole. In a single crystal, if contact is made near the center with the negative pole, and the positive pole is put in contact at any other place, only one section of the crystal will glow and that the same section wherever the positive pole is placed.

There seems to be some connection between the above effect and the e.m.f. produced by a junction of carborundum and another conductor when heated by a direct or alternating current; but the connection may be only secondary as an obvious explanation of the e.m.f. effect is the thermoelectric one. The writer would be glad of references to any published account of an investigation of this or any allied phenomena.

NEW YORK, N. Y.

H. J. ROUND.

Ilustración 1 Publicación “Nota sobre el Carborundo”, H.J.Round, *Electrical World*, 49, 209, 1907

Esta luz se producía con el contacto del cristal de SiC con unos electrodos metálicos, de modo que se formaba un diodo Schottky. Este está formado por lo general por una región de semiconductor dopada (tipo n por lo general) con un metal como oro, plata o platino, por tanto, en vez de una unión p-n, se tiene una unión metal-semiconductor. Como solo opera con portadores mayoritarios, no tiene corriente de fuga inversa. El mecanismo de emisión de luz de un diodo Schottky en directo se muestra en la ilustración 2 [2].

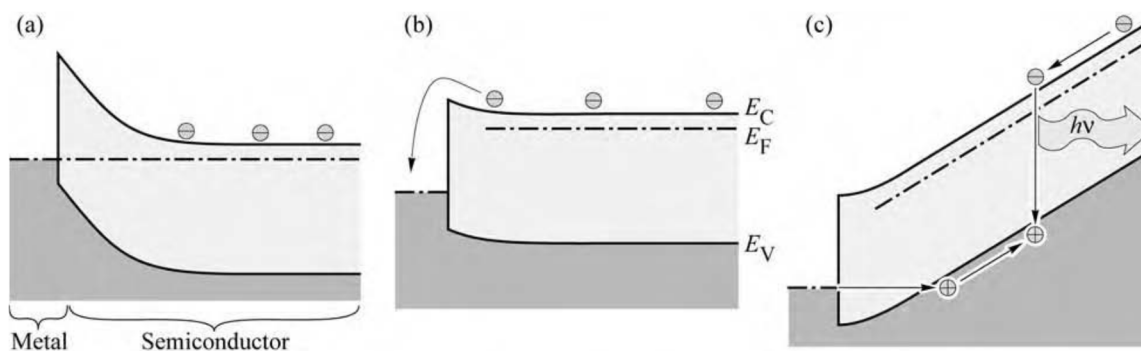


Ilustración 2 Diagrama de banda de paso de un diodo Schottky, (a) estado de equilibrio (b) conducción directa (c) alta tensión en directo, lo que conlleva emisión de luz.

El semiconductor debe ser tipo n. En condiciones de alta impedancia en directo, Ilustración 2 (b), los portadores minoritarios se inyectan en el semiconductor mediante un túnel a través de la barrera de potencial. La luz se emite después de la recombinación de los portadores minoritarios con los mayoritarios de tipo n Ilustración 2 (c). La tensión necesaria para la inyección de portadores minoritarios en diodos Schottky es más grande que en los led convencionales tipo pn, según la publicación de Round un rango de 10-110 V [3].

A principios del siglo XX, la emisión de luz desde un material en estado sólido provocado por la aplicación de una corriente eléctrica se definió como electroluminiscencia, la cual se diferencia de la incandescencia en la temperatura de operación de cada una. Mientras que la incandescencia necesita temperaturas mayores a 750°C, la electroluminiscencia se puede realizar a temperatura ambiente.

En 1928, Lossev, informó sobre unas investigaciones que había llevado a cabo sobre el fenómeno de la luminiscencia, en rectificadores de metal-semiconductor de SiC. Estos rectificadores se usaban principalmente en los circuitos de demodulación, que no usaban tubos de vacío. Lossev, observó que algunos diodos se iluminaban cuando estaban polarizados en inverso y otros en directo, esto le asombró y comprobó con una gota de benceno si esta luz era generada por la temperatura (incandescencia), pero observó que la gota se evaporó muy lentamente, lo que cercioraba que era luminiscencia. Por lo que postuló que “La producción de luz es muy similar a la descarga electrónica en frío”, también se percató de la rapidez con que se aparecía y desaparecía dicha luz, y le puso el nombre de “luz de relé”, porque recuerda al funcionamiento de un relé.

En 1935, el físico francés Georges Destriau, descubrió la emisión de luz en el sulfato de zinc, por este motivo es considerado el padre de la electroluminiscencia, aunque este llamó a este fenómeno como “luz Lossev”, en honor a su predecesor.

En 1962 Holonyak y Bevacqua informaron sobre la emisión de luz visible de color rojo con uniones de GaAsP en el primer volumen de “Applied Physics Letters”, aunque esta luz solo se observó a bajas temperaturas, los dispositivos trabajaban como un led y llegaron a emitir luz a temperatura ambiente. Estos se habían creado a partir del

crecimiento epitaxial en fase vapor (VPE) de GaAsP en sustrato de GaAsP, una técnica adecuada para el crecimiento de grandes volúmenes de obleas.

El primer led comercial de GaAsP lo puso en el mercado la compañía General Electric a principios de los sesenta, este led emitía luz roja. Debido al alto precio del producto, sus ventas fueron muy pobres, era ofrecido en el catálogo “Allied Radio” específico para los dispositivos electrónicos de radioaficionados.

La Corporación Monsanto fue la primera en iniciar la producción en masa del led, en 1968, creó una fábrica y comenzó a realizar led de bajo coste para ser vendidos al consumidor. A finales de los sesenta y mediados de los setenta, el mercado emergente estaba en las pantallas led numéricas, usados principalmente para calculadoras y después para relojes de pulsera.

En 1968 se formaron los led verdes al dopar GaP con N, cuyo descubridor fue Logan. La eficiencia era menor que la de los led rojos, pero el ojo humano es hasta 10 veces más sensible a la luz verde que a la roja, por lo que ambos led tenían el mismo brillo aparentemente.

El equipo de Musanto aplicó el dopaje de GaAsP con N para lograr la emisión en el rango de longitud de onda del rojo, naranja, amarillo y verde en 1971.

En 1981, Isamu Akasaki, demostró el primer dopaje de tipo p verdadero y la conductividad de tipo p en GaN. Hoy día el dopaje con Mg con GaN es la base de todos los led y diodos laser basados en N³⁻. El led que emitía luz ultravioleta (UV) y color azul se realizó sobre zafiro y fue presentado por Akasaki en 1992 en la conferencia “GaAs y compuestos relacionados” celebrada en Japón ese mismo año [2].

En 1998, Lumileds pone en venta el primer led blanco de potencia, añadiéndole fósforo al led azul, que en poco tiempo salió al mercado: en 2002, con 30 lúmenes y un costo de 8.50 dólares por componente. Actualmente, con sus más de 160 L/W 350mA, el led desplaza en eficiencia y versatilidad a cualquier otra tecnología. Su calidad de color lo hace una posibilidad inmediata para el ahorro energético, además de que no utiliza materiales peligrosos para su elaboración[4].

En el año 2014, el premio nobel de física fue para los investigadores Shuji Nakamura, Hiroshi Amano y Isamu Akasaki. El primero de ellos fue quien desarrollo el primer led azul de alto brillo, construido con InGaN en 1994. Por su parte, los otros dos científicos, trabajan en la nucleación de GaN sobre sustrato de zafiro, obteniendo con ello el dopaje tipo P en ese material. El premio en sí, no fue solo por la invención del led azul, si no que este desarrollo se ha considerado una invención de beneficio para la humanidad, ya que utilizando led azules, la luz blanca se crea de una forma más ecológica y necesita menos recursos [5].

En las últimos años, está irrumpiendo una tecnología que puede llegar a desplazar al led, es la tecnología Oled, que se basa en diodos orgánicos emisores de luz y puede llegar a ser unos dispositivos luminosos más eficiente que los led. Aunque parece una tecnología novedosa, no es así, ya en los años 50, Bernadose, descubría una débil conductividad eléctrica en el compuesto de naranja de acridina. Años después, ya en la década de los 60, Martin Pope, reporto los trabajos que realizó sobre la electroluminiscencia controlada por corriente en cristales de antraceno, pero era tal la tensión que se necesitaba para su funcionamiento, que no se le encontraba utilidad, alrededor de 100v. En el año 1987, Tang y VanSlyke, reportaron el primer Oled desarrollado en los laboratorios de Kodak, lo que supuso un gran avance y empezaron a encontrarse nuevas funciones a esta tecnología, como el uso en pantallas. En el año 2000, los investigadores Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid y Hideki Shirakawa, recibieron el premio Nobel de Química por sus investigaciones sobre los polímeros conductores[6]. Tal es el avance que está teniendo esta tecnología, que se está empezando a sustituir al led en algunas funciones, como por ejemplo en 2018, tanto Audi como BMW, presentaron pilotos para automóvil con tecnología Oled.

6.3. Funcionamiento

El funcionamiento de un led, es similar al de un diodo convencional, la corriente fluye desde el lado p de un semiconductor hacia su lado n, puesto que la resistencia que le opone es nula, pero no en sentido contrario, ya que la resistencia es infinita. El lado p se conoce como ánodo y el lado n como cátodo.

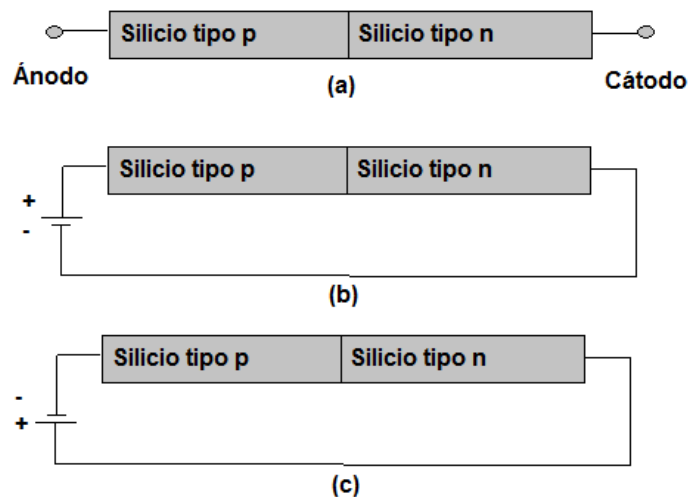


Ilustración 3 Unión semiconductor pn

En la Ilustración 3 se representa la composición básica y funcionamiento de un diodo, en Ilustración 3 (a) se muestra una unión pn de silicio sin voltaje aplicado. Tanto los semiconductores dopados con n como los no dopados son relativamente conductores, en cambio, la unión entre ellos es una capa no conductora, lo que se conoce como zona de agotamiento. Esta zona se produce cuando los portadores cargados eléctricamente con silicio dopado tipo n (llamados electrones) y el silicio tipo p (llamados vacantes) se atraen y eliminan entre sí, en un proceso llamado recombinación. Si se manipula la capa no conductora entre la banda de silicio de tipo n, se puede formar un diodo, este diodo se asemeja a un interruptor eléctrico que permite el flujo de electricidad en una dirección, pero no en la contraria.

En la Ilustración 3 (b), se muestra un terminal positivo conectado al ánodo y el terminal negativo conectado al cátodo. Esto da como resultado una polarización directa que empuja a los huecos en la región p y a los electrones en la región n hacia la unión. El efecto neto de la conexión de los terminales positivo y negativo es empujar a los electrones y los huecos hacia la unión pn, disminuyendo así el potencial eléctrico requerido para disminuir la zona de agotamiento no conductora de modo que se vuelva tan delgada que los electrones puedan atravesar la barrera de la unión pn aumentando la tensión de polarización directa. Por tanto los electrones comienzan a entrar en el silicio tipo p y se mueven de un hueco a otro a través de él haciendo que fluya la corriente eléctrica desde el terminal negativo al positivo de la batería.

En la Ilustración 3 (c), el diodo se encuentra en polarización inversa. Por tanto la región de tipo p ahora se conecta al terminal negativo de la batería, lo que conlleva que los huecos en el silicio de tipo p se vayan de la unión pn, lo que produce un aumento del ancho de la zona de agotamiento. En consecuencia, como el terminal positivo está conectado al silicio tipo n, esto hace que los electrones se retiren de la unión, ampliando más la diferencia de potencial, lo que a su vez, aumenta la resistencia al flujo de electricidad, si la tensión es demasiado alta, puede llegar a destruir el dispositivo.

El funcionamiento de un led es similar al descrito anteriormente para un diodo, la corriente fluye fácilmente desde el lado p al lado n del semiconductor, a través de un potencial de polarización directa, pero no en inversa.

La gran diferencia entre el led y el diodo, es que este primero cuando un electrón cruza la barrera de potencial y se encuentra con un hueco, cae en un nivel de energía más bajo, lo que conlleva la liberación de energía en forma de fotón. El fotón es un portador de radiación electromagnética, de todas las longitudes de onda. La longitud de onda real, de la luz generada y su color que corresponde con la longitud de onda emitida, depende de la energía liberada por los materiales utilizados para formar la unión pn. A continuación en la tabla 1, se muestra los tipos de materiales utilizados en la unión y el color de la luz generada.

SEMICONDUCTOR MATERIALS	LED EMISSION
Aluminum gallium arsenide (AlGaAs)	Red and infrared
Aluminum gallium phosphide (AlGaP)	Green
Aluminum gallium indium phosphide (AlGaInP)	Bright orange red, orange, yellow
Aluminum gallium nitrate (AlGaN)	Near to far ultraviolet
Aluminum nitrate (AlN)	Near to far ultraviolet
Diamond (C)	Ultraviolet
Gallium arsenide phosphide (GaAsP)	Red, orange and red, orange, yellow
Gallium phosphide (GaP)	Red, yellow, green
Gallium nitrate (GaN)	Green, emerald green
Gallium nitrate (GaN) with AlGaN quantum barrier	Blue, white
Indium gallium nitrate (InGaN)	Bluish green, blue, near ultraviolet
Sapphire (Al_2O_3) as substrate	Blue
Silicon (Si) as substrate	Blue (under development)
Silicon carbide (SiC)	Blue
Zinc selenide (ZnSe)	Blue

Tabla 1 Material semiconductor utilizado para generar iluminación led

Por lo general, los led para su correcto funcionamiento necesitan una tensión en directo de 1,5-3 V y una corriente directa que varía desde los 10 mA y que puede llegar en algunos casos hasta los 40 A. Estos parámetros dependen del material con que este fabricado el semiconductor. Por ejemplo, el GaAs con una caída de tensión de 1,4 V genera una frecuencia de onda entre la luz infrarroja y la roja visible. En cambio, el fosfuro de GaAsP con una caída de tensión de 2 V genera una frecuencia de onda entre la luz roja y la amarilla, mientras que el GaP, con 3 V tiene una onda entre el color azul verdoso y el azul como se puede observar en la siguiente tabla [7].

Color	Longitud de Onda [nm]	Diferencia de potencial [ΔV]	Material semiconductor
Radiación infrarroja	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.63$	Arseniuro de Galio (GaAs) Arseniuro de galio-aluminio (AlGaAs)
Rojo	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	Arseniuro de galio-aluminio (AlGaAs) Fosfuro de galio y arsénico (GaAsP) Fosfuro de aluminio-galio-indio (AlGaInP) Fosfato de galio (GaP)
Naranja	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	Fosfuro de galio y arsénico (GaAsP) Fosfuro de aluminio-galio-indio (AlGaInP) Fosfato de galio (GaP)
Amarillo	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	Fosfuro de galio y arsénico (GaAsP) Fosfuro de aluminio-galio-indio (AlGaInP) Fosfato de galio (GaP)
Verde	$500 < \lambda < 570$	$1.9 < \Delta V < 4.0$	Verde clásico: Fosfato de galio (GaP) Fosfuro de aluminio-galio-indio (AlGaInP) Fosfuro de galio-aluminio (AlGaP) Verde puro: Nitruro de galio-indio (InGaN) / Nitruro de galio (GaN)
Azul	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Seleniuro de zinc (ZnSe) Nitruro de galio-indio (InGaN) Carburo de silicio (SiC) como sustrato Silicio (Si) como sustrato (en desarrollo)
Violeta	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	Nitruro de galio-indio (InGaN)
Púrpura	Combinación de distintos tipos	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Ledes duales azul/rojo, azul con fósforo rojo, o blanco con plástico púrpura.
Ultravioleta	$\lambda < 400$	$3 < \Delta V < 4.1$	Nitruro de galio-indio (InGaN) (385-400 nm) Diamante (C) (235 nm) Nitruro de boro (BN) (215 nm) Nitruro de aluminio (AlN) (210 nm) Nitruro de galio-aluminio (AlGaIn) Nitruro de aluminio-galio-indio (AlGaInN) hasta 210 nm
Rosa	Combinación de distintos tipos	$\Delta V \sim 3.3$	Azul con una o dos capas de fósforo, amarillo con fósforo rojo, naranja o rosa, blanco con plástico rosa, o fósforo blanco con tinte rosa por encima.
Blanco	Espectro amplio	$2.8 < \Delta V < 4.2$	Blanco puro: Led azul o UV con fósforo amarillo Blanco cálido: Led azul con fósforo naranja.

Tabla 2 Relación entre longitud de onda, tensión aplicado y material del led[8]

6.4. Estructura

La estructura básica de un led convencional, está compuesta por dos patillas (ánodo y cátodo), el diodo led y un recubrimiento de epoxi que lo protege, como se muestra en la ilustración 4, más adelante veremos led con otro tipo de estructura, como son los SMD (surface-mount device o montaje en superficie).

En la Ilustración se puede diferenciar dos patillas, una más corta y otra más larga, siendo la más larga el ánodo (+) y la más corta el cátodo (-), facilitando así su diferenciación, antiguamente no era así, lo que provocaba que se dañaran los dispositivos con facilidad, porque se conectaban al revés, invirtiendo la polaridad y como se vio con anterioridad, puede provocar su destrucción. Estas dos patillas están

conectadas al chip semiconductor y todo ello esta encapsulado por epoxy que sirve tanto para proteger el chip como para reflejar su luz.

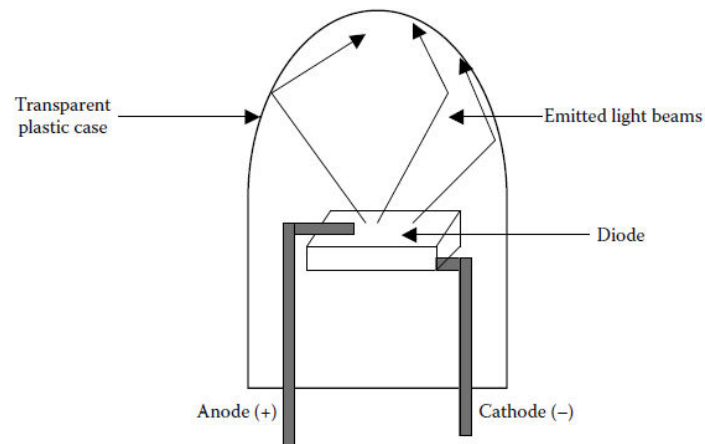


Ilustración 4 Estructura básica de un led convencional

6.5. Tipos de led

Los led se pueden clasificar de varias formas, algunas de ellas se representan en la siguiente ilustración.



Ilustración 5 Clasificación de los led

-Por potencia de operación: teniendo el led en polarización directa, la potencia que consume será $P=VI$, la cual se relaciona con la luminosidad que emite dicho led, se pueden clasificar en:

-Led indicador: opera con un rango de potencias de 30 a 60 mW

-Led de media potencia: potencia entre 60 mW y 1W

-Led de potencia: potencias mayores a 1W

-Por longitud de onda:

-Luz monocromática: estos emiten con una determinada longitud de onda, por ejemplo, un led rojo para la luz de freno de un automóvil, según la ilustración 6.

-Luz blanca: se basa en a un led azul añadir fosforo para generar la luz blanca, por ejemplo, la iluminación de una habitación.

-Radiación no visible: son led que emiten radiación ultravioleta e infrarroja, como por ejemplo el led de un mando a distancia para TV.

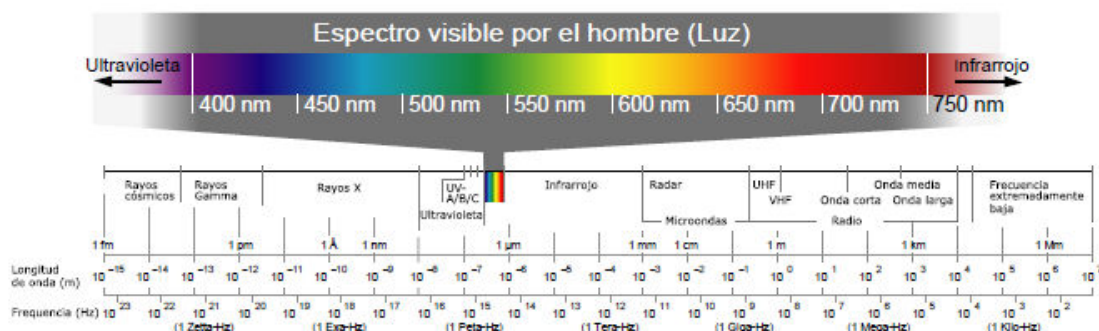


Ilustración 6 Espectro electromagnético

-Por tecnología de fabricación.

-Led convencional. Recubierto de epoxi.

-Led orgánico (Oled): se construye a partir de un material orgánico, tiene una eficiencia cercana al led de potencia, pero ahora mismo la principal desventaja es el tiempo de vida útil.

-Y otras tecnologías que no tienen que aun no tienen la importancia de las anteriores como son: SM-OLED, PLED, TOLED, PMOLED, AMOLED, ILD, SOLED y POLED.

-Por características específicas:

-Por la forma del encapsulado: cuadrado, redondo, rectangular...

-Por la forma de sus terminales: de montaje superficial (SMD) o de montaje por perforación (through-hole).

-Por direccionalidad de la luz: luz estándar, luz direccional, luz dispersa[8].

6.6. Led de potencia

Como cada vez los led se les piden más luminosidad, estos necesitan más potencia, por tanto se han creado los led de potencia, los cuales tiene las siguientes diferencias con respecto a los convencionales:

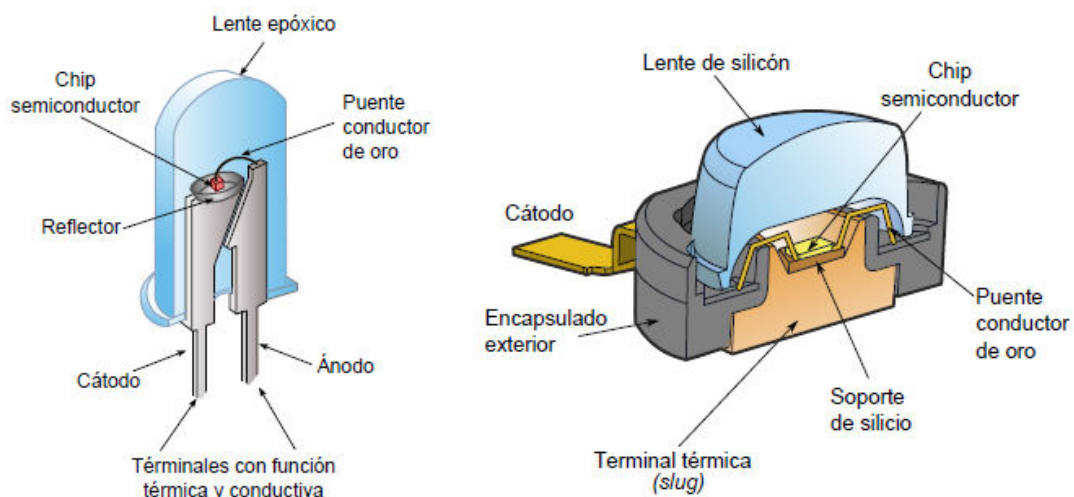


Ilustración 7 Comparación entre led convencional y led de potencia

-Terminal térmico o slug, ya que la mayor parte del calor generado en el dispositivo, se produce en la unión pn y esta depende de la corriente que circula por ella, esta está muy limitada en el led convencional, 20 mA, lo que genera en un led convencional de 5mm de luz blanca, genera un flujo luminoso de casi 1 lm, mientras que en un led de potencia, la corriente que lo atraviesa puede estar en torno a los 350 mA, generando 20 lm de luz blanca. Esto es gracias a que el encapsulado es capaz

de soportar el calor generado y puede transmitirlo a disipadores de calor externos mediante el terminal térmico. En el led convencional, este calor se disipa por las patillas del ánodo y el cátodo y el encapsulado, siendo mucho menor el calor a disipar.

- Chip semiconductor, este es más grande que el del led convencional, y su forma esta optimizada para obtener la mejor luz posible.

- Material de la lente, esta está fabricada por plásticos especiales para aguantar el calor y tiene una vida más larga que el epoxi de los led.

- El encapsulado y la lente son mucho más robustos y resistentes que las lámparas incandescentes y halógenas[9][8].

6.7. Fabricación

La fabricación de led es un proceso muy complejo y altamente cualificado. Debido a esto, son pocas empresas en el mundo las que realizan el proceso completo, aquí vamos a estudiar de una forma reducida este proceso, para esto se va a dividir el proceso en tres etapas:

- Producción del sustrato.
- Fabricación de matrices de led.
- Ensamblaje del led en el encapsulado.

6.7.1. Producción del sustrato

En esta etapa se preparan las obleas de zafiro pulidas y limpias para usarlas en un reactor de deposición química organometálica de vapor MOCVD para fabricar las matrices de led.

Se comienza con el crecimiento de grandes lingotes de cristal de zafiro. Para producir estos lingotes, se derrite una gran cantidad de óxido de aluminio y se introduce una semilla del cristal pura en la solución fundida. Este cristal se extrae lentamente de la solución y debido a este proceso lento, el crecimiento se hace de forma uniforme, en todas las direcciones. El diámetro del lingote, se genera en función

de la temperatura de fusión, la velocidad de rotación y la velocidad con que es extraída la semilla.

El lingote obtenido debe ser desbastado, como se muestra en la Ilustración 8, hasta obtener el diámetro deseado, después es cortado en obleas y por último, estas serán pulidas y limpiada para poder pasar al siguiente proceso, antes de esto deberán pasar unos controles de calidad.



Ilustración 8 Fases de fabricación de obleas para obtener led

6.7.2. Fabricación de matrices

El proceso de fabricación de matrices led se subdivide, en crecimiento epitaxial y otros procesos frontales.

En la fase de crecimiento epitaxial, el sustrato se coloca en un reactor MOCVD, donde es calentado y después se le deposita una a una por nucleación las siguientes capas: primero una capa de tipo n, después las capas activas y finalmente la capa tipo p. Y ya se tendrá una oblea epitaxial de led. Debido al tamaño que se maneja y que estas capas suponen el 3% del espesor de la oblea, cualquier tipo de imperfección o contaminación es crítico para la calidad y después cualidades del led, por eso la capa de zafiro debe ser pura (casi el 100%). Tras pasar por inspección de calidad, la oblea se somete a procesos de enmascaramiento o litografía, seguida de grabado, luego se metaliza, para poder poner más tarde los contactos del led. Una vez terminado este proceso, se corta la oblea en matrices y estas son probadas y clasificadas según su rendimiento, este tipo de clasificación se denomina BIN. Ya están listas las matrices led para ser encapsuladas.

6.7.3. Ensamble del led en el encapsulado

En la última fase, el componente ya está listo para el ensamble, lo que hay que hacer, colocarlo en la carcasa, realizar las conexiones eléctricas convenientes, aplicar

encapsulante con fosforo y testear que el led cumple con sus requerimientos y ya se tiene un led terminado como en la Ilustración 9 [10].

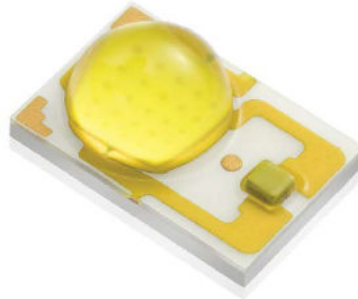


Ilustración 9 Ejemplo final de led empaquetado, modelo Philips Luxeon Rebel

6.8. Disipadores de calor

Uno de los problemas que se plantea a la hora de aumentar la potencia en los dispositivos led, es la generación de calor que se produce en la unión, para intentar solucionar este problema, hay que crear una solución térmica funcional, que se ajuste al diseño deseado. Para mantener la temperatura máxima nominal, la resistencia térmica general debe ser lo suficientemente baja, para que así se pueda disipar fácilmente el calor generado.

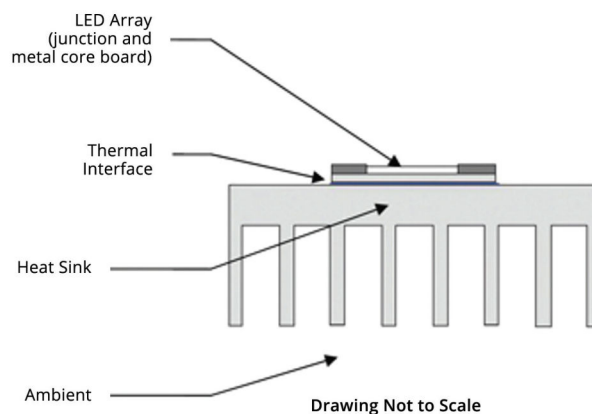


Ilustración 10 Ejemplo de estructura de led con disipador de calor

Normalmente la resistencia térmica del led, es suministrada por el fabricante en las hojas de características, pero la resistencia térmica de la placa del circuito impreso o PCB, la del radiador o demás elementos como son pastas aislantes o adhesivos, que se ponen entre el radiador y la PCB (conjunto mostrado en la Ilustración 10), deben ser calculadas. Ya que todas ellas están en serie y todas influyen a la hora de alcanzar la temperatura mínima de la unión.

La función del disipador, es transferir el calor generado por el led al aire. Para esto el aire puede fluir alrededor de él libremente o de forma forzada con ventiladores. Uno de los parámetros que influyen en la cantidad del calor disipado, es la velocidad con la que fluye el aire alrededor, esto se llama convección. Debido al costo extra que puede generar la convección forzada, se suele optar por optimizar la convección libre. El flujo de aire se genera al calentar el aire que pasa por el disipador de calor. Como el aire caliente es más liviano que el frío, ascenderá, esto se llama efecto de flotabilidad. Como el aire no se mueve directamente por el disipador de calor, se forma una capa alrededor de él y sus aletas como se muestra en la Ilustración 11.

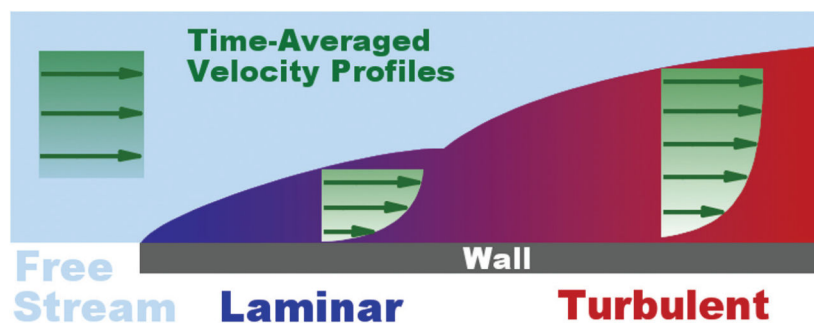


Ilustración 11 Flujo de aire por la pared de un disipador

En la convección natural, el espacio entre las aletas debe ser el óptimo para que no se obstruya el paso, es decir, dependiendo de la separación entre las aletas, se disipará más o menos calor.

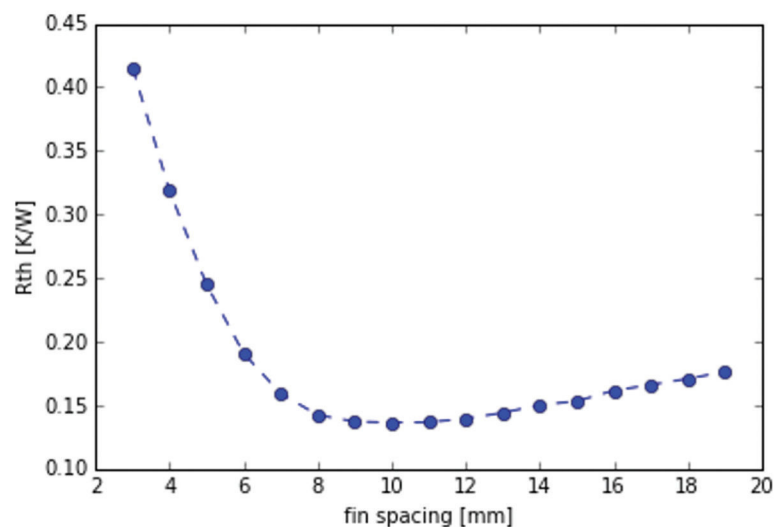


Ilustración 12 Relación entre resistencia térmica y distancia entre aletas para un radiador de 100x100mm y 45mm altura de aletas

En la Ilustración 12, se muestra una gráfica de la variación de la resistencia térmica de un radiador de área 100x100mm y una altura de las aletas de 45mm, con respecto a la distancia entre las aletas.

Se puede observar en la gráfica, que la distancia óptima se encuentra entre 8 y 12 mm de separación, ya que en la gráfica es la resistencia térmica más baja (aproximadamente 0,15 K/W). Si la distancia es menor, 4 mm, el flujo de aire será obstruido como se observa en la Ilustración 13, en cambio, si es mayor, la resistencia térmica disminuirá porque habrá menor transferencia por parte de las aletas, ya que habrá menos.

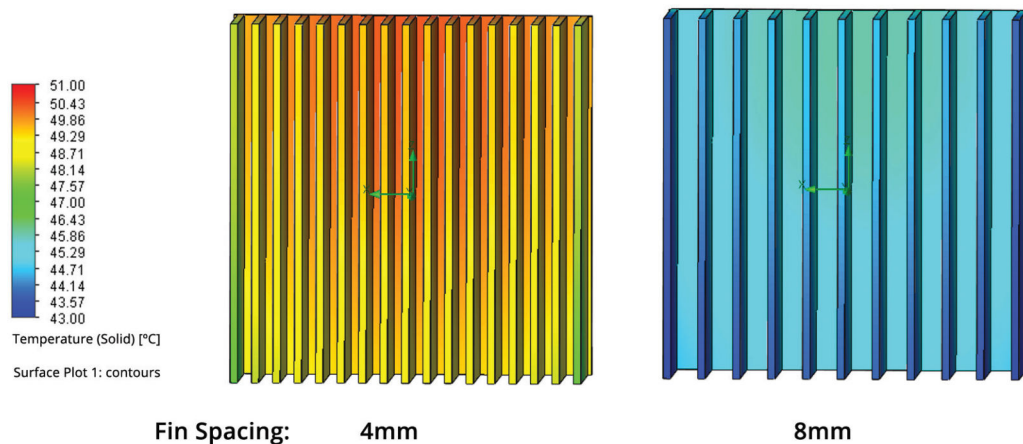


Ilustración 13 Comparación entre un radiador con distancia entre aletas de 4mm y otro de 8 mm

En cambio, si se dispone de convección forzada, esta distancia se puede disminuir, ya que el flujo de aire es más rápido, lo que hace que disminuya aún más la resistencia térmica del conjunto [11].

6.9. Sistemas ópticos asociados al led

Dada la multitud de usos en los que se está implementando la tecnología led, es imposible que un determinado led de un determinado fabricante, consiga por si solo las características que se desean. Para esto se incluyen los sistemas ópticos que se pueden ser de efecto de refracción, refractiva o difractiva como se puede observar en la ilustración 14.



Ilustración 14 Tipos de tecnologías para sistemas ópticos

Por lo general, el haz de luz generado por el led se expresa en unidades fotométricas: la intensidad luminosa se mide en candelas (cd) y el flujo luminoso, medido en lumen (lm). La intensidad luminosa es una cantidad que se mide por lo general en laboratorios fotométricos [12].

La luz emitida por un led es muy difusa y se le puede dar poco uso, pero gracias a los sistemas ópticos que se le acopla, se puede tener una luz útil.

El haz luminoso que genera un led por lo general con óptica interna, tiene una amplitud de 120° - 130° , dependiendo del tipo de construcción y de la forma. Por ejemplo, un led convencional emite un ángulo mucho menor debido a su forma de encapsulado, en cambio algunos led Chip on Board o COB son capaces de emitir un haz de hasta 160° .

Los sistemas ópticos externos tienen varias ventajas, como son que mejoran el haz de luz, ya que se puede dirigir hacia donde se desee, mejorando su rendimiento y eficacia, evitando el deslumbramiento directo no deseado a los usuarios.

6.9.1. Tipos de sistemas ópticos.

Estos pueden ser lentes, para difuminar la luz, reflectores metálicos o de plástico, para reflejar la luz generada, que suelen estar recubiertos de materiales refractarios, o difusores o una combinación de ambos de ellos.

Las lentes se suelen fabricar con materiales como el polimetacrilato (PMMA), el policarbonato (PC), vidrio o silicona, para los reflectores se suele utilizar aluminio y para los difusores se usan plásticos o siliconas.

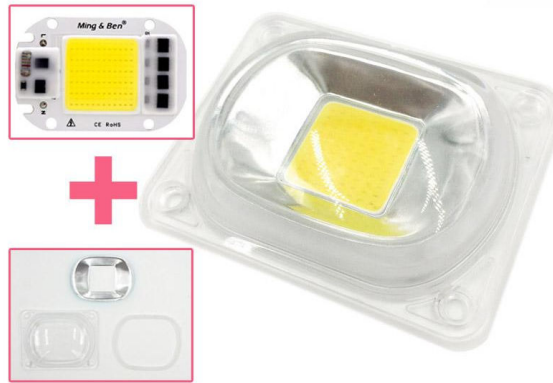


Ilustración 15 Conjunto de led de potencia más reflector y lente

Los sistemas ópticos pueden ser primarios, secundarios o terciarios, dependiendo de lo cerca que se encuentre con respecto al led y de su función, la lente primaria forma parte del encapsulado del led y es quien protege al chip, la secundaria, que se pondría fuera del led, puede ser una lente individual, una matriz o una lente colimadora y el terciario puede ser un reflector, difusor, una lente con filtro, etc.

6.9.2. Eficacia de los sistemas ópticos.

Las lentes de PMMA pueden alcanzar un rendimiento del 92%, mientras que los de PC baja hasta el 85-87%, mientras que para el LSR (silicona ultra transparente) se puede alcanzar un 94%. Hay que tener en cuenta que estos sistemas pierden eficacia con el tiempo por el envejecimiento que sufren, este dato deben de darlo los fabricantes en las hojas de características.

Los reflectores al ser de aluminio, no tienen degradación por envejecimiento, pero hay que considerar que se pueden ensuciar u oxidar, por eso el conjunto debería ser lo más estanco posible para evitar que entre suciedad. Los reflectores pueden alcanzar un rendimiento del 98%.

Los difusores, materiales prismáticos y en otros, no es tan importante el rendimiento si no el efecto lumínico que se desea con ellos al implementarlo en el conjunto [13].

6.10. Control del led. Driver

A causa de la cantidad de aplicaciones y complejidad que en los últimos tiempos se le puede dar a los led, se ha necesitado de algo para poder controlarlos de forma sencilla, la mejor solución es la construcción de un driver para manejar dichos led.

El control sobre el led se puede realizar de dos formas, el primero mediante la curva corriente-voltaje del led, con la cual se determina el voltaje requerido para generar la corriente deseada y así obtener la iluminación que se quiere, esto se hace mediante el uso de resistencias y la ley de Ohm, es decir:

$$I = \frac{V_s - V_f}{R}$$

Donde, V_s es el voltaje de la fuente, V_f el voltaje directo del diodo y R la resistencia.

Para montajes simples, se puede usar este método a partir de una o varias resistencias, pero tiene varios inconvenientes para aplicaciones más complejas o exigentes, como por ejemplo cualquier cambio en la tensión, aunque esté dentro de los valores admisibles, afectará a la iluminación del led. Por ejemplo, a partir del circuito de la Ilustración 16.

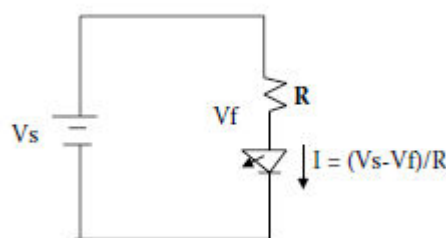


Ilustración 16 Circuito básico de excitación de led

Si en este circuito se tiene una tensión de fuente $V_s = 6\text{ V}$, una tensión directa de diodo $V_f = 3,6\text{ V}$ y una resistencia de $120\ \Omega$, se tiene por tanto una intensidad $I = 20\text{ mA}$. Si ahora se supone que hay una variación en la tensión del led, y este pasa a $V_s = 3,8\text{ V}$, se tiene una corriente de $18,33\text{ mA}$, pero si se calcula la variación de tensión e intensidad se aprecia que no es proporcional, si no que la intensidad varía en mayor proporción que la tensión:

$$V = \frac{3,8 - 3,6}{3,8} \times 100\% = 5,2\% \quad I = \frac{20 - 18,33}{20} = 8,3\%$$

Por lo tanto, cualquier cambio en tensión, resulta mayor en corriente, lo que puede provocar daños en el led o que no funcione correctamente. Para evitar esto, se tiene este segundo método, con el cual se regula la corriente por una fuente de corriente constante, a partir de circuitos de control, lo que se denomina como driver. Esta corriente constante elimina las variaciones en la corriente, a causa de los cambios en la corriente directa y da como resultado una iluminación en el led constante.

Existen varios tipos de driver para led, dependiendo de la función que se le quiera dar, pero estos se pueden definir como un circuito de control independiente o una fuente de alimentación con un circuito de control que proporcione una salida que coincida con lo que estábamos buscando [14].

Como los drivers para led, es un apartado tan importante, se le va a dedicar el capítulo 8 a su estudio.

7. ILUMINACIÓN EN AUTOMOCIÓN.

En este capítulo, se va a estudiar los diferentes sistemas de iluminación que existen para el automóvil, se empezará con una introducción de la evolución que ha sufrido este sector, desde las velas en los inicios, hasta la tecnología más moderna, después se estudiarán unos conceptos básicos de iluminación, para así comprender mejor los siguientes apartados, se definirá como es la estructura básica de un faro y un piloto, para después exponer las distintas tecnologías que existen y para terminar, como todo elemento que monte un vehículo, debe de estar homologado y cumplir unos requisitos, se hablará sobre las principales normativas que deben de cumplir los elementos de iluminación.

7.1. Historia

La automoción ha sufrido grandes cambios desde el primer vehículo que se inventó hasta el día de hoy. La iluminación que estos llevan, no iba a ser menos, los primeros vehículos de motor no disponían de ningún sistema de iluminación y no fue hasta 1880 aproximadamente cuando se implementaron los primeros faros, estos eran alimentados con acetileno y eran de combustión. Unos años después, en 1898, se introdujeron los primeros faros eléctricos en el coche eléctrico Columbia de Electric Vehicle Company, los cuales eran opcionales. En 1904, varios fabricantes ofrecían los faros de acetileno como un extra en sus vehículos. Perless (marca americana de vehículos) creó unos faros estándar eléctricos en 1908. En 1909, el imperio alemán exigió por ley que todos los vehículos de motor debían de tener dos luces delanteras. A causa del aumento de la velocidad en los automóviles, se necesitaban de nuevos sistemas de iluminación y fue en 1906 cuando Osram desarrolló la bombilla de filamento de tungsteno, la cual era más robusta y soportaba mejor las vibraciones producidas por la carretera, que sus predecesores. En 1912, Cadillac introdujo el sistema de iluminación moderno, con sistema de arranque, iluminación y encendido eléctrico con el sistema Delco. En 1913, la marca Bosch, introducía el sistema de iluminación compuesto por faros, generador y regulador. En 1924, se desarrolló la bombilla Bilux, la cual desde una misma bombilla podríamos tener luces de cruce y carretera. En 1940, se introdujo un faro estandarizado en EEUU. En 1957 se consiguió que la luz de cruce iluminara el camino propio del vehículo y no deslumbrara a los demás usuarios de la vía. En 1962, en Europa gracias a la asociación Europea de

fabricantes de bombillas y faros, se introdujo la bombilla halógena, A partir de 1992, se introdujeron los faros xenón, con su primer modelo el BMW serie 7, a partir de ahí, han ido surgiendo multitud de nuevas tecnologías, como la tecnología led, que comenzó con la tercera luz de freno en el año 1992 y ya en el año 2003, Hella, lanzaría el primer faro completamente de led, después surgió la tecnología láser, lanzada por BMW y Audi, en el año 2014 y la última en implementarse ha sido la tecnología Oled en pilotos en el año 2017, desarrollada también por BMW y Audi, como se puede observar en la Ilustración 17 en la última década han surgido muchas más, las más importantes, se desarrollaran con posterioridad[15].

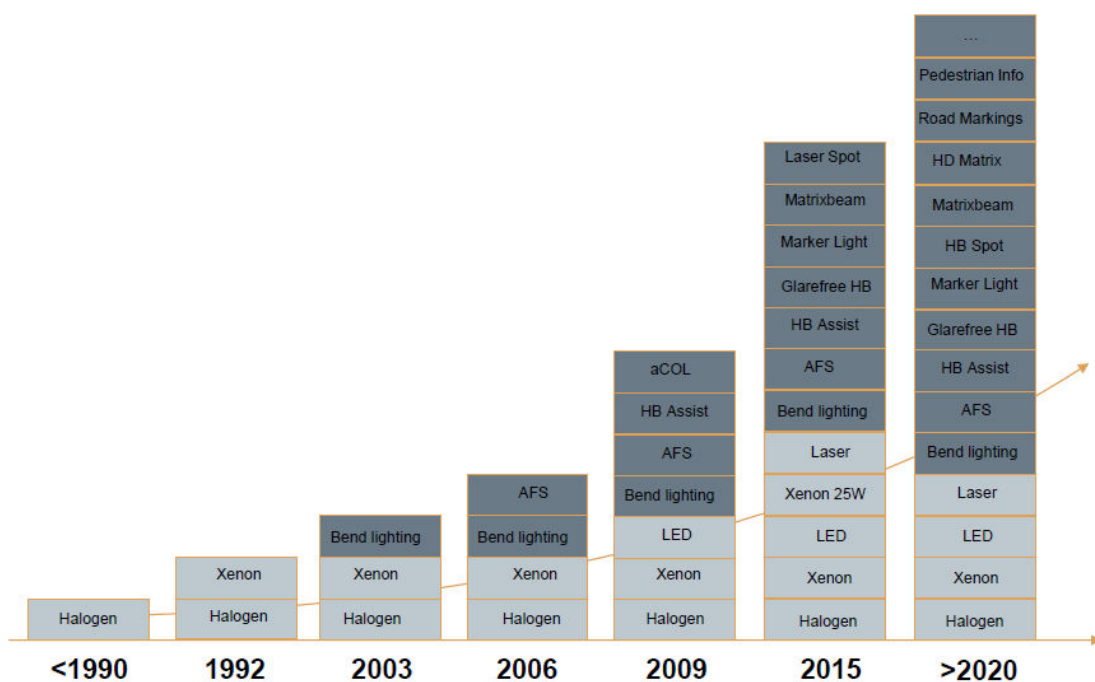


Ilustración 17 Tecnologías de iluminación en automoción a partir de 1990[17]

7.2. Conceptos de iluminación

Para poder estudiar más fácilmente las características de los faros, lámparas y pilotos, se va a definir primero algunos conceptos básicos en iluminación.

-Flujo luminoso, Φ , su unidad es el lumen (lm) y se trata de la potencia luminosa total emitida por la fuente.

-Intensidad luminosa, I , se mide en candelas (cd) y es la parte del flujo que se emite en una dirección determinada.

-Potencia luminosa, E , se mide en lux, (lx) y es la relación entre el flujo luminoso incidente y la superficie a iluminar.

-Luminancia, L , medida en candela por metro cuadrado (cd/m²), es la impresión de claridad que recibe el ojo de una superficie iluminada o que ilumina.

-Rendimiento luminoso, η , se mide en lumen por vatio (lm/W), es la eficiencia con la que la potencia eléctrica suministrada se transforma en luz.

-Temperatura de color, medida en Kelvin, cuanto mayor es la temperatura de una fuente luminosa, mayor es la proporción de azul y menor la de rojo en el espectro cromático visto en la Ilustración 6.

-Existen tres tipos de luces en el vehículo, que son: la luz de señalización, que es la utilizada para que se vea el vehículo, como son las luces de posición o las luces de freno, entre otras, la luz de iluminación, utilizada para que el conductor pueda ver la vía, como son la luz de cruce y carretera y la luz interior, que se utiliza para alumbrar el interior del habitáculo del vehículo y todos los marcadores que sean necesarios o algunas funciones decorativas que se deseen.

7.3. Faros

Los faros son los encargados de dar luz al conductor en condiciones adversas y de señalizar el vehículo con las luces de posición y los intermitentes, por ello es un sistema de seguridad por lo tanto existe una legislación que controla el tipo y el lugar de montaje, así como la estructura, sus fuentes luminosas, color y valores luminotécnicos reglamentarios y estos no pueden ser manipulados para variar sus características.

7.3.1. Estructura de un faro básica.

Un faro, como se puede ver en la Ilustración 18, se compone de:

-Una carcasa, donde se encuentran todos los elementos como reflectores, lámparas, cables, etc. La cual se utiliza para fijar el faro al vehículo, protege a los demás componentes de las influencias externas como humedad, calor, etc., son elaborados en termoplásticos.

-Un reflector, el cual es el encargado de recibir la mayor parte del flujo luminoso emitido por las lámparas y dirigirlo hacia la calzada, Existen distintos tipos de reflectores. Antiguamente se fabricaban de acero, pero en la actualidad se utilizan termoplásticos ya que con ellos se puede tener mejores acabados y geometrías más complejas, a estos se les da una capa de aluminio para conseguir sus propiedades reflectantes y otra de silicio para su protección. También se puede utilizar reflectores de aluminio o de magnesio.



Ilustración 18 Despiece de un faro halógeno

-Módulos de proyección, como por ejemplo el de la Ilustración 19, a causa de la alta luminosidad que se puede llegar a generar y a que esta se debe enfocar hacia la dirección correcta, se ha diseñado los módulos de proyección, existen una gran variedad de ellos, dependiendo de la tecnología y las características que se le quiera dar.

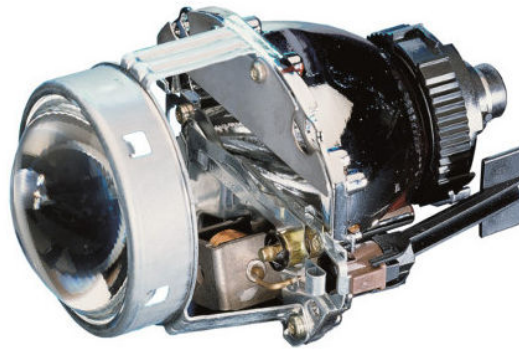


Ilustración 19 Módulo de proyección para un faro

-Dispersores, existen dos tipos, con óptica de dispersión y sin ella, como se muestra en la Ilustración 20. Los que tienen óptica de dispersión son los encargados de desviar, concentrar o dispersar el flujo luminoso creando por el reflector, dando así la distribución deseada, en cambio los que no tienen óptica de dispersión se limitan a la protección del faro y se intenta que sean lo más transparentes posibles. Los dispersores antiguamente se fabricaban en cristal, pero este se ha ido sustituyendo por plásticos como el policarbonato, más fáciles de trabajar y con mejores calidades.



Ilustración 20 Dispersores sin óptica y con óptica de dispersión

7.3.2- Tipos de faros.

Existen principalmente tres tipos de faros, que son: paraboloides, geometría libre FF y super-DE, los cuales se van a describir ahora:

-Sistema paraboloide. Se trata del sistema más antiguo, los reflectores tienen superficie parabólica y en la actualidad están cayendo en desuso.

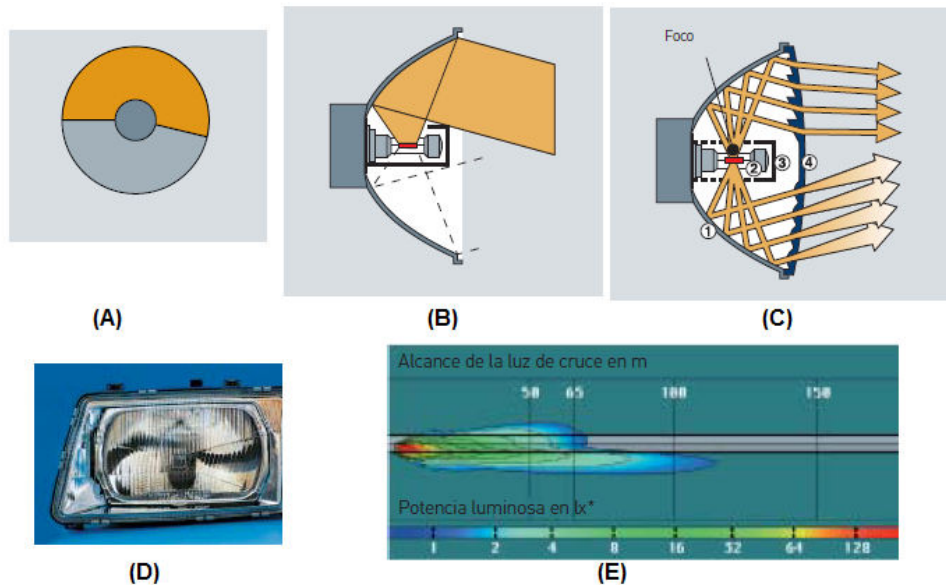


Ilustración 21 Sistema de faro paraboloide

Como se observa en la Ilustración 21 (A) la parte superior del reflector es utilizada para la luz de cruce, en (B) se puede ver que la fuente luminosa, se sitúa de forma que la luz se emite hacia arriba y luego esta es reflejada hacia abajo, por el reflector para dirigirla hacia la carretera, en (C) se puede observar las funciones de cada elemento del conjunto para desviar la luz hacia el punto de interés, siendo 1- el reflector, 2- la fuente luminosa, 3- pantalla de irradiación, 4- dispersor, en (D) se puede ver un faro con esta tecnología y en (E) se observa la potencia luminosa en lx y el alcance en m que tiene este tipo de faros. De toda la luz que genera el sistema, solo el 27% es aprovechable, lo que se denomina luz útil.

-Sistema de geometría libre (FF) En este caso, el reflector posee una geometría libre, la cual depende del modelo y características de cada vehículo.

Se puede observar en la Ilustración 22 (A) como el reflector entero es utilizado para reflejar la luz hacia abajo en dirección hacia la carretera, en (C) se observa como las superficies del reflector hace que los haces luminosos de luz se desvíen directamente y se disperse la luz y por lo tanto se pueda usar dispersores transparentes sin óptica, lo que hace que aumente la calidad y cantidad de luz. Este tipo de sistema genera un 45% de luz útil.

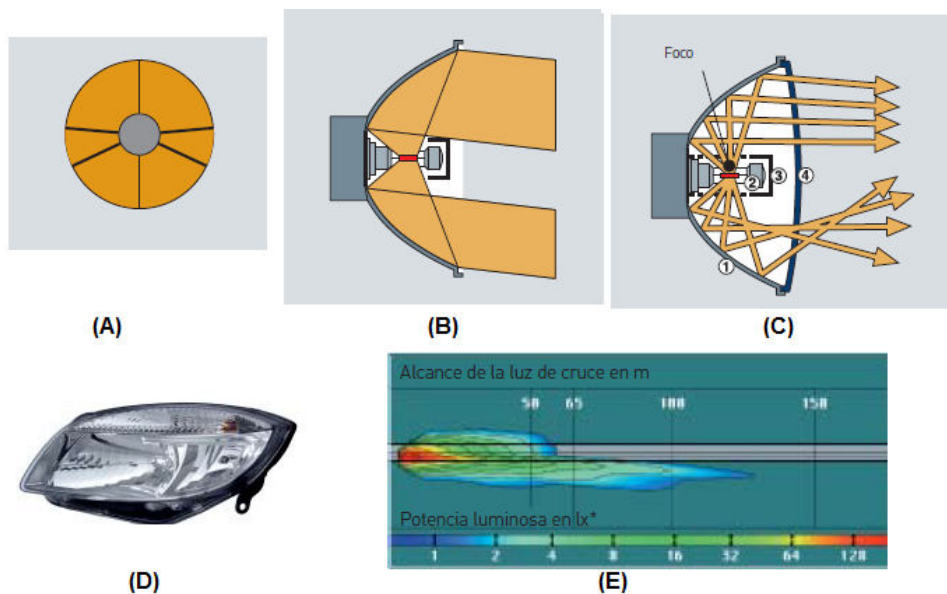


Ilustración 22 Sistema de faro de geometría libre FF

-Sistema Súper-DE, este tipo de tecnología se diferencia de los anteriores en que el haz de luz pasa por una lente como se puede observar en la Ilustración 23 (C), aumentando así sus propiedades y calidad. Este tipo de sistema genera un 52% de luz útil por lo general [16].

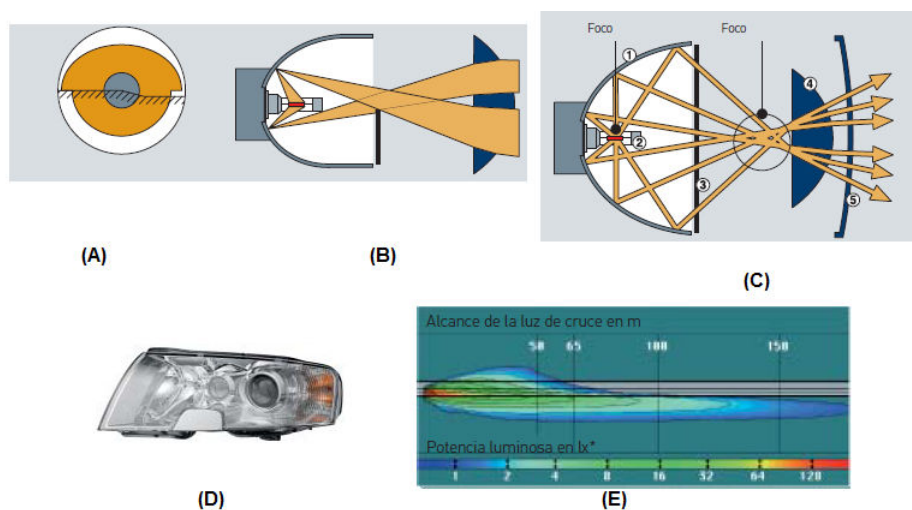


Ilustración 23 Sistema de faro de geometría Súper DE

7.4. Pilotos

La función principal de un piloto, da igual su posición, sea trasera o lateral, es informar a los demás usuarios. Por lo tanto son elementos de seguridad, ya que con ellos se pueden evitar accidentes, porque posicionan al vehículo y muestran las

maniobras que va a realizar como frenar, girar a un lado, que va a ir marcha atrás o que tiene algún tipo de problema con la luz de emergencia.

Un piloto convencional está compuesto por tres elementos: el portalámparas, la carcasa y el dispersor, como se muestra en la siguiente imagen.

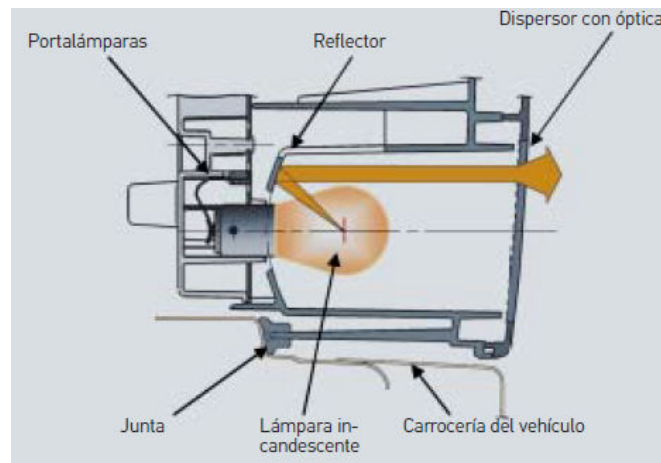


Ilustración 24 Estructura de un piloto

-El portalámparas es el encargado de situar una o más fuentes lumínicas dentro del sistema óptico del piloto.

-La carcasa contiene los reflectores que por lo general tiene una forma fija.

-El dispersor se encarga de la distribución de la luz.

Para poder responder a las exigencias requeridas, la luz emitida por las fuentes luminosas debe ser capturada, dirigida, desviada y distribuida. Para lograr esto se utilizaran distintos elementos ópticos como se detalla en la Ilustración 25 [16].

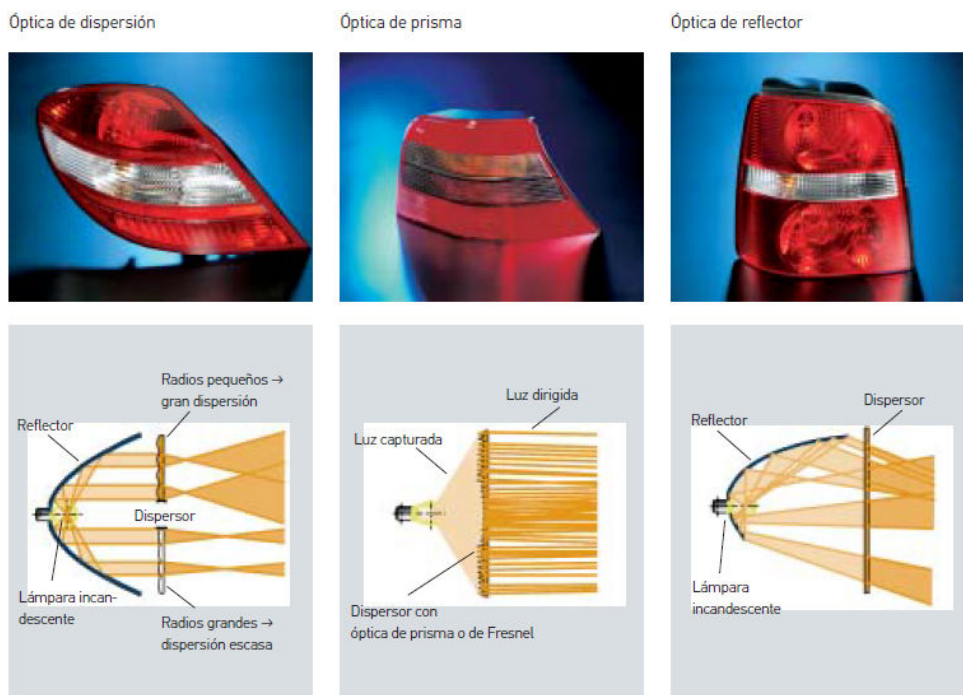


Ilustración 25 Sistemas ópticos para lámpara incandescente

7.5. Lámparas incandescente y halógena.

Una vez definidos los sistemas de iluminación que existen en el automóvil, se van a describir las distintas tecnologías existentes, se comenzará con las lámparas incandescentes y halógenas, ya que es la tecnología más extendida y común. La lámpara incandescente o lámpara de vacío, el filamento de wolframio se lleva a la incandescencia, suministrándole energía eléctrica. Este tipo de iluminación tiene un rendimiento muy bajo, solo se utiliza el 8% aproximadamente para generar luz y lo demás se transforma en calor, además las partículas de wolframio se evaporan, lo que hace que tenga una vida corta, una bombilla típica es la mostrada a continuación.



Ilustración 26 Bombilla incandescente

En las lámparas halógena, al introducir un gas halógeno en la ampolla, evita el envejecimiento del wolframio, lo que aumenta la vida útil, además son capaces de funcionar a mayor temperatura aumentando así su efectividad. En la Ilustración 27, se puede ver una bombilla halógena típica.



Ilustración 27 Bombilla halógena

Al suministrar energía eléctrica a una lámpara halógena, el filamento espiral de wolframio se lleva a la incandescencia. La lámpara rellena con un gas halógeno como el Yodo o el Bromo, esto hace que los metales del filamento se evaporen, consiguiendo que la temperatura del filamento alcance casi la temperatura de fusión del wolframio (3400°C a $4,27\text{ Pa}$). Con lo que se consigue un alto rendimiento luminoso. El wolframio vaporizado, se une al gas de relleno en la pared de la ampolla caliente, formando haluro de wolframio, y cuando el gas vuelve al filamento, se vuelve a descomponer por la temperatura y forma una capa uniforme de wolframio. Para que el ciclo pueda continuar, la temperatura exterior de la ampolla debe estar a 300°C , para esto la ampolla de cristal de cuarzo debe envolver el filamento estrechamente, como se puede ver en la siguiente imagen.

Aunque el filamento de wolframio se regenera dentro de la bombilla incandescente, este se va gastando, lo que le da una vida útil limitada.

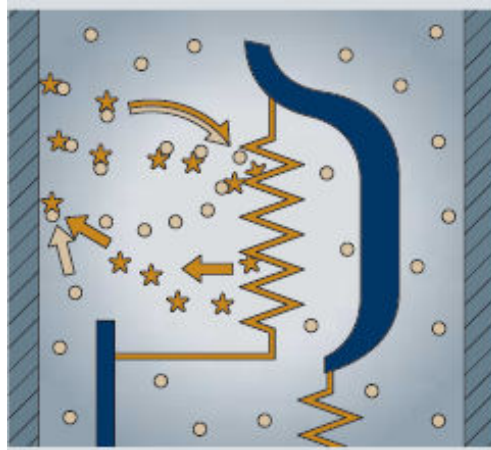


Ilustración 28 Proceso de generación de luz en bombilla halógena

Existen dos tipos de lámparas halógenas, las lámparas H1,H3, H7,H9, H11 y H13 solo tienen un filamento incandescente y se pueden utilizar tanto para la luz de cruce como para la de carretera, una bombilla para cada función. Mientras que la H4, tiene dos filamentos, uno para la luz de cruce y otro para la luz de carretera.

Desde hace algún tiempo, existe un tipo de lámparas halógenas, con estética azul, lo que hace, que de una luz blanca azulada, similar a la diurna, lo que consigue un menor cansancio para el conductor.

Las lámparas de descarga de gas, funcionan a partir de una tensión de encendido por parte de una bobina, el gas es ionizado entre los electrodos de la lámpara (rellena de gas noble de xenón y una mezcla de metales y haluros de metales) y gracias a un arco eléctrico se excita hasta producir la luz. Los componentes de relleno se vaporizan a causa de la alta temperatura, hasta que no sucede esto, la lámpara no consigue toda su claridad y pueden pasar unos segundos.

En la siguiente imagen, se muestra una comparativa entre las lámparas halógenas de incandescencia y las lámparas de descarga de gas. Y como las lámparas de gas superan a las halógenas en aspectos tan importantes como la densidad luminosa, consumo de menor potencia, mejor aprovechamiento de la energía o mayor vida útil.



	Lámpara halógena de incandescencia (H7)	Lámpara de descarga de gas
Fuente luminosa	Filamento espiral incandescente	Arco voltaico
Densidad luminosa	1450 cd/m ²	3000 cd/m ²
Potencia	55 W	35 W
Balance energético	8 % radiación luminosa 92 % radiación térmica	28 % radiación luminosa 58 % radiación térmica 14 % radiación UV
Vida útil	aprox. 500 h	2500 h
Resistencia a las vibraciones	en determinadas condiciones	sí
Tensión de encendido	no	sí, 23.000 V (3ª generación)
Electrónica de regulación	no	sí

Ilustración 29 Comparación entre lámpara halógena incandescente y lámpara de descarga de gas

Según la norma ECE R37 (Disposiciones uniformes sobre la homologación de lámparas de incandescencia para su utilización en faros homologados de vehículos de motor y de sus remolques), para Europa, las lámparas para vehículos deben estar normalizadas, facilitando así su sustitución en caso de ser necesario. A continuación se va a describir todas las inscripciones que puede llevar una lámpara.



Ilustración 30 Bombilla H4 de Philips

Como se puede observar en la Ilustración 30, en el casquillo de la bombilla pone: Philips H4 12342 XP 12V 60/55W E1 2C3 U, siendo 12342 XP el modelo y los demás datos serán explicados a continuación.

Nombre del fabricante, ejemplo: Philips

H1, H4, H7, P21 W indica la denominación internacional de categoría de las lámparas según la ECE, p. ej. 55 W.

6 o 6 V, 12 o 12 V, 24 o 24 V indica la tensión nominal, de acuerdo con la regulación ECE 37.

E1 indica el país en el que se ha aprobado y homologado la lámpara. El 1 corresponde a Alemania.

“DOT” significa que también está homologada para el mercado estadounidense.

“U” indica que es una lámpara con radiación UV reducida, de acuerdo con la ECE. Estas lámparas se utilizan, por ejemplo, en faros con dispersor de plástico.

La marca de autorización concedida por el organismo de homologaciones, p. ej. E1 (Oficina Federal de Automoción de Flensburg), también se indica en la lámpara, y puede ser 37 R (E1) + un número de cinco cifras, o bien (E1) + un número de tres cifras (también con caracteres alfanuméricos, v. imagen).

La mayoría de las lámparas disponen de una denominación codificada del fabricante. Esto permite identificar el origen del fabricante.

Debido a que no todas las lámparas disponen de espacio suficiente para la identificación, la legislación solo exige la siguiente información: fabricante, potencia, marca de homologación y marca de autorización.

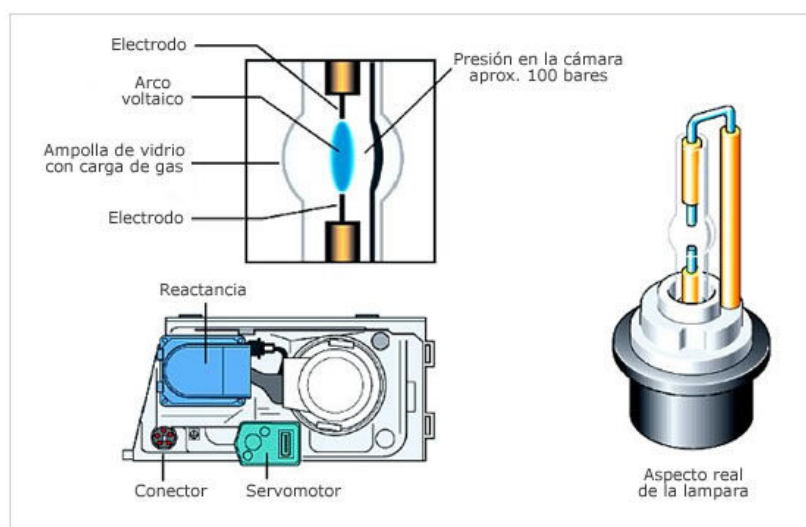
7.6. Tecnología xenón

Esta tecnología, se basa en lámparas de descarga, de las cuales se obtiene la luz a partir de la excitación de un gas, sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos ubicados en un tubo lleno de gas. Dependiendo de este gas y la presión en la que está, tendremos diferentes tipos de lámparas.

**Ilustración 31 Lámparas D2S y D2R**

Las lámparas utilizadas para este tipo de faros son las lámparas D2S, para sistemas de proyección y las D2R, para los sistemas de reflexión, las cuales se muestran en la Ilustración 31. Con estas lámparas se consigue mejor calidad y cantidad de luz que con las halógenas, además de su mayor vida útil.

Para poder activar las lámparas, se necesita una unidad electrónica de alta potencia, que genera un impulso de hasta 24 KV, con el fin de obtener la primera chispa entre los electrodos de la lámpara, como se observa en la Ilustración 32, esta lámpara tiene un consumo constante de 35 W, la unidad electrónica, también llamada balastro, posee además una circuitería para garantizar la seguridad de la lámpara ante sobretensiones.

**Ilustración 32 Sistema xenón**

Un avance de esta tecnología son los faros bi-xenon, los cuales poseen solo una lámpara y sirven tanto para la luz de cruce, como para la de carretera, por lo tanto su consumo eléctrico es mucho menor, así como el diseño del faro. Esto se consigue gracias a la utilización de una pantalla móvil, la cual al desplazarse provoca la luz de cruce o carretera [17].

7.7. Tecnología led

Pese a sus enormes cualidades, hasta hace unos pocos años, la tecnología led, solo se utilizaba para la tercera luz de freno, pero poco a poco se ha ido abaratando y haciendo más robusta y potente, hasta conseguir realizar un faro completamente de led y para un tipo de vehículo fuera de la clase Premium como es el Seat León lanzado en el año 2012. Además de las típicas funciones de cruce y carretera, gracias a la versatilidad del led, se pueden incluir nuevas funciones, como se puede observar en la Ilustración 33.



Ilustración 33 Funciones luminosas del proyector del Audi A8

Como el tema de este Trabajo Fin de Grado es la Tecnología Led de potencia y sus aplicaciones en automoción, se va a detallar este tema más exhaustivamente más adelante.

7.8. Tecnología laser

Esta es una tecnología relativamente nueva, pero está llamada a ser la tecnología de futuro. El alcance que se ha logrado ahora mismo es de 600 m. En este momento se ha integrado en un faro led y solo se activa cuando el vehículo supera los 70 km/h y la cámara de a bordo comprueba que ningún vehículo se acerca en

sentido contrario, en la siguiente ilustración, se muestra el alcance de la luz de cruce, carretera y laser.

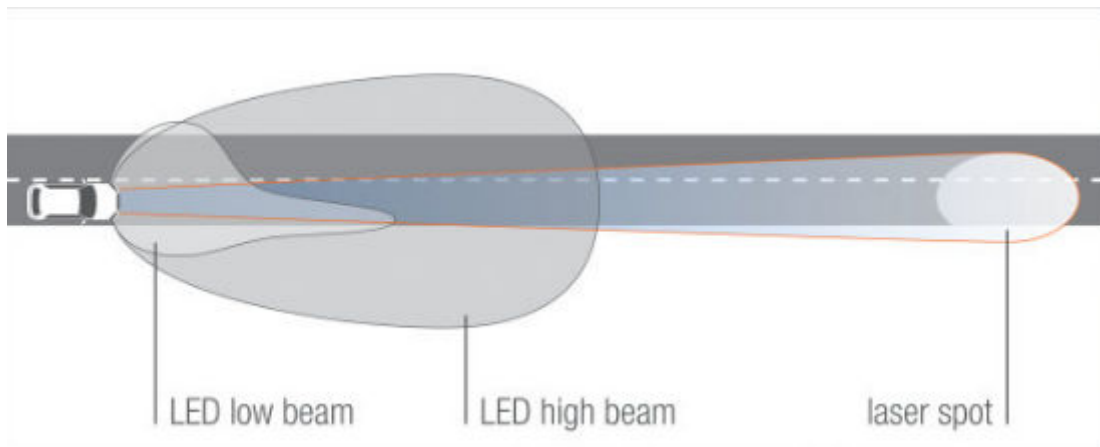


Ilustración 34 Vista de la planta de la iluminación de un faro con tecnología laser

Los diodos laser tienen el problema que la luz que emiten es monocromática con una longitud de onda de 450nm, siendo percibida por el ojo humano como azul, por tanto no puede ser utilizada para vehículos, porque para ello debe tener una temperatura de color aproximadamente de 5500 K, es decir, más blanca. Para lograr esto, se ha desarrollado un módulo, en el cual, la luz de varios diodos laser entra en contacto con un convertor, que gracias a una sustancia fluorescente, convierte la luz azul en blanca, como se muestra en la Ilustración 35, para poder ser utilizada en automoción.

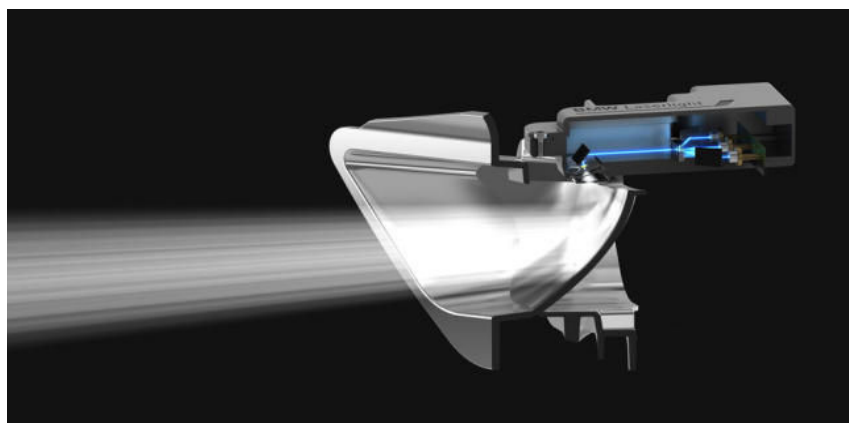


Ilustración 35 Estructura módulo laser

Esta tecnología supera en brillo a todas las anteriores, siendo hasta cuatro veces mayor que la led, lo que permite el uso de unos componentes ópticos muy pequeños,

que a su vez hace que podamos disponer de más espacio en el vehículo para optimizar así su diseño [18].

7.9. Normativa respecto iluminación en automoción.

En España, la normativa que regula las características de los sistemas de iluminación en los vehículos de motor, se refleja en el Real Decreto 2822/1998 de 23 de diciembre, denominado como Reglamento General de Vehículos, en especial el apartado de iluminación corresponde con los artículos, 15, 16, 17 y el Anexo X.

Además todos los sistemas de iluminación instalados en un vehículo en España deben de estar homologados, esto está regulado por los siguientes reglamentos:

-Para faros se tiene:

Reglamento nº 113 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE). Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los faros de vehículos de motor que emiten un haz de cruce simétrico o un haz de carretera, o ambos, y están equipados con fuentes luminosas de incandescencia o de descarga de gas o con módulos LED

-Para la luz de freno y de posición se tiene:

Reglamento nº 7 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Disposiciones uniformes para la homologación de las luces de posición delanteras y traseras, las luces de frenado y las luces de gálibo de los vehículos de motor (excepto las motocicletas) y sus remolques

-Para la luz de marcha atrás se tiene:

Reglamento nº 23 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Disposiciones uniformes para la homologación de las luces de marcha atrás y las luces auxiliares de maniobra para vehículos de motor y sus remolques

-Para las luces de dirección se tiene:

Reglamento nº 48 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en lo que respecta a la instalación de dispositivos de alumbrado y señalización luminosa [2016/1723]

-Para las luces antiniebla:

Reglamento nº 38 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU): Prescripciones uniformes relativas a la homologación de las luces antiniebla traseras de los vehículos de motor y de sus remolques



Ilustración 36 Código de homologación de un faro Hella

En la Ilustración 36, se puede observar la marca de homologación de un faro, con todas las inscripciones que debe llevar, para ser montado en un vehículo.

Por otra parte, todos los componentes que integran el automóvil, incluyendo la iluminación, deben de cumplir la norma ISO TS 16949, elaborada por IATF (International Automotive Task Force), o lo que es lo mismo, la mayor parte de fabricantes de automóviles, para así poder regular su sector y asegurar que todos los productos cumplen unos requisitos de calidad.

8. DRIVER PARA LED.

Debido a la importancia que poseen últimamente los drivers en los sistemas de iluminación led, se les va a dedicar un apartado especial a ellos, se va a dividir en dos grupos, driver lineales y driver conmutados, después se estudiará las soluciones que dan algunos fabricantes.

Una forma sencilla de iluminar un led, es colocar una resistencia en serie con una fuente de tensión y el led, como se muestra en la siguiente imagen.

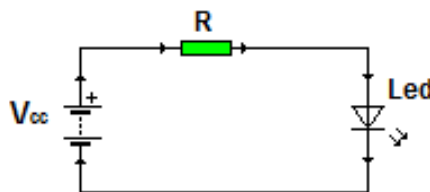


Ilustración 37 Esquema de circuito para limitar la corriente por resistencia

Por ejemplo, si se tiene una fuente de tensión de $V_{cc}=18V$, con tres led con tensión directa $V_F=2,2V$ y la corriente para que se ilumine el led, es de $I_{led}=50mA$, la resistencia a colocar será de:

$$R_{led} = \frac{V_{cc} - nV_F}{I_{Led}} = \frac{18V - 3 \cdot 2,2V}{50mA} = 228\Omega \quad (8.1)$$

La potencia que debe ser capaz de disipar la resistencia será de:

$$P_R = R_{led} \cdot I_{Led}^2 = 228\Omega \cdot 0,05^2A = 0,57W \quad (8.2)$$

En este tipo de circuito, se observa que si la tensión de alimentación disminuye, la corriente también lo hace y por tanto, disminuye el brillo del led, hasta que se apaga del todo el led.

La principal ventaja de este circuito es que se trata de una solución simple y sencilla. En cambio, tiene los siguientes inconvenientes:

- Grandes pérdidas de potencia en la resistencia.

-Como se define la resistencia para el máximo voltaje, cuando se encuentra en el funcionamiento normal, el brillo del led se ve afectado.

-No existe ningún elemento de protección para el led, ante sobretensiones.

-El led se degrada más fácilmente por la fluctuación de corriente.

Como existen muchos inconvenientes en esta forma, se han buscado otras alternativas, como son los driver lineales o los conmutados, que se estudiarán a continuación.

8.1. Driver lineal

Está compuesto por una fuente de corriente, que proporciona al led una intensidad constante ante la entrada de cualquier voltaje.

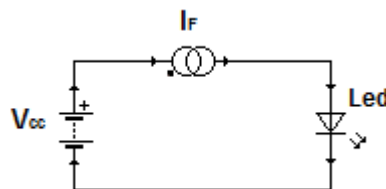


Ilustración 38 Esquema de circuito para limitar la corriente por fuente de corriente constante

Las ventajas de este sistema son:

- La luminosidad del led es constante.
- Protección ante sobretensiones.
- El led no sufre degradación por el cambio de corriente.
- Posibilidad de proteger al led contra altas temperaturas.

Los contras de este sistema son:

- La potencia en gran parte es disipada por la fuente de corriente.
- Tiene un mayor número de componentes.

-El número de led se limita por la tensión alimentación de estos, V_F , y de la fuente de tensión mínima, V_{cc} [19].

Como ejemplo de driver comercial, se tiene el CL2N3-G de microchip. El funcionamiento de este dispositivo es muy sencillo, solo hay que alimentarlo con una tensión comprendida entre 5 V y 90 V y garantiza una corriente de salida de 20 mA $\pm 10\%$. El esquema básico es el mostrado en la siguiente ilustración, conectando la tensión positiva a la patilla VA y el ánodo del led a VB, la patilla N/C no tiene ninguna función. Se conecta un condensador de 100 nF en paralelo a la fuente de tensión, para eliminar posible ruido que se pueda generar.

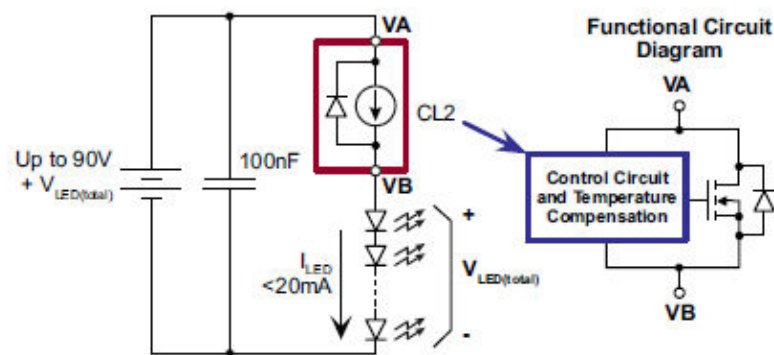


Ilustración 39 Circuito básico para el CL2N3-G de microchip

Si se desean alimentar varios led, pero se quiere que estos sean independientes, los unos de los otros, se pueden conectar varias ramas en paralelo, como se muestra en la siguiente ilustración. Esto es muy útil, ya que si falla un led, solo deja de iluminar esa rama, mientras que las demás siguen funcionando o también se pueden poner interruptores, para iluminar unas u otras ramas.

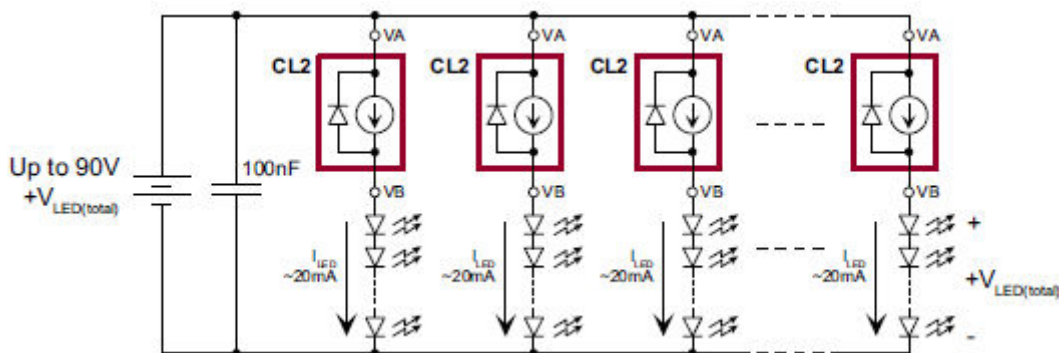


Ilustración 40 Circuito con ramas en paralelo para el CL2N3-G de microchip

Aunque la corriente de salida del circuito es 20 mA, se puede conseguir corrientes mayores, esto se consigue conectando en paralelo varios circuitos integrados, con ello se consigue corrientes múltiplo de 20 mA, como se muestra a continuación [20].

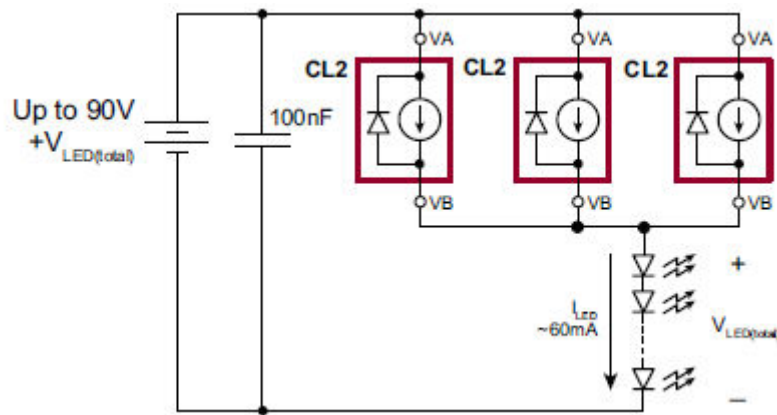


Ilustración 41 Circuito con varios CL2N3-G en paralelo

8.2. Driver conmutado

Este sistema está compuesto por un convertidor DC/DC, en modo corriente constante. Este sistema proporciona siempre una corriente constante al led, para toda la tensión de entrada. La pérdida de potencia en el circuito de control se reduce al mínimo, ya que su configuración se adecua al número de led, a parte la mayoría de los convertidores DC/DC tiene funciones de diagnóstico.

Se pueden usar diferentes topologías para el convertidor DC/DC, como son Buck, Boost, Buck-Boost para cumplir los requisitos de los led que se desean iluminar. A continuación se van a estudiar los tipos de convertidores más comunes.

8.2.1 Convertidor conmutado básico

Si se considera el circuito de la siguiente figura, el transistor funciona como un interruptor electrónico, ya que, o está completamente activado o completamente desactivado. Este circuito se denomina troceador de continua.

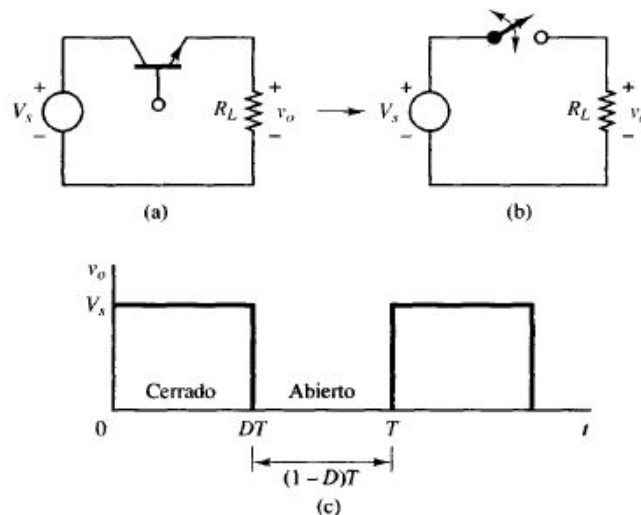


Ilustración 42 (a) Convertidor DC/DC básico conmutado. (b) Equivalente para conmutación. (c) Tensión de salida.

Suponiendo que el interruptor de la figura es ideal. Cuando el interruptor está cerrado, la salida es igual a la entrada y es cero cuando está abierto. Si se abre y cierra el interruptor con un determinado periodo, se produce la salida pulsante de (c). La tensión media se puede calcular como:

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T V_0(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt = V_s D \quad (8.3)$$

Teniendo que D, es el ciclo de trabajo, calculado por:

$$D = \frac{t_{conducción}}{t_{conducción} + t_{corte}} = \frac{t_{conducción}}{T} \quad (8.4)$$

Como se puede observar, para este circuito, la tensión continua de salida, será menor o igual que la de entrada.

8.2.2. Convertidor reductor o Buck

Para producir una señal continua pura, a partir del circuito de la figura 42, se necesita poner un filtro pasa baja después del transistor. En la figura 43 se puede observar esto. Se coloca también un diodo para que circule la corriente de la bobina cuando el interruptor está abierto y se polariza en inversa cuando el interruptor está cerrado. En este tipo de convertidor, la tensión de salida siempre es menor que la de entrada.

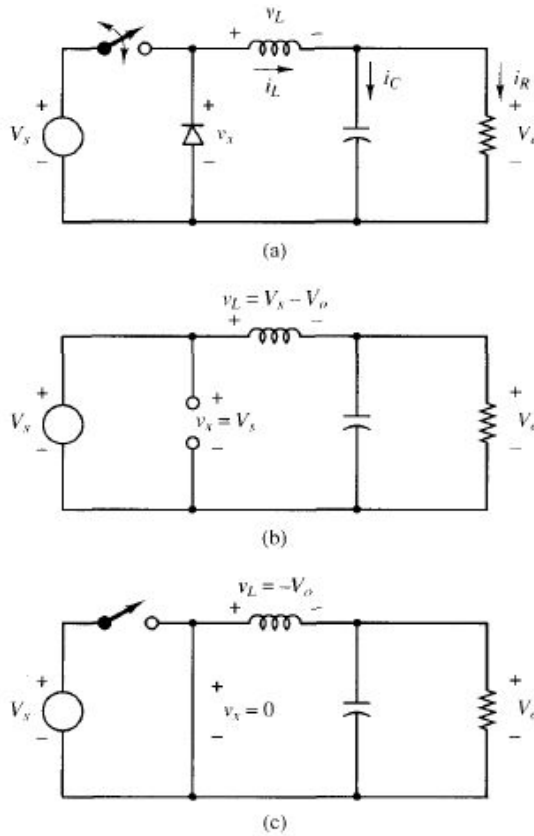


Ilustración 43 Convertidor DC/DC reductor (a) esquema del circuito. (b) Circuito equivalente cuando el interruptor está cerrado. (c) Circuito equivalente cuando el interruptor está abierto.

Las propiedades de este convertidor cuando funciona en régimen permanente son:

-La corriente por la bobina es periódica:

$$i_L(t + T) = i_L(t) \quad (8.5)$$

-La tensión media en la bobina es cero:

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} V_L(\lambda) d\lambda = 0 \quad (8.6)$$

-La corriente media en el condensador es cero:

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_c(\lambda) d\lambda = 0 \quad (8.7)$$

-La potencia entregada por la fuente es igual a la suministrada a las cargas.

Siendo sus formas de onda:

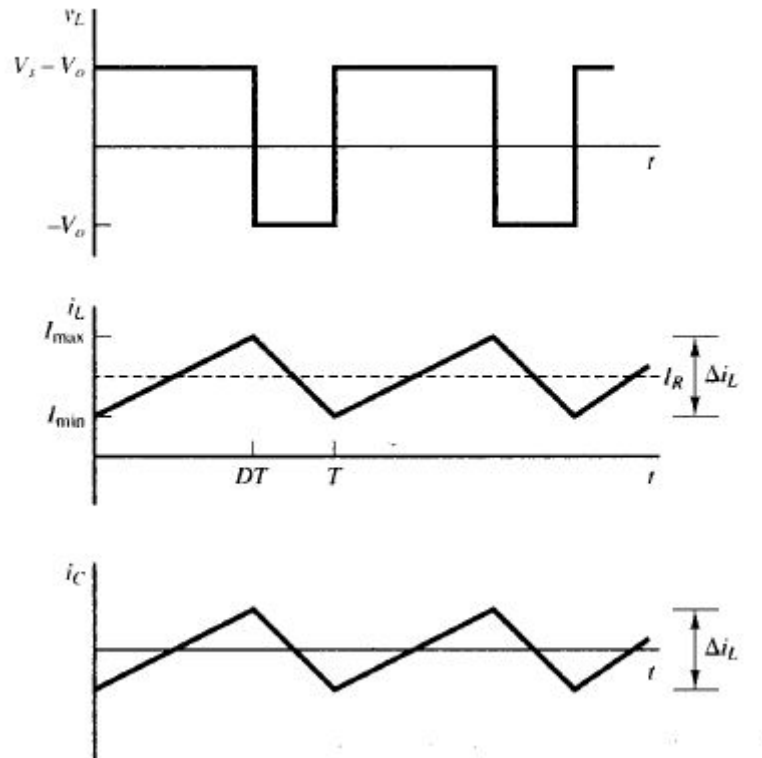


Ilustración 44 Formas de onda del convertidor Buck. (a) Tensión por la bobina. (b) Corriente por la bobina. (c) Corriente en el condensador.

Para analizar este convertidor, se realizan las siguientes suposiciones:

- El circuito trabaja en régimen permanente.
- La corriente por la bobina es permanente.
- La capacidad del condensador es muy grande y se tiene una tensión de salida constante igual a V_o .
- El interruptor se abre un tiempo DT y se cierra $(1-D)T$, siendo T el periodo.

Para determinar V_o correctamente, primero se debe analizar la corriente y la tensión, cuando el interruptor está cerrado y después con el interruptor abierto.

-Análisis con interruptor cerrado. Al estar cerrado el interruptor figura 43 (a), el diodo está polarizado en inversa y el circuito se transforma en 43 (b), dando una tensión en la bobina de:

$$V_L = V_s - V_0 = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_0}{L} \quad (8.8)$$

Por tanto, la variación de la corriente será:

$$(\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = \frac{V_s - V_0}{L} DT \quad (8.9)$$

-Análisis con el interruptor abierto. Al abrir el interruptor, el diodo pasa a polarizarse en directo y comienza a conducir corriente la bobina, circuito de la figura 43 (c), siendo la tensión de la bobina:

$$V_L = -V_0 = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{-V_0}{L} \quad (8.10)$$

Siendo la variación de la corriente en la bobina:

$$(\Delta i_L)_{\text{abierto}} = \frac{-V_0}{L} (1 - D)T \quad (8.11)$$

Al tratarse de régimen permanente, la variación neta de la corriente por la bobina es un periodo, debe de ser cero. Para esto se debe cumplir:

$$(\Delta i_L)_{\text{abierto}} + (\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = 0 \quad (8.12)$$

Sustituyendo con 8.9 y 8.11

$$\frac{-V_0}{L} (1 - D)T + \frac{V_s - V_0}{L} DT = 0 \quad (8.13)$$

Despejando V_0 [21]:

$$V_0 = V_s D \quad (8.14)$$

Como ejemplo de driver comercial con esta topología, se tiene el WLMDU9456001JT / 172946001 de Würth Elektronik cuyas principales características son:

- Corriente de salida hasta 450 mA.
- Tensión de entrada entre 4,5 V – 60 V.
- Tensión de salida entre 4,5 V - 60 V.
- Rango de temperatura de funcionamiento de -40 °C a 125 °C.
- Puede alimentar hasta 16 led.
- Atenuación PWM sin cambio de color.
- Circuito de protección integrado para asegurar los led.
- Potencia máxima a la salida de 27 W.
- Uso típico en urbanismo, como alumbrado público.

En la Ilustración 45, se muestra un ejemplo típico de uso de este driver[22].

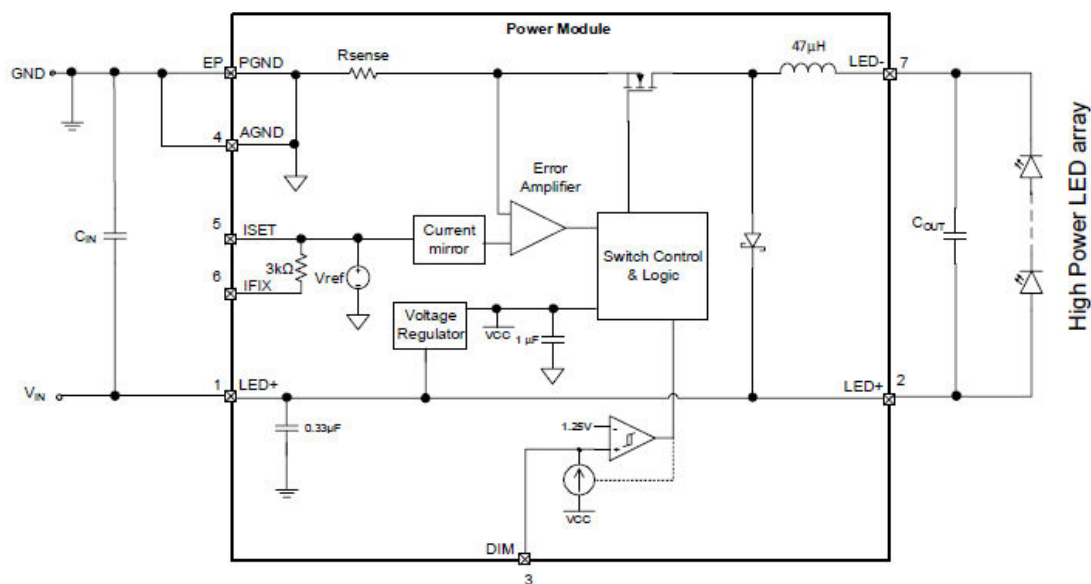


Ilustración 45 Diagrama de bloques y esquema del circuito de uso típico del 172946001 de Würth Elektronik

8.2.3 Convertidor elevador o Boost

El funcionamiento es parecido al anterior, pero en este caso, se obtiene una salida mayor a la entrada, de ahí su nombre, siendo su circuito básico el de la siguiente figura:

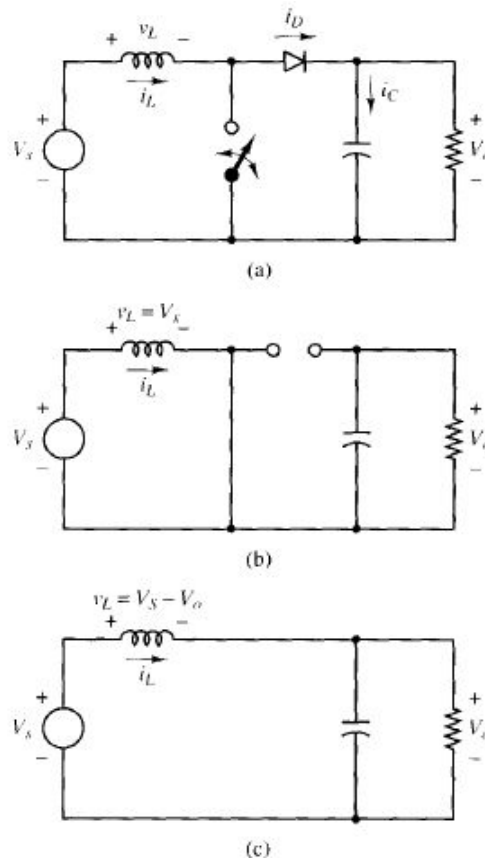


Ilustración 46 Convertidor DC/DC elevador (a) esquema del circuito. (b) Circuito equivalente cuando el interruptor está cerrado. (c) Circuito equivalente cuando el interruptor está abierto.

Para analizar el circuito se deben realizar las siguientes suposiciones:

- El circuito opera en régimen permanente.
- El periodo de conmutación es T y el interruptor está cerrado un tiempo DT y abierto $(1-D)T$.
- La corriente por la bobina es permanente.

-El condensador es muy grande y la tensión de salida se mantiene constante a un valor de V_0 .

-Los componentes son ideales.

Siendo sus formas de onda:

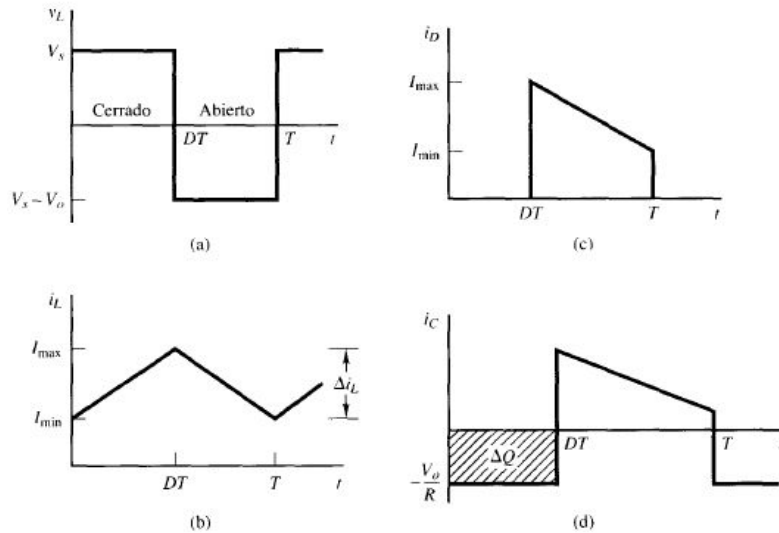


Ilustración 47 Formas de onda del convertidor Boost. (a) Tensión por la bobina. (b) Corriente por la bobina. (c) Corriente en el diodo. (d) Corriente en el condensador.

El análisis se realizará como en el convertidor Buck, primero a interruptor cerrado y después cerrado.

-Análisis con el interruptor cerrado. Al estar el interruptor cerrado, como se muestra en (b), el diodo está polarizado en inverso, por tanto se tiene:

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (8.15)$$

Teniendo una variación de corriente por la bobina, como se muestra en la Ilustración 47(b).

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (8.16)$$

Si se despeja Δi_L para el interruptor cerrado, se tendrá:

$$(\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = \frac{V_s}{L} DT \quad (8.17)$$

-Análisis con el interruptor abierto. Al estar el interruptor abierto, como se muestra en (c), la corriente por la bobina no puede variar de forma instantánea, por tanto, el diodo pasa a polarización directa, para que así la bobina pueda conducir corriente. Si se supone, que la tensión de salida V_o es constante, se tiene:

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (8.18)$$

Por tanto, la variación en la corriente de la bobina con el interruptor abierto es:

$$(\Delta i_L)_{abierto} = \frac{(V_s - V_o)}{L} (1 - D)T \quad (8.19)$$

Como anteriormente, al tener régimen permanente, la variación neta de la corriente por la bobina debe ser cero, por tanto, a partir de las ecuaciones 8.12, 8.17 y 8.19, se tiene:

$$\frac{V_s}{L} (DT) + \frac{V_s - V_o}{L} (1 - D)T = 0 \quad (8.20)$$

Despejando V_o [21]:

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D} \quad (8.21)$$

Para un convertidor Boost, se tiene como un ejemplo de driver comercial, el LTM8005 de Analog Devices cuyas principales características son:

- Tensión de entrada entre 5 V – 38 V-
- Corriente de salida para el led de hasta 1,6 A.
- Rango de temperatura de funcionamiento de -40 °C a 150 °C.
- Circuito de protección integrado para asegurar los led.
- Utilizado para led de alta potencia.

En la Ilustración 48 se muestra un ejemplo típico de uso de este driver[23].

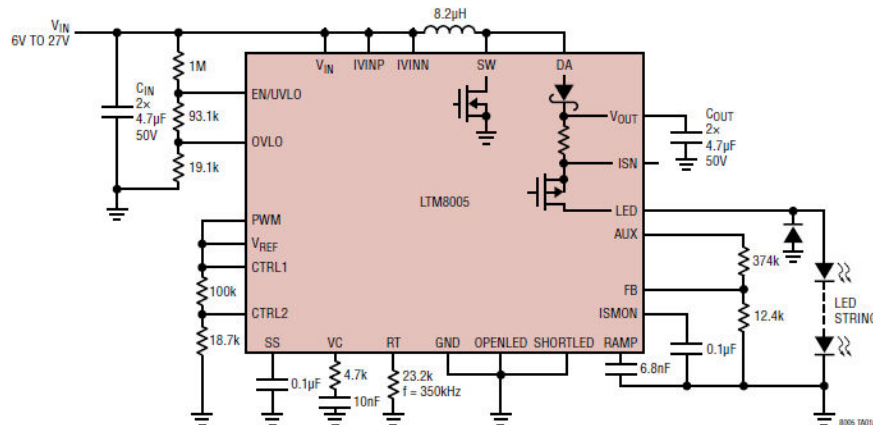


Ilustración 48 Esquema de circuito de uso típico del driver LTM8005 de Analog Devices

Luego se tiene una variante del Boost, como es la topología Pump, que se diferencia del Boost que en vez de utilizar una bobina en el convertidor, utiliza un condensador, un ejemplo es el TPS60230 de Texas Instrument cuyas principales características son:

- Tensión de entrada entre 2,7 V - 6,5 V.
- Puede alimentar hasta 5 led con una corriente de 25 mA.
- Rango de temperatura de funcionamiento de -40 °C a 150 °C.
- Tensión de salida de 5,5 V.
- Circuito de protección integrado para asegurar los led.
- Se suele utilizar como retroiluminación led para pantallas de Smartphone, cámaras, etc.

En la Ilustración 49 se muestra un ejemplo típico de uso de este driver[24].

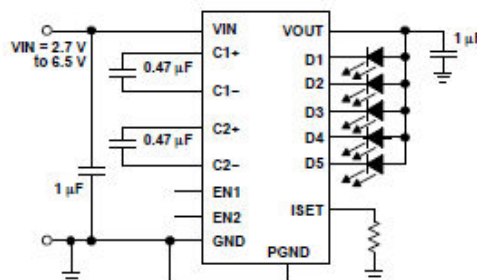


Ilustración 49 Esquema de circuito de uso típico del driver TPS60230 de Texas Instrument

8.2.4. Convertidor reductor-elevador o Buck-Boost

En este tipo de regulador, se puede obtener una salida mayor o menor que la entrada. El análisis se realiza igual que para los anteriores, teniendo como circuito básico el siguiente:

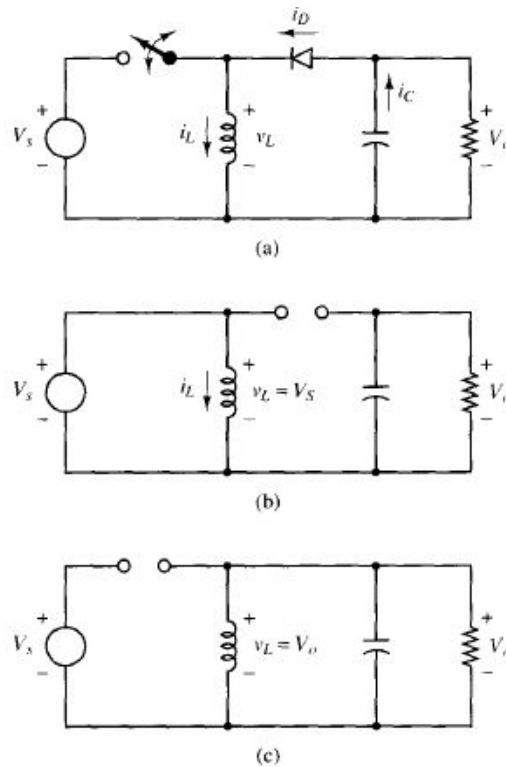


Ilustración 50 Convertidor DC/DC reductor-elevador (a) esquema del circuito. (b) Circuito equivalente cuando el interruptor está cerrado. (c) Circuito equivalente cuando el interruptor está abierto.

Este regulador obtiene una tensión de salida de [21]:

$$V_o = \frac{-V_s D}{1 - D} \quad (8.22)$$

Para un convertidor Buck-Boost, se tiene como un ejemplo de driver comercial, el HVLED001B de STMicroelectronics, cuyas principales características son:

- Alta eficiencia y estabilidad de salida.
- Alto factor de potencia y bajo THD.
- Arranque con hasta 800 V sin sufrir daños.
- Temporizador para recuperación automática.

-Se suele utilizar para controladores led de alta potencia.

Siendo sus formas de onda:

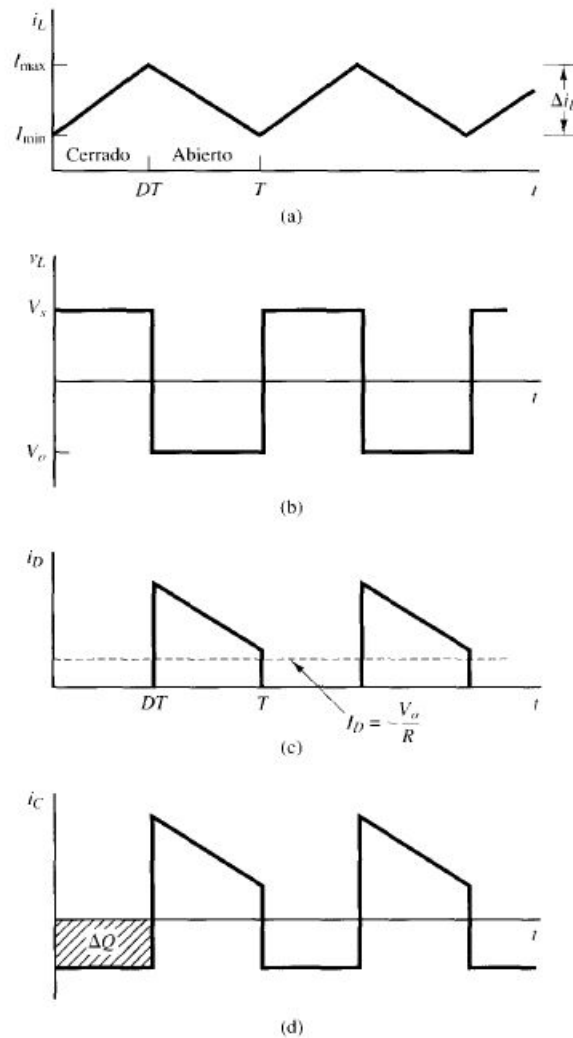


Ilustración 51 Formas de onda del convertidor Buck-Boost. (a) Tensión por la bobina. (b) Corriente por la bobina. (c) Corriente en el diodo. (d) Corriente en el condensador

En la Ilustración 52 se muestra un ejemplo típico de uso de este driver[25].



9. ILUMINACIÓN LED EN AUTOMOCIÓN

Este capítulo, habla sobre el uso que se le da al diodo led en automoción y como es una tecnología, por la que cada vez más fabricantes, apuestan por ella para sus vehículos, gracias a sus grandes cualidades y a sus múltiples usos, se comenzará hablando de cómo ha ido evolucionando esta tecnología, luego las ventajas que presenta ante otros sistemas de iluminación y se terminará exponiendo dos de los componentes principales que componen cualquier sistema de iluminación en automoción, como son el led y el driver que lo controla y las variantes que presentan varios fabricantes.

9.1. Evolución de la tecnología led

Los diodos led se comenzaron a utilizar en automoción en la iluminación interior del vehículo, como puede ser el cuadro de instrumentos, algunos marcadores, etc. Fue en 1992, cuando comenzó a utilizarse en la iluminación exterior, esto fue para la tercera luz de freno, la cual es opcional. No fue hasta el año 2000 cuando comenzaría a implementarse los led en los pilotos traseros, esto fue en el Cadillac DeVille, donde se utilizaban led para las funciones de intermitente, luz de freno y marcha atrás y para las demás funciones bombillas halógenas. En 2003, la empresa Hella presentó el primer piloto 100% led. En 2006, Audi lanza el R8, con un faro 100% led y en 2012 se presentó el Seat León equipado con faros Full Led, el primer coche de gama media en incluirlos de serie, a partir de este momento, se ha ido incrementando el número de vehículos que utilizan faros led y se prevé un crecimiento en su uso, como se muestra en el siguiente gráfico, en un estudio realizado por la empresa Yole Developpement en el año 2016.

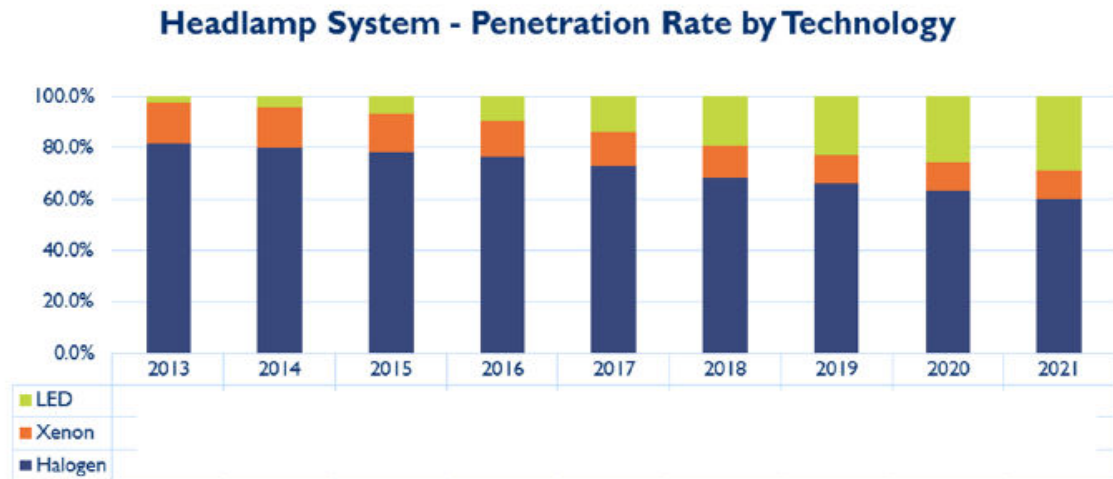


Ilustración 53 Evolución de las distintas tecnologías de faros para automóviles en los últimos años y previsión hasta el 2021

Esto se debe al abaratamiento de esta tecnología y a que cada vez es más fiable e incluye más funciones, como es el sistema Matrix Beam que ya lo montan algunos vehículos, como el Audi A8, esta tecnología es capaz de apagar parte del proyector, para no deslumbrar a los demás usuarios de la vía, gracias al número de led con el que está compuesto, ya que cada uno ilumina una zona específica, haciendo que el conductor tenga siempre la mayor visibilidad posible. Como se puede observar en la Ilustración 54, que se ve un vehículo circulando por una vía, y como parte de los haces de luz se apagan para no deslumbrar a otros usuarios.

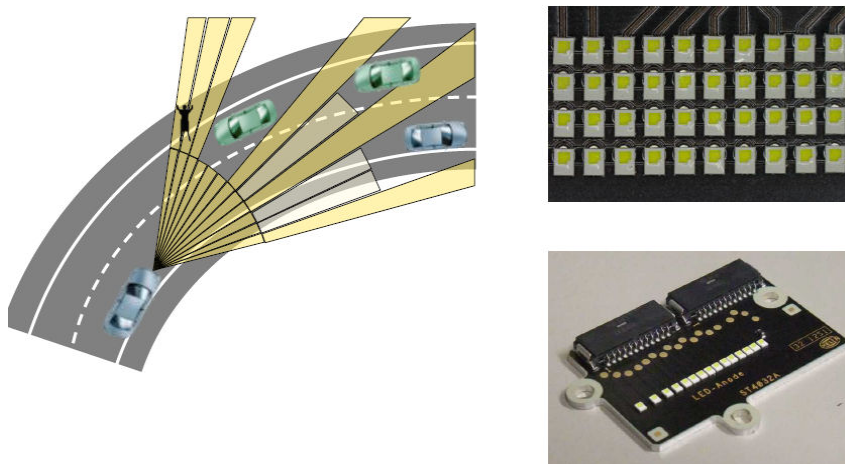


Ilustración 54 Tecnología Matrix Beam

El último avance que se está introduciendo es la incorporación de los diodos Oled, que son diodos led orgánicos, con los cuales se pueden conseguir formas para

los pilotos y proyectores mucho más complejas. Tecnología ya implantada en algunos pilotos de Bmw y Audi, como se puede ver en la Ilustración 55.

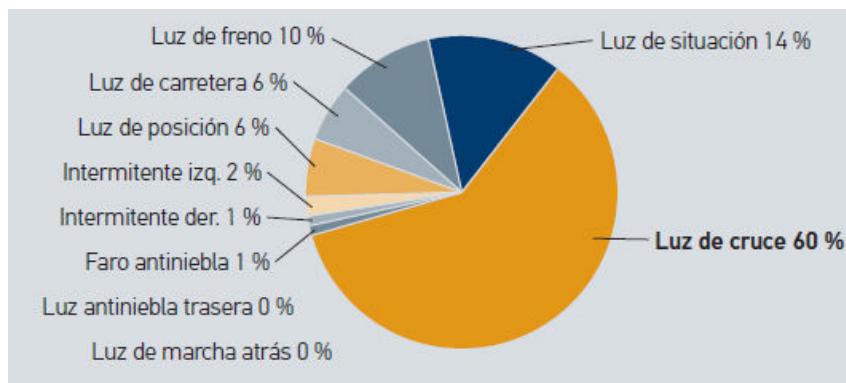
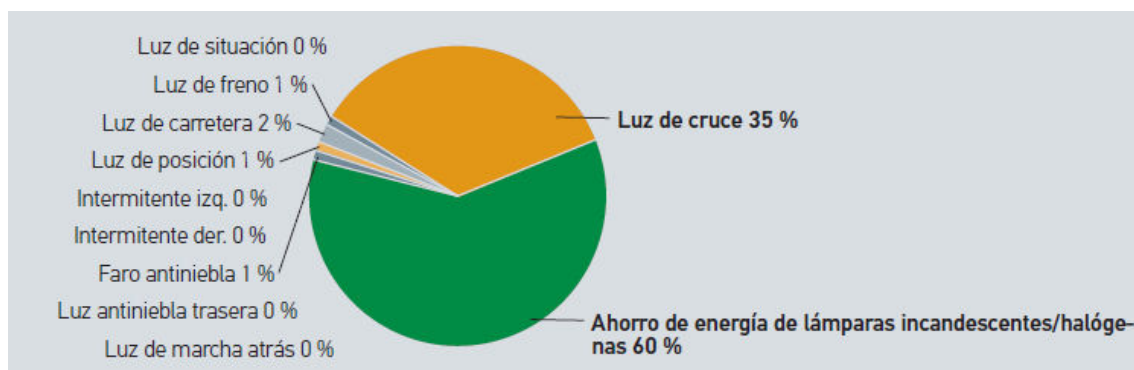


Ilustración 55 Pilotos Oled del Bmw M4 y Audi A8 respectivamente

9.2. Ventajas del led en automoción

Pese al elevado coste de la fabricación de los módulos led, este cada vez menor, frente a los proyectores de lámparas incandescentes o halógenas, se amortiza en poco tiempo y esto lo compensa gracias a las grandes ventajas que tiene como son:

- Consumo de energía mínimo.
- Vida útil muy larga.
- Resistente a vibraciones.
- Sin costes de mantenimiento.
- Incorpora funciones antideslumbramiento.
- No emite radiación UV ni IR.
- Tamaño pequeño.
- Mejora de características luminosas.

**Ilustración 56 Consumo de un faro halógeno****Ilustración 57 Consumo de un faro led**

En las Ilustraciones 56 y 57, se puede observar como un faro completamente de led, consume hasta un 60 % menos de energía, con respecto a un faro de lámparas incandescentes o halógenas, lo que a su vez conlleva, una reducción tanto en el consumo de combustible como en las emisiones de gases contaminantes.

Las bombillas halógenas comunes necesitan hasta 0,2 segundos para encenderse, ya que precisa de una fase de calentamiento, en cambio el encendido del led es inmediato, esto es una ventaja muy grande para la función de la luz de freno, ya que esa reducción de tiempo, puede significar, que el conductor que circula detrás de un vehículo con luz de freno led, vea antes que este está frenando y puede suponer que colisione o no con él.

Otra gran ventaja de este sistema, es que puede proporcionar una luz mucho más fría y clara, similar a la claridad de un días despejado, lo que contribuye a disminuir la fatiga del conductor [16][26].

9.3. Led específico de automoción.

El diodo led es sin duda el elemento principal para que se pueda tener luz, pero no todos los led son iguales, depende de para la función la cual esté destinado, tendrá unas características u otras, como pueden ser el color, el flujo luminoso, la potencia, entre otras. Para ello la mayoría de fabricantes de led facilitan unos led específicos para automoción. Algunos de los fabricantes más importantes son: Osram, Vishay, Lumileds, entre otros. A continuación se va a mostrar las soluciones que dan estos fabricantes para algunas funciones:

Por ejemplo, si se accede en la página web de Vishay, en el apartado de automoción, marcada en amarillo, <https://www.vishay.com/applications/automotive/> se puede observar una sección para iluminación exterior, como se muestra en la siguiente ilustración[27].

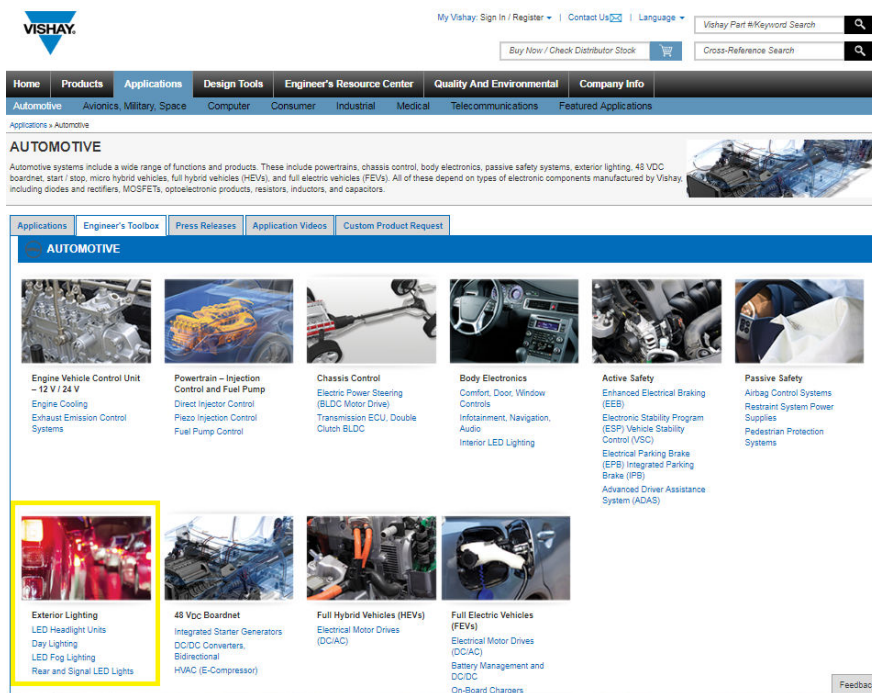


Ilustración 58 Página web de Vishay, apartado de automoción

En este apartado, aconseja dos led específicos para automoción, uno el Little Star® 1 W Power SMD LED, el cual en su hoja de características, uno de los usos comunes que tiene es la tercera luz de freno. Otro led que aconseja Vishay en este

apartado es el Power SMD LED PLCC-2 Plus, el cual recomienda para la luz de día, si accedemos a su hoja de características, se puede apreciar que ambos led tienen un símbolo que se denomina “Automotive Grade”, marcado en rojo, como se muestra en la Ilustración 59, ¿qué quiere decir este símbolo?, que este componente ha superado una serie de pruebas y cumple con unos estándares de calidad que es recogidas en la norma AEC-Q101, elaborada por el Automotive Electronic Council, que es un grupo de fabricantes de componentes electrónicos especializados en automoción, el cual fue fundado por Chrysler, Ford Motor y Delco Electronics, en 1993 y después se han ido sumando numerosos fabricantes de componentes electrónicos como son Vishay, Onsemiconductor, Visteon, Hella, entre otros muchos.



VISHAY
www.vishay.com

VLW51Q2R3
Vishay Semiconductors

Power SMD LED PLCC-2 Plus



22038

DESCRIPTION
The VLW51... white LED in PLCC-2 plus package is an advanced product in terms of high luminous flux and low thermal resistance.

FEATURES

- High efficient InGaN technology
- Long life, due to silicone resin casting
- Compact package outline 3.5 mm x 3.5 mm x 1.2 mm
- Angle of half intensity $\varphi = \pm 60^\circ$
- Luminous flux and color categorized per packing unit
- Luminous flux ratio per packing unit $\phi_{max}/\phi_{min} < 1.2$
- ESD-withstand voltage: up to 2 kV (HBM) according to JEDEC-A114-B
- Preconditioning according to JEDEC® level 2
- Compatible with IR-reflow soldering profiles according to J-STD-020
- AEC-Q101 qualified
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912




**RoHS
COMPLIANT**
HALOGEN
FREE
GREEN
(E-300001)

Ilustración 59 Datasheet de Power SMD LED PLCC-2 Plus

Uno de los fabricantes de diodos led más importantes del sector, es sin duda Osram, gracias a la gran variedad que pone a disposición del consumidor. Si se desea elegir un led de este fabricante, para una aplicación de automoción, uno de los filtros que sugiere a la hora de buscar un led en su página web, <https://www.osram.com/appsn/ProductSelector/>, es “Auto/Transportation”, marcado en amarillo, como se puede observar en la Ilustración 60.

The screenshot shows the Osram Product Selector interface. On the left, there are filter categories: Filter (0%), Product Type (X), Parameter (X), Application (Y), and Product Brand (X). The Application filter is expanded, showing various categories with counts, and 'Auto/Transportation (368)' is highlighted. The main area displays '906 Products found' and a table of LED products.

Device Name, Product Brand	Color, Wavelength [nm]	Electrical Power	Brightness						Beam Angle	Wavelength Tolerance
			Φ_V	I_V	Φ_E	I_E	θ	$\Delta\lambda$		
LA G6SP01 Advanced Power TOPLED	Amber (609-624 nm)	0.308 W	28.3 lm	9.5 cd	115 mw	38.7 mW/sr	120°	W		
LB G6SP Advanced Power TOPLED	Blue (450-480 nm)	0.462 W	8.04 lm	2.7 cd	236 mw	79.3 mW/sr	120°	W		
LCB G6SP Advanced Power TOPLED	Blue (450-480 nm)	0.462 W	29.2 lm	9.8 cd	118 mw	39.7 mW/sr	120°	W		

Ilustración 60 Buscador de led de Osram

Una vez aplicado este filtro, aparecerán todos los led de esta marca que pueden ser utilizados en automoción, si se selecciona por ejemplo el KW CULPM1.TG OSLON® Boost HX, como se puede observar en la Ilustración 61, que corresponde a la primera página de su hoja de características, este led está recomendado para sus uso en faros led, y para ello como se indica en la Ilustración debe de cumplir la norma IEC 60810, que es la norma que regula los estándares de calidad y las pruebas a las que deben ser sometidos los led para poder usados en automoción, esta norma está regulado por Comisión Electrotécnica Internacional, IEC, la cual fue fundada en Londres en el año 1906 tras su aprobación en el Congreso Internacional Eléctrico celebrado en 1904 [28].

KW CULPM1.TG**OSLON® Boost HX**

OSLON Boost HX makes use of the high current capability of the latest chip generation in a thermal optimized package. The LED is characterized by a high luminance from up to 200 cd/mm² and high luminous flux. Therefore this LED is ideally suited as a powerful light source for high-definition MEMS AFS.

**Applications**

— Headlamps, LED & Laser & Night Vision

Features:

- Package: Ceramic package
- Chip technology: UX:3
- Typ. Radiation: 120° (Lambertian emitter)
- Color: Cx = 0.32, Cy = 0.33 acc. to CIE 1931 (* white)
- Corrosion Robustness Class: 3A
- Qualifications: The product qualification test plan is based on the guidelines of IEC60810 Lamps for road vehicles – Performance requirements – Requirements and test conditions for LED packages.

Ilustración 61 Datasheet de KW CULPM1.TG OSLON® Boost HX

Otro fabricante de led para automoción muy importante es Lumileds, si se accede a su página web: <https://www.lumileds.com/>, se puede observar que hay un apartado para automoción, como se puede ver en la ilustración 62.

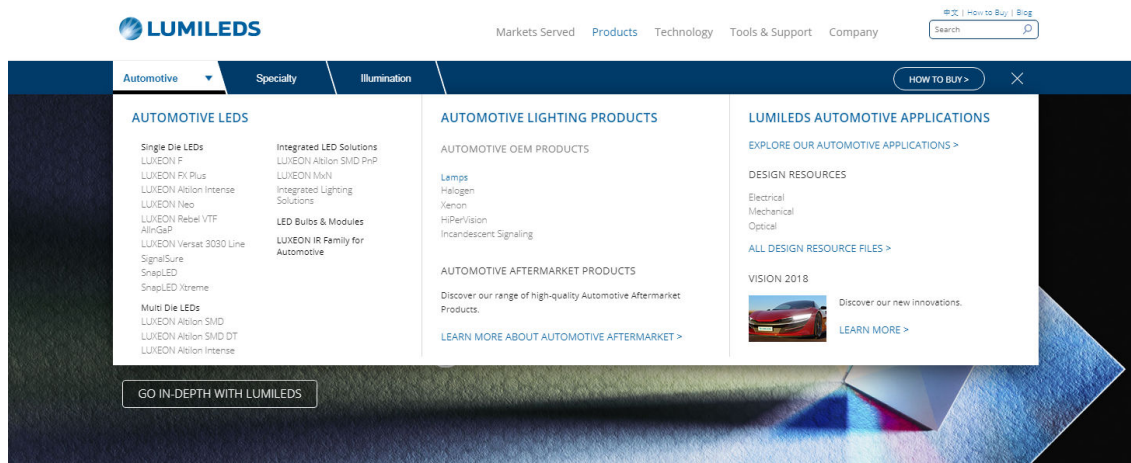
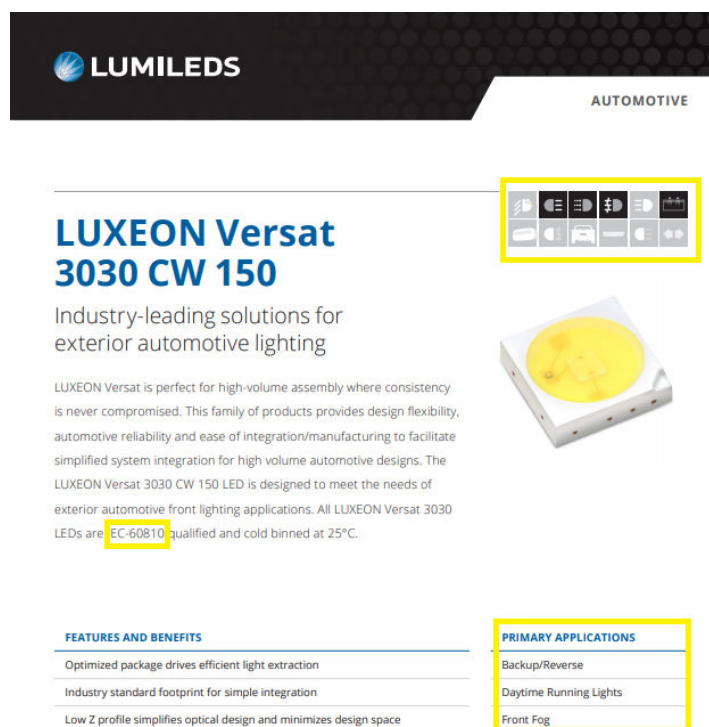


Ilustración 62 Página web de Lumileds

En su página web presenta las soluciones que da para la iluminación led en automoción, si se elige uno de sus led y se observa su hoja de características, como se muestra en la ilustración 63, se observa que este fabricante apuesta también por la normativa IEC 60810 y como aconseja utilizar este led por ejemplo para la luz diurna o la luz antiniebla delantera[29].



LUXEON Versat 3030 CW 150

Industry-leading solutions for exterior automotive lighting

LUXEON Versat is perfect for high-volume assembly where consistency is never compromised. This family of products provides design flexibility, automotive reliability and ease of integration/manufacturing to facilitate simplified system integration for high volume automotive designs. The LUXEON Versat 3030 CW 150 LED is designed to meet the needs of exterior automotive front lighting applications. All LUXEON Versat 3030 LEDs are EC-60810 qualified and cold binned at 25°C.

FEATURES AND BENEFITS	PRIMARY APPLICATIONS
Optimized package drives efficient light extraction	Backup/Reverse
Industry standard footprint for simple integration	Daytime Running Lights
Low Z profile simplifies optical design and minimizes design space	Front Fog

Ilustración 63 Datasheet de LUXEON Versat 3030 CW 150

A las conclusiones que se llega al estudiar varios fabricantes de led, es que estos apuestan firmemente por el uso de este en automoción y así lo muestran, poniéndolo a primera vista en sus web, pese haber otros sectores en los que son de gran utilidad los led, como la arquitectura. La otra conclusión que se puede sacar, es que para que un led pueda ser utilizado en automoción, debe de cumplir con una serie de requisitos y estándares, principalmente existen dos normativas que son de reconocido nivel mundial y son el AEC-Q102 y el IEC 60810, como se puede observar unos fabricantes apuestan por una norma y otros por otra, pero las dos garantizan que estos elementos son adecuados para automoción.

9.4. Drivers para led específicos para automoción

Como se ha podido estudiar en capítulos anteriores, un diodo led por sí solo, no es capaz de iluminarse, para esto necesita un circuito auxiliar, cuanto mayor es el control que se quiere sobre el led, mayor es el número de componentes, para disminuir este número de componentes, los fabricantes electrónicos lo que han diseñado son unos drivers los cuales integran parte de estos componentes en un solo chip, disminuyendo así el número de elementos en el circuito y dotándolo de mayor robustez. Ahora se va a mostrar algunas de las soluciones que han dado algunos de

los fabricantes más importantes como son Infineon y Texas Instrument para driver para led en automoción.

Infineon presenta una variedad de drivers para cada aplicación de iluminación en automoción como se puede observar en las siguientes ilustraciones.

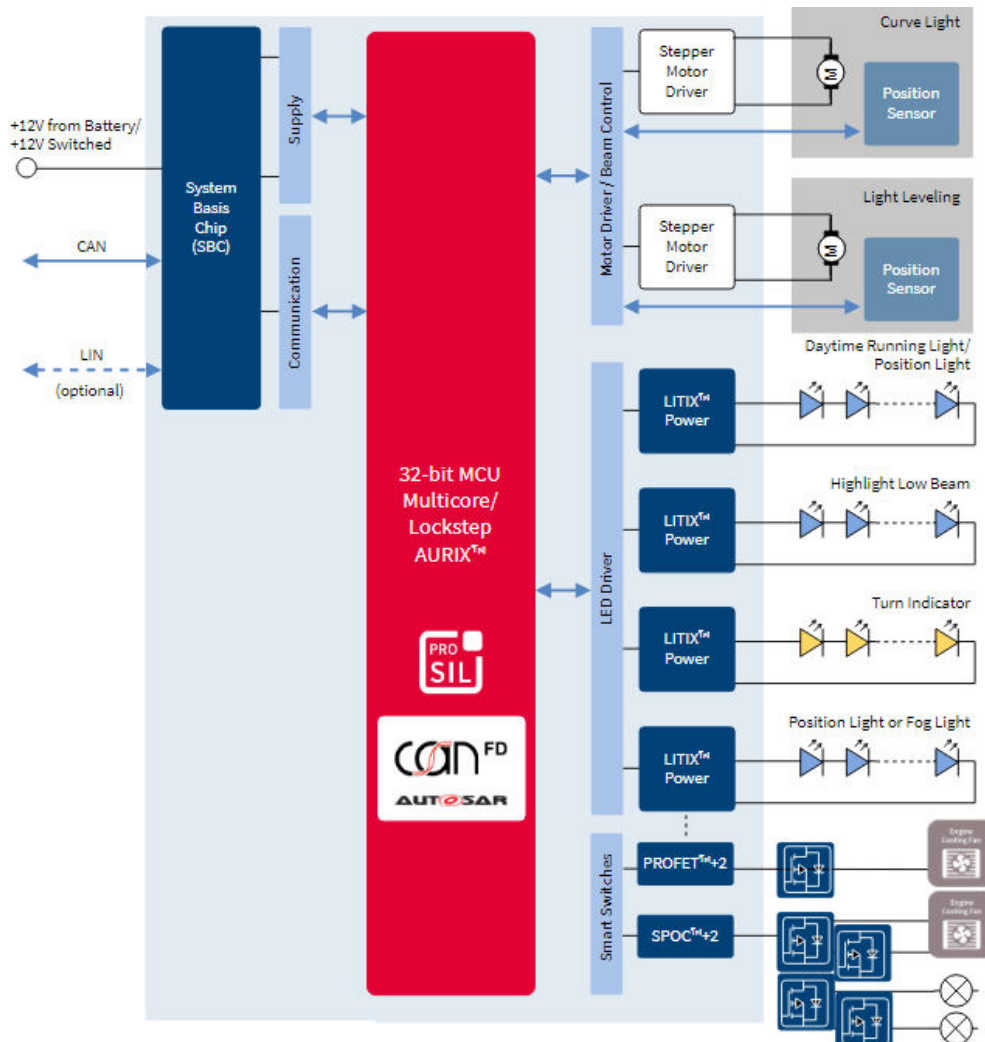


Ilustración 64 Solución electrónica de Infineon para faro led descentralizado

En la Ilustración 64, se puede ver la solución que aconseja Infineon para un faro completamente de led descentralizado, eso quiere decir, que en el propio faro está la centralita que lo controla, para esto aconseja el microcontrolador XC800, el cual es activado por un módulo de comunicación, en este caso el TLE9261BQX. El microcontrolador tiene la función de recibir los datos que le proporcionan los sensores de curva y altura, en este caso se eligen de la serie TLE4964-3K y una vez recibe estos datos, manda la información a los distintos driver para encender unos led u otros. Para las funciones de luz de día, luz de cruce, luz de carretera e indicador de dirección

aconseja la serie LITIX POWER, por ejemplo el TLD 5098EL, mientras que para la función antiniebla o luz de posición sugiere el TLD 5045EJ.

El driver TLD5098EL, como se puede ver anteriormente utilizado para varias funciones, como la luz de día, se trata de un controlador DC/DC que integra funciones de diagnóstico y protección especialmente diseñadas para led. Puede proporcionar tanto corriente fija como tensión fija en varias topologías como Boost, Buck, Buck-Boost, Sepic y Flyback, fácilmente seleccionables a partir de componentes externos, los cuales nos describe el fabricante en la hoja de características. La frecuencia de conmutación se puede ajustar entre 100 KHz y 500 KHz, además se puede sincronizar con una señal de reloj externa. Este circuito integrado puede atenuar su salida mediante una regulación analógica o PWM. El esquema de la Ilustración 65 proporciona un circuito de regulación estable, con una función de arranque suave integrada, que limita el pico de corriente y excesos de voltaje en el arranque.

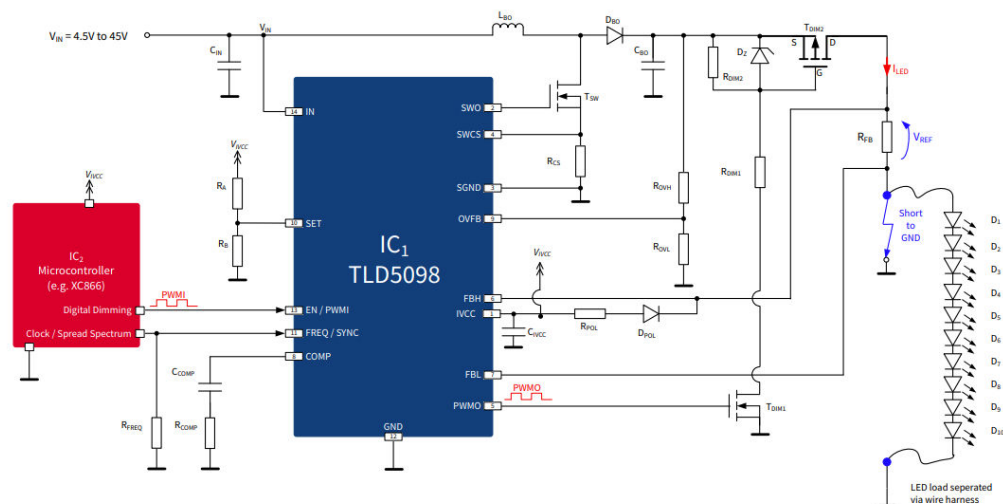


Ilustración 65 Esquema de uso sencillo para el circuito integrado TLD 5098EL

Igual que ofrece Infineon para un faro independiente, también proporciona una solución para un sistema para controlar todas las luces del automóvil integrado por los dos faros delanteros, los dos pilotos traseros y las luces interiores, como se muestra en la Ilustración 66(a), mientras que en (b), nos representa una posibilidad para un piloto trasero independiente[30].

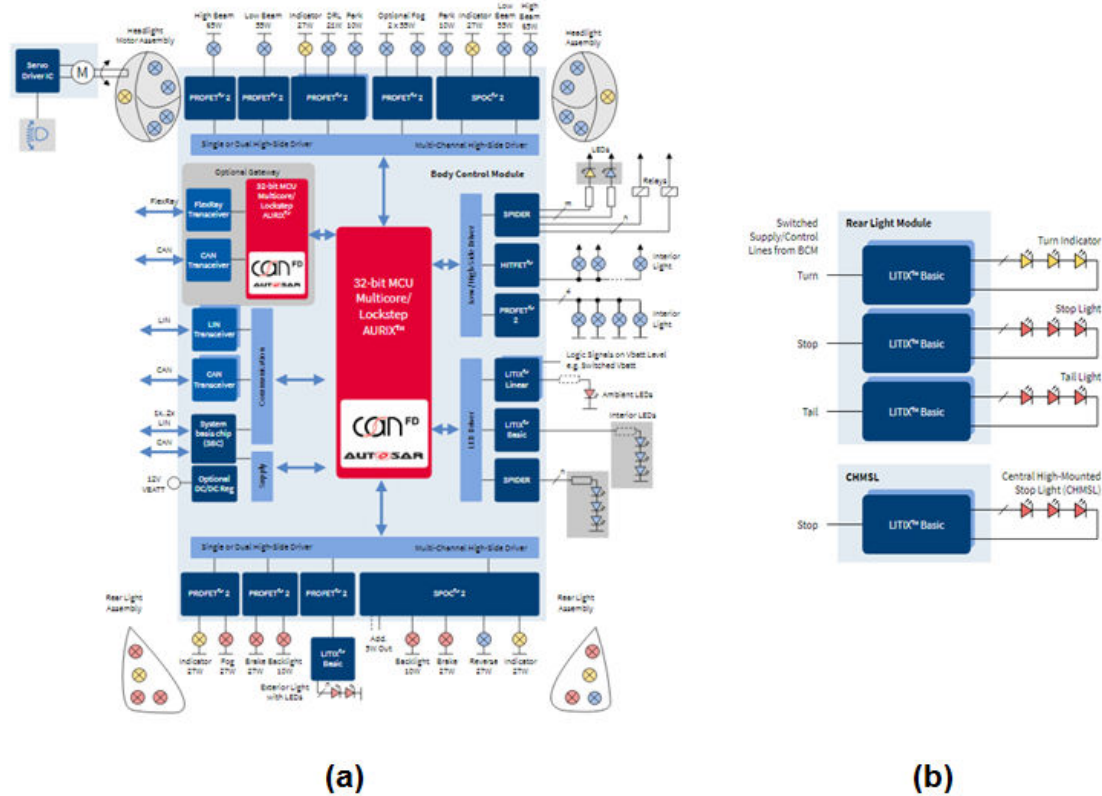


Ilustración 66 Solución de Infineon para (a) un sistema de iluminación completo del automóvil, (b) piloto trasero independiente

Por su parte Texas Instrument nos presenta la solución mostrada en la Ilustración 67, en (a) para un proyector led, primero aumenta la tensión con un regulador Boost TPS92692-Q1, cuya salida está conectada a uno o varios reguladores de corriente en paralelo Buck TP592518HV-Q1, dependiendo de las ramas en paralelo que se tenga de led, que a su vez van conectados en serie a un TPS92662-Q1, que se trata de un controlador de 12 canales para dirigir matrices de led, los cuales se pueden utilizar para funciones de faros dinámicos como son los intermitentes secuenciales o la iluminación frontal adaptable. En cambio para un piloto (b), presenta un esquema mucho más sencillo y solo se necesita un driver y se elegirá uno u otro en función del número de canales de salida que se deseen, si se desea uno se apostará por el TPS9261X-Q1, mientras que si se tienen varios canales será el TPS9263X-Q1 siendo ambos drivers lineales con control PWM para modificar la atenuación de led[31].

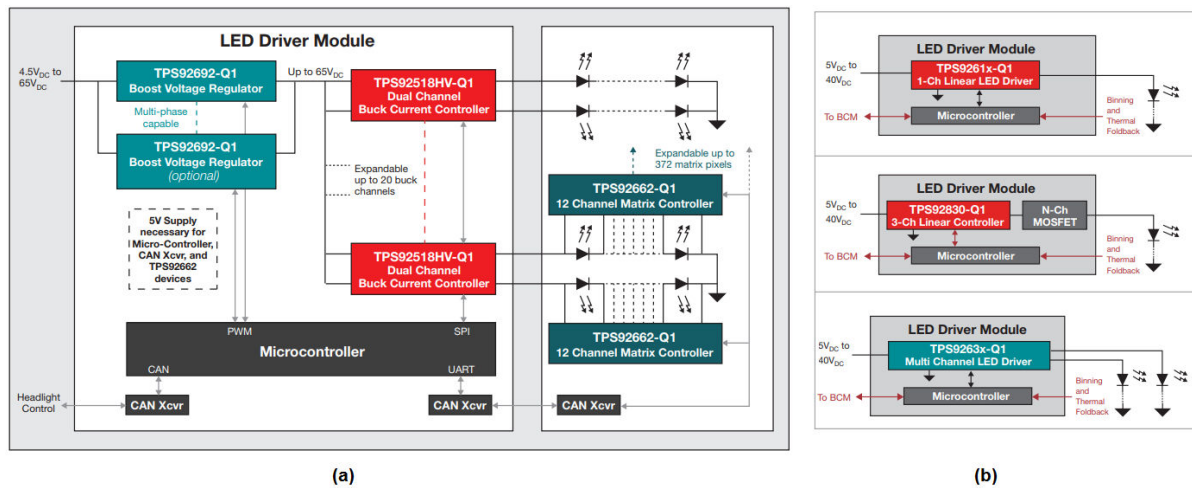


Ilustración 67 Solución de Texas Instrument para (a) faro independiente completamente de led (b) piloto de led con varias configuraciones según el número de canales

ANEXO 1: MONTAJES ESPERIMENTALES CON CARÁCTER DIDACTICO

ANEXO 1: MONTAJES EXPERIMENTALES CON CARÁCTER DIDÁCTICO.

Como se ha comentado en la introducción de este Trabajo Fin de Grado, esta parte corresponde a las prácticas a realizar por el alumnado de la asignatura, Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil, asignatura optativa del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial, impartida a partir del curso 2020/21. Esta asignatura, cuenta con una carga lectiva de 6 créditos ECTS, siendo 2 de ellos de parte práctica. Lo que corresponde a un total de 20 horas presenciales y 30 de trabajo autónomo del alumno. A continuación se describe como irán distribuidas las horas presenciales:

Práctica a realizar	Horas
Practica 1: Definiciones de conceptos del led	2
Práctica 2: Caracterización del led	2
Práctica 3: Regulador de corriente lineal	2
Práctica 4: Fuente de corriente constante	4
Práctica 5: Fuente de corriente const a partir de circuito integrado	2
Práctica 6: Fuente de corriente constante con ajuste de corriente	2
Práctica 7: Control de iluminación PWM	4
Sesión de recuperación	2
Total	20

Tabla 3 Distribución temporal de sesiones prácticas

Como se puede dar el caso, que el alumno no termine todas las medidas necesarias, en el tiempo estipulado para cada práctica. Habrá una sesión, para que pueda realizar los montajes que necesite y así terminar correctamente las prácticas.

Aclaración: para el capítulo 10, la nomenclatura de las prácticas va a ser (PX.Y), siendo X el número de la práctica e Y, el número de la fórmula en dicha práctica. Por ejemplo, P2.1, será la formula número 1 correspondiente a la práctica 2. Para el capítulo 11, la nomenclatura será (PRX.Y)

A continuación, se van a exponer los guiones que se entregarán a los alumnos para poder realizar las prácticas:



UNIVERSIDAD DE JAÉN

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA



Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil

Definiciones de conceptos del led

Grupo:

Nombre :

Práctica 1: Definiciones de conceptos del led

1-INTRODUCCIÓN

Para poder entender adecuadamente la tecnología led en automoción, es necesario conocer una serie de conceptos básicos y normativas. Ya que todo elemento que se monte en un vehículo debe de estar homologado.

2-OBJETO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica es estudiar estos conceptos que nos ayudaran a conocer la tecnología led. Una vez definidos estos conceptos, se buscaran una serie de diodos led, para determinados usos, respetando la normativa correspondiente.

3-DESCRIPCIÓN BÁSICA

La práctica se divida en dos partes, en la primera habrá que buscar unas definiciones básicas de tecnología led, y en la segunda, se buscaran unos led comerciales, que puedan ser utilizados para las funciones requeridas.

4-CUESTIONES

Defina los siguientes conceptos:

-Flujo luminoso Φ :

-Intensidad luminosa:

-Eficacia luminosa

-Temperatura de color:

-Rendimiento de color:

-Uniformidad de color:

-Proceso Binning: ¿Cómo se refleja esto en una hoja de características?

Ahora se van a definir las unidades utilizadas en la iluminación led:

-Lumen (lm):

-Candela (cd):

-Lux (lx):

Una vez definidos estos conceptos, se buscará un led comercial que pueda ser utilizado para las funciones de luz de cruce, luz de posición delantera, luz de posición trasera y luz de freno. Se buscará en las siguientes normativas el nivel de luminosidad necesario para cada función:

-Luz de cruce: Reglamento nº 113 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) (<http://infor norma.gencat.cat/pdf/20200090.pdf>).

-Luz de posición delantera, luz de posición trasera y luz de freno: Reglamento nº 7 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) ([https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX: 42014X0930\(01\)&from=FR](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX: 42014X0930(01)&from=FR)).

Aclaración: solo es necesario buscar en la normativa el flujo luminoso que debe tener la función, por ejemplo: (luz de freno entre 60 cd y 260 cd), buscar un led que pueda ser utilizado en automoción, que tenga este flujo luminoso y color.



UNIVERSIDAD DE JAÉN

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA



Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil

Caracterización del led

Grupo:

Nombre :

Práctica 2: Caracterización del led.**1-INTRODUCCIÓN**

Hoy en día existen infinidad de diodos led, y es necesario saber cuál es el adecuado para cada uso, esto se puede saber gracias a las hojas de características, las cuales proporcionan toda la información necesaria para su correcto uso.

2-OBJETO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica es dar a conocer las hojas de características de los led, mostrando las partes más importantes y probando en el laboratorio algunas de las especificaciones mostradas.

3-DESCRIPCIÓN BÁSICA

Estudiar las hojas de características proporcionadas por el fabricante y comprobar en el laboratorio algunas características.

4-FUNCIONAMIENTO

A partir de la hoja de características de cada led, se calculará la resistencia necesaria para su correcto funcionamiento.

5-LISTADO DE MATERIAL

El material necesario para esta práctica es:

-Led azul: VAOL-5LSBY2 de VCC

-Led verde: C503B-GCN-CY0C0791 de CREE

-Led amarillo: 151034YS03000 de Wurth Elektronik

-Led rojo: WP908A8SRD Kingbright

6-DISEÑO

A partir de la hoja de características, hallar la resistencia necesaria para la correcta polarización de cada led, para ello se utilizará la fórmula:

$$R = \frac{V_{cc} - V_F}{I_F} \quad (P2.1)$$

Siendo V_{cc} la tensión de alimentación, V_F la tensión de polarización del led y I_F la corriente de polarización.

7-CALCULOS PRÉVIOS

Calcular las resistencias necesarias por parte del alumno.

8- METODO OPERATIVO

Consiste en la búsqueda de las correspondientes hojas de características y en el montaje en una placa board del siguiente circuito para cada led.

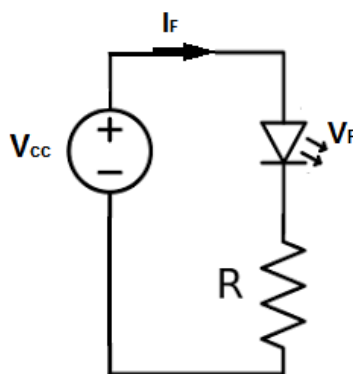


Ilustración 68 Circuito excitación del led

9-RESULTADOS FINALES

Para todos los led, obtener los siguientes datos de la hoja de características:

	Azul	Verde	Amarillo	Rojo
Longitud de onda (nm)				
Color				
Material				
I_F (mA)				
V_F (V)				

Tabla 4 Características de los led

Para cada led, rellenar la siguiente tabla:

Tensión Vcc (V)	Tensión led (V)	Tensión R (V)	Corriente teórica (mA)	Corriente medida (mA)	Resistencia medida (Ω)	Potencia led medida(mW)	Potencia R medida (mW)
Tensión por encima de V_F							
Tensión para que V_F sea la proporcionada por el fabricante							
Tensión para que la iluminación sea mínima							

Tabla 5 Medidas obtenidas en laboratorio

10-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Corresponde lo medido, I_F y V_F , con lo mostrado por el fabricante en la hoja de características para cada led?

-¿Afecta de alguna forma la temperatura del led en la luminosidad de este? Como se muestra en la hoja de características.

-Dentro del led azul visto aquí, ¿Todos tienen las mismas características luminosas? Como se muestra en la hoja de características.



UNIVERSIDAD DE JAÉN

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA



Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil

Regulador de corriente lineal

Grupo:

Nombre :

Práctica 3: Regulador de corriente lineal

1-INTRODUCCIÓN

Como se ha visto en prácticas anteriores, para poder iluminar un diodo led, solo se necesita una fuente de tensión y una resistencia. Pero este es un sistema poco robusto, ya que cualquier variación en el voltaje de la fuente de tensión, se traduce en una variación en la luminosidad del led. Para evitar esto, se diseñan circuitos que proporcionen una corriente constante al led, y que limiten la tensión que este recibe para evitar posibles daños. En esta práctica, se va a estudiar el siguiente regulador de corriente lineal.

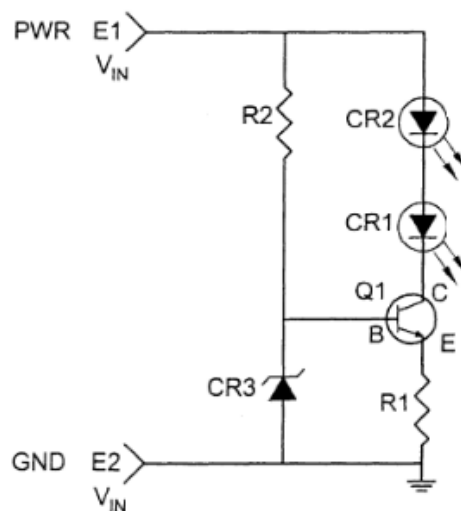


Ilustración 69 Esquema de circuito para regulador de corriente

2-OBJETO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica, es conocer un regulador lineal de corriente para iluminación led. Está compuesta por una parte, que será simulada en Pspice y otra, que será montada en el laboratorio, para comprobar si los resultados obtenidos, corresponden con lo expuesto.

3-DESCRIPCIÓN BÁSICA

El circuito, está compuesto por una fuente de tensión continua, que alimenta a un regulador de corriente, conectado a un conjunto de led. El circuito regulador, está

formado por, un transistor, cuyo colector está conectado al cátodo de los led, un diodo Zéner, que se conecta a la base del transistor y a tierra, una resistencia conectada al emisor del transistor y a tierra, y otra resistencia en paralelo con los led.

4-FUNCIONAMIENTO

El diodo Zéner, produce una tensión constante en la base del transistor. La resistencia R_2 , proporciona la corriente adecuada para el funcionamiento del Zéner. Aunque se produzcan fluctuaciones en la tensión de entrada, el Zéner sigue proporcionando una tensión continua gracias a sus propiedades. La resistencia R_1 , al estar en paralelo al Zéner, tiene la misma caída de tensión, por lo que el transistor, ajusta la corriente del colector, suministrando así una corriente constante a los led[32].

5-LISTADO DE MATERIAL

El material necesario para esta práctica es:

- 2 resistencias a calcular
- 4 Diodos led SOLID STATE LAMP Super Bright Red de KingBright
- Transistor 2N3055 de Onsemiconductor
- Diodo Zéner BZX55C12 de DC COMPONENTS

6-DISEÑO

En esta práctica habrá que calcular las resistencias del circuito, así como la fuente de tensión necesaria.

La tensión mínima para iluminar los led es:

$$V_{cc} = nV_F + V_Z \quad (P3.1)$$

Siendo V_{cc} la tensión de alimentación, n el número de led a colocar, V_F la tensión de polarización del led y V_Z la tensión del Zéner

Las resistencias se calcularán a partir de las corrientes del transistor, como:

$$I_C = I_F \quad I_C = \beta I_B \quad (P3.2)$$

$$I_E = I_B + I_C \quad (P3.3)$$

$$R_2 = \frac{V_Z - V_{CE}}{I_E} \quad (P3.4)$$

$$R_1 = \frac{V_Z - V_{CE}}{I_Z} \quad (P3.5)$$

7-CALCULOS PRÉVIOS

Calcular, a partir de las hojas de características, las resistencias necesarias, para proporcionar una corriente adecuada a los led.

8-SIMULACIÓN

Se pide, simular el circuito de la Ilustración 69 en Pspice para los valores calculados anteriormente, rellenar la Tabla 8 con los datos obtenidos y realizar un barrido en la tensión de entrada desde 5 V a 20 V, mostrando la caída de tensión y la corriente en los led. Después, realizar el mismo proceso para 4 led y comentar que sucede

9- METODO OPERATIVO

Consiste en el montaje en una placa board del circuito de la Ilustración 69 con los componentes antes seleccionados.

En primer lugar rellenar la Tabla 6 para la tensión calculada.

Vcc	Ic (mA)	Vcc	Ic (mA)
5		15,7	
10		15,85	
12		16	
14,2		16,15	
14,5		16,3	
14,8		16,6	
15,1		17	
15,4		19	
15,55		21	

Tabla 6 Barrido de Vcc experimentalmente de 5 a 21V Después realizar el mismo proceso pero para 4 led.

En segundo lugar rellenar la Tabla 7 con las corrientes obtenidas por el led y mostrar los resultados en una gráfica.

Vcc (V)	Ic (mA)	Vcc (V)	Ic (mA)
15,7		20,6	
16		20,8	
17		21	
18		22	
19,4		23	
20		24	

Tabla 7 Barrido de Vcc experimentalmente de 15,7 a 24V

10-RESULTADOS FINALES

Ya acabada la práctica rellenaremos la tabla con los resultados finales para poder comparar los resultados de una forma rápida.

	Calculado	Simulado	Experimental
I_E			
I_B			
I_C			
Vcc			
Vz			
Vcr			
R1			
R2			

Tabla 8 Resultados obtenidos para Vcc calculado

11-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Circula en algún momento por los led una corriente mayor a I_F ?

-¿Es proporcional la intensidad por los led respecto a la tensión de alimentación?

-Si se incrementa el número de led, ¿se debe variar la tensión de alimentación?



UNIVERSIDAD DE JAÉN

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA



Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil

Fuente de corriente constante

Grupo:

Nombre :

Práctica 4: Fuente de corriente constante

1-INTRODUCCIÓN

Como se ha visto en la práctica anterior, para mantener la corriente constante por el led y que no existan fluctuaciones en el flujo luminoso, a causa de la tensión de alimentación, es necesario la construcción de un circuito auxiliar, en esta práctica se va a utilizar una fuente de corriente independiente de la alimentación. Primero, se estudiará su construcción con transistores bipolares y después con transistores mosfet. Los circuitos son los siguientes:

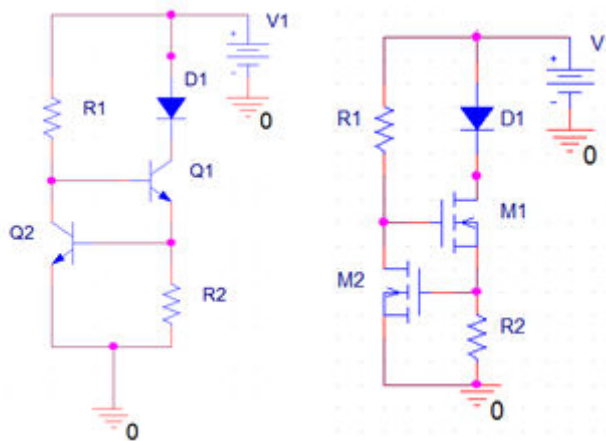


Ilustración 70 Fuente de corriente constante independiente de la alimentación

2-OBJETO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica, es conocer el uso de fuentes de corriente constante para la iluminación led.

3-DESCRIPCIÓN BÁSICA

El circuito está compuesto por una fuente de tensión continua, que alimenta a la fuente de corriente. Esta está compuesta por, una resistencia R_1 conectada un terminal a la alimentación y el otro terminal a la base del transistor Q_1 y el colector de Q_2 . El emisor de Q_1 , se conecta a la resistencia, R_2 , y a la base del transistor Q_2 . El otro terminal de R_2 se conecta a tierra igual que el emisor de Q_2 . El ánodo del diodo led D_1 , es conectado a la alimentación, mientras que el cátodo es conectado al colector de Q_1 . Para el caso en el que se utilicen transistores mosfet, estos sustituirán a los

bipolares, conectando el drenador de M_1 al cátodo del led, el surtidor de M_1 a la resistencia R_2 a la puerta de M_2 . La puerta de M_1 se conecta entre la resistencia R_1 y el drenador de M_2 . Mientras que el surtidor de M_2 , se conecta a tierra.

4-FUNCIONAMIENTO

El transistor Q_1 , es activado por la corriente que fluye a través de R_1 . La corriente que fluye por los led es fijada por R_2 . A medida que aumenta la corriente por R_1 , la caída de voltaje por R_2 , se incrementa. Cuando la tensión entre la base y el emisor supera el mínimo del transistor Q_2 , este es activado y comienza a circular la corriente por R_1 , limitando así la corriente que circula por la rama de led. El funcionamiento para transistores mosfet es muy similar, solo que en vez de supera el voltaje V_{be} de Q_2 , el transistor M_2 , comienza a funcionar cuando se supera el voltaje V_{gs} [32].

5-LISTADO DE MATERIAL

El material necesario para esta práctica es:

- 2 BJT BC547A
- 2 IRF 540
- 4 led SOLID STATE LAMP Super Bright Red de KingBright,
- 4 Resistencias a determinar

6-DISEÑO

Se comienza calculando R_2 , la cual solo depende de la corriente que se desea que circule por el led, que en este caso, es igual a I_{C1} , entre la tensión base-emisor del transistor 2, quedando:

$$R_2 = \frac{V_{BE2}}{I_{C1}} \quad (P4.1)$$

Ahora calculamos R_1 a partir de las propiedades de los transistores, siendo:

$$V_{BE1} = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_s} \quad (P4.2)$$

Ahora, con:

$$I_{c1} = \frac{V_{cc} - 2 V_{BE1}}{R_1 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (P4.3)$$

Ahora queremos realizar el circuito con transistores Mosfet en vez de Bipolares, para ello se sustituyen los transistores bipolares por el IRF 540, fijamos la resistencia $R_1 = 1K\Omega$.

Para calcular la resistencia R_2 , aplicamos la fórmula:

$$I_{led} = \frac{V_{GS}}{R_2} \quad (P4.4)$$

7-CÁLCULOS PRÉVIOS

Calcular, a partir de las hojas de características, las resistencias necesarias, para proporcionar una corriente adecuada a los led.

8-SIMULACIÓN

Se pide, simular los circuitos de la Ilustración 70 en Pspice para los valores calculados anteriormente y rellenar las tablas 9 y 10. Repetir el proceso incrementando el número de led.

9- METODO OPERATIVO

Consiste en el montaje en una placa board de los circuitos de la Ilustración 70 con los componentes calculados, una vez montados los circuitos, realizar las medidas oportunas y rellenar las tablas 9 y 10 para los datos obtenidos. Repetir el proceso incrementando el número de led.

10-RESULTADOS FINALES

Ya acabada la práctica rellenaremos la tabla con los resultados finales para poder comparar los resultados de una forma rápida.

	Calculado	Simulado	Experimental
V_{cc} (V)			
I_{Led} (mA)			
I_{c2} (mA)			
V_{led} (V)			
R_1 Ω			
R_2 Ω			

Tabla 9 Datos obtenidos para el circuito con transistores bipolares

	Calculado	Simulado	Experimental
V_{cc} (V)			
I_{Led} (mA)			
ΔV_{leds} (V)			
R_1 Ω			
R_2 Ω			

Tabla 10 Datos obtenidos para transistores mosfet

11-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Si sufre variaciones la tensión de entrada, esto se refleja en la luminosidad de led?

-¿Es igual de aplicable el circuito con transistores bipolares que con mosfet?



UNIVERSIDAD DE JAÉN

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA



Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil

Driver lineal en circuito integrado para iluminación led

Grupo:

Nombre :

Práctica 5: Driver lineal en circuito integrado para iluminación led

1-INTRODUCCIÓN

Como se ha visto en las anteriores prácticas, se pueden utilizar circuitos auxiliares para limitar la corriente por el led y así no dañarlo. En esta práctica se va a ver un método más sencillo de realizar esto, y es el uso de un circuito integrado, que nos proporciona una corriente constante, para el correcto funcionamiento del led.

2-OBJETO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica, es introducir al alumno en el uso de drivers lineales para su uso en iluminación led.

3-DESCRIPCIÓN BÁSICA

Se va a utilizar el CL2N3-G de microchip, es un driver el cual proporciona una corriente de salida de 20 mA con una tolerancia de $\pm 10\%$, a partir de una tensión de entrada entre 5 V y 90 V, fuera de este rango no se garantiza su correcto funcionamiento. El elemento tiene una temperatura de trabajo entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este dispositivo se puede encontrar en tres tipos de encapsulado, como se muestra en la siguiente imagen, en este caso se va a utilizar el TO-92, por su fácil uso con una placa board.



Ilustración 71 Tipos de encapsulado para el CL2N3-G de microchip

4-FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de este dispositivo es muy sencillo, solo hay que alimentarlo con una tensión comprendida entre 5 V y 90 V y garantiza una corriente de salida de 20 mA $\pm 10\%$. El esquema básico es el mostrado en la siguiente ilustración,

conectando la tensión positiva a la patilla VA y el ánodo del led a VB, la patilla N/C no tiene ninguna función. Se conecta un condensador de 100 nF en paralelo a la fuente de tensión, para eliminar posible ruido que se pueda generar.

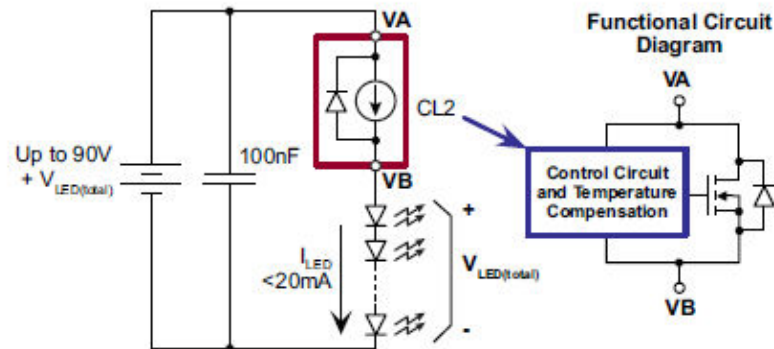


Ilustración 72 Circuito básico para el CL2N3-G de microchip

Si se desean alimentar varios led, pero se quiere que estos sean independientes los unos de los otros, se pueden conectar varias ramas en paralelo, como se muestra en la siguiente ilustración. Esto es muy útil, ya que si falla un led, solo deja de iluminar esa rama, mientras que las demás siguen funcionando o también se pueden poner interruptores, para iluminar unas u otras ramas.

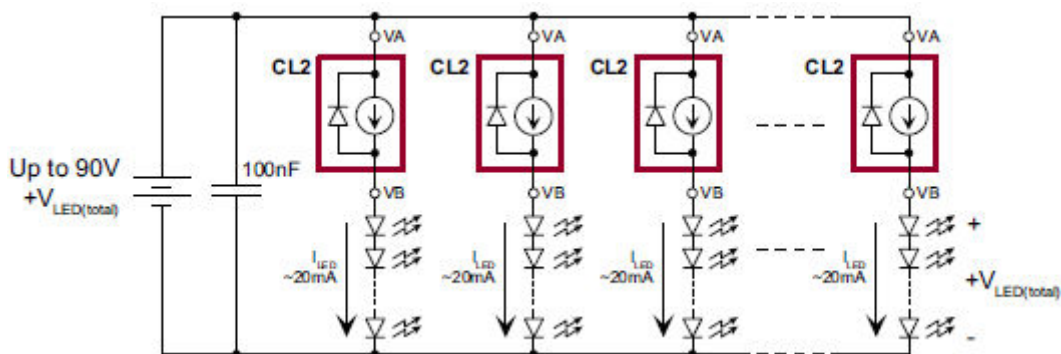


Ilustración 73 Circuito con ramas en paralelo para el CL2N3-G de microchip

Aunque la corriente de salida del circuito es 20 mA, podemos conseguir corrientes mayores, esto se consigue conectando en paralelo varios circuitos integrados, con ello se consigue corrientes múltiplo de 20 mA, como se muestra a continuación[20].

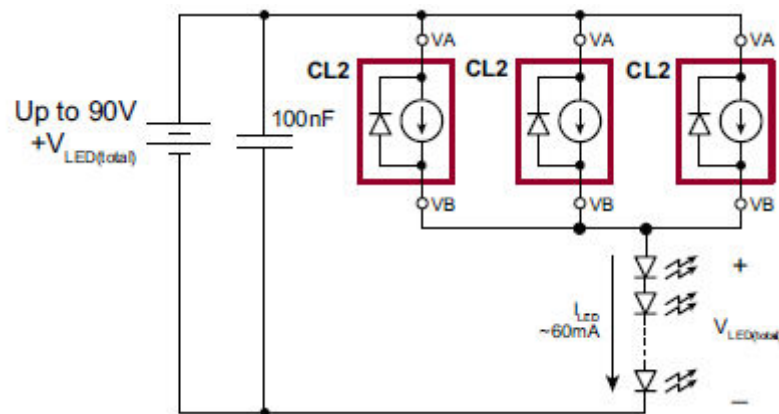


Ilustración 74 Circuito con varios CL2N3-G en paralelo

5-LISTADO DE MATERIAL

El material necesario para esta práctica es:

- 3 CL2N3-G
- 1 condensador de 100 nF
- Led de anteriores prácticas a determinar por el alumno

6- METODO OPERATIVO

Consiste en el montaje en una placa board a partir de lo visto anteriormente, de los siguientes apartados:

- a) Alimentación de 6 led en serie con una $I_F = 20 \text{ mA}$.
- b) Construcción de circuito con 3 ramas independientes de un led cada una con $I_F = 20 \text{ mA}$, los led deben ser distintos.
- c) Construcción de un circuito para obtener una corriente de salida de 30 mA y alimentar con ella a 6 led.

Realizar para cada caso, un barrido de la tensión de entrada, midiendo la corriente que circula por los led. Este barrido se realizara hasta un valor suficiente para ver que se mantiene constante la corriente.

Los led utilizado serán de libre elección por el alumno, entre los utilizados en prácticas anteriores, para que cumpla con las especificaciones exigidas.

7-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Con que tensión de entrada se obtienen los 20 mA? Exponer fórmula y explicarla.

-¿El circuito integrado utilizado, cumple con lo solicitado?



UNIVERSIDAD DE JAÉN

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA



Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil

Fuente de corriente constante con ajuste de corriente

Grupo:

Nombre :

Práctica 6: Fuente de corriente constante con ajuste de corriente

1-INTRODUCCIÓN

En la práctica anterior, se ha visto cómo conseguir una corriente constante de 20 mA o múltiplo de ella con un circuito integrado, aunque existe integrados de una gran variedad de corrientes de salida. En esta práctica se va a utilizar un circuito integrado, en el cual se puede ajustar la corriente de salida a unas especificaciones concretas, este circuito es el LM317.

2-OBJETO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica, es conocer una fuente de corriente constante, con ajuste de corriente para su utilización con led.

3-DESCRIPCIÓN BÁSICA

El circuito es muy sencillo, ya que solo se necesita una fuente de tensión, el circuito integrado, una resistencia que proporciona la corriente deseada y los led que se quieren iluminar.

El circuito integrado se puede encontrar hasta en 5 tipos de encapsulado diferente, como se puede observar en la imagen, en este caso se va a utilizar el KCS (TO-220), para su inserción en una placa board.

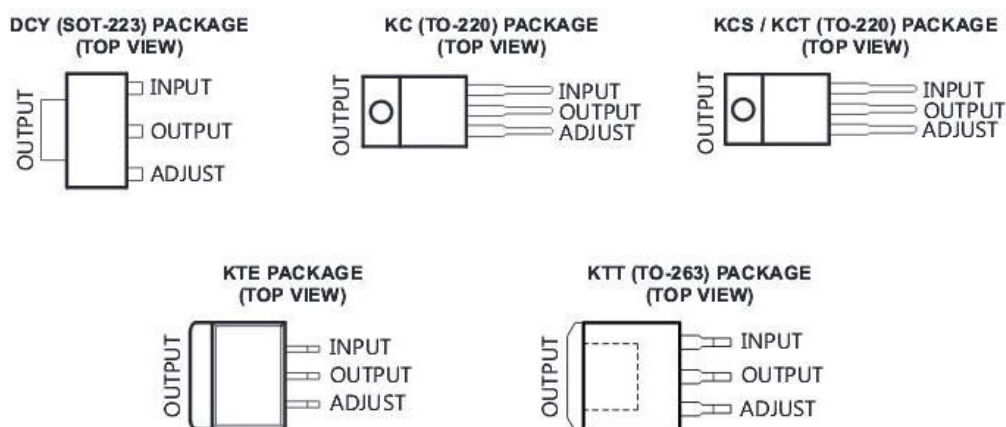


Ilustración 75 Tipos de encapsulado para el LM 317

4-FUNCIONAMIENTO

Para limitar la corriente lo único que se tiene que hacer es calcular R_1 , esto se hace con la tensión de referencia del dispositivo, $V_{ref}=1,25$, aplicando la fórmula:

$$R = V_{ref} / I \quad (P6.1)$$

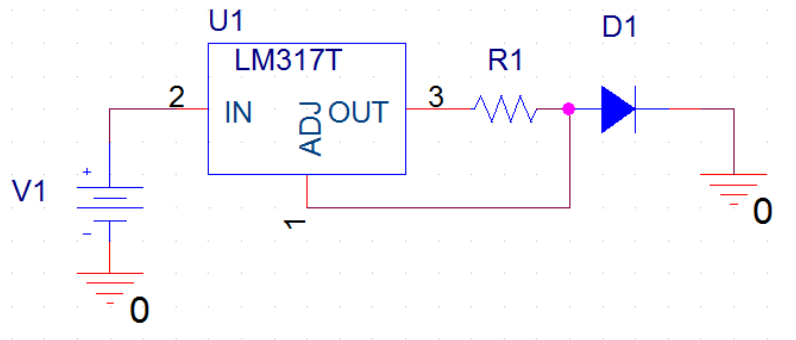


Ilustración 76 Circuito limitador de corriente para led con LM317

5-LISTADO DE MATERIAL

El material necesario para esta práctica es:

- 1 LM 317
- 4 led SOLID STATE LAMP Super Bright Red de KingBright
- 1 Resistencia a calcular

6-CÁLCULOS PRÉVIOS

Calcular con lo anteriormente visto, la resistencia necesaria para el correcto funcionamiento del led proporcionado.

7-SIMULACIÓN

Se pide, simular el circuito de la Ilustración 76, en Pspice para los valores calculados anteriormente, realizar un barrido de la tensión de entrada, mostrando la tensión y la corriente por el led, desde 0 V hasta que se mantengan constantes los valores. Volver a realizar la simulación, pero con 4 led.

8- METODO OPERATIVO

Consiste en el montaje en una placa board del circuito de la Ilustración 76 con los componentes calculados anteriormente. Una vez realizado esto, realizar un barrido de la tensión de entrada, mostrando la tensión y la corriente por el led, desde 0 V hasta que se mantengan constantes los valores. Volver a realizar la simulación, pero con 4 led.

9-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

- ¿Al aumentar el número de led, que sucede?**
- ¿Se puede colocar algún elemento en el circuito para conseguir una fuente de corriente regulable sin tener que sustituir la resistencia?**
- ¿Cuántos led en serie se podrían poner como máximo a la salida?**
- Ventajas y desventajas del LM317 frente al CL2N3-G**



UNIVERSIDAD DE JAÉN

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA



Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil

Control de iluminación PWM

Grupo:

Nombre :

Práctica 7: Driver conmutado PWM

1-INTRODUCCIÓN

En ocasiones, se dispone de una serie de led, pero la luminosidad que estos generan, no se ajusta a las especificaciones que se desean, si no que se necesita menos luminosidad, para estos casos vamos a presentar en esta práctica la construcción de un driver PWM (modulación por ancho de pulso), con el cual se puede ajustar la luminosidad de los led, a las necesidades requeridas. La luminosidad se ajusta con el ancho del pulso y con la frecuencia que este se genera. La frecuencia debe ser tal, que se perciba por el ojo humano como luminosidad continua, ya que si es demasiado baja la frecuencia, se percibe como un led parpadeando. Como se muestra a continuación.

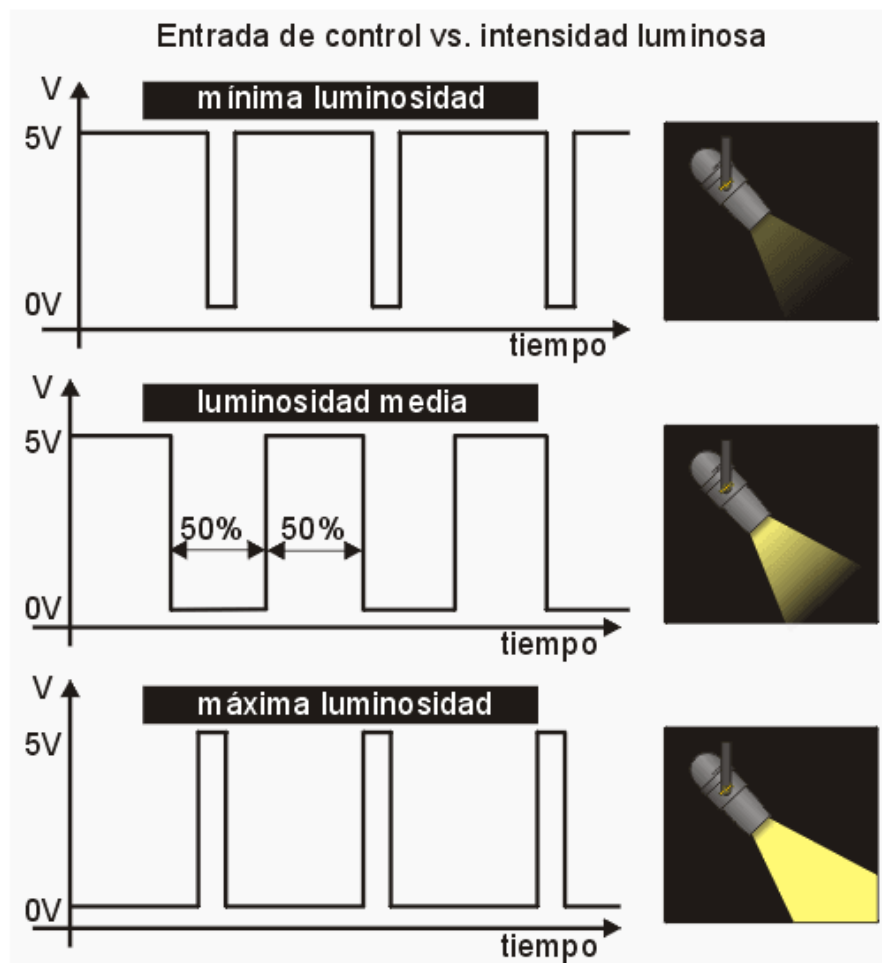


Ilustración 77 Luminosidad de un foco con modulación PWM

2-OBJETO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica, es conocer el uso de PWM en la iluminación led, para conseguir la señal PWM, primero se usará un generador de funciones y en una segunda parte, se usará un circuito compuesto por un temporizador 555.

3-DESCRIPCIÓN BÁSICA

La práctica se compone de dos partes, las dos partes tienen en común el circuito mostrado en la siguiente ilustración.

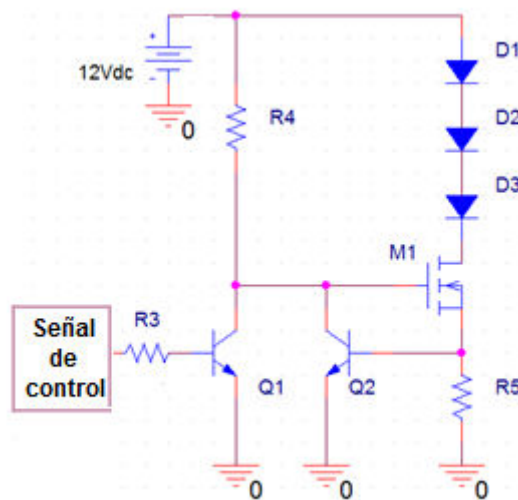


Ilustración 78 Circuito de control de corriente para led con PWM

La única variación que existe es que en la primera parte se utilizará como señal de control un generador de funciones, mientras que en la segunda se utilizará un temporizador 555.

El circuito está constituido por una fuente de alimentación conectada a la resistencia R_4 y al ánodo de los led. El cátodo de los led se conecta a la patilla drenador del transistor mosfet M_1 . La patilla de puerta de M_1 , se conecta con el colector de Q_2 , con el colector de Q_1 y con R_4 . El surtidor de M_1 , es conectado con la base de Q_2 y con R_5 , que es conectada a tierra. Los emisores tanto de Q_1 como de Q_2 son conectados a tierra, mientras que la señal de control se conecta a R_3 que a su vez se conecta con la base de Q_1 .

4-FUNCIONAMIENTO

El circuito regula la corriente que circula por los led, gracias al transistor M_1 y a un sensor de corriente compuesto por el transistor Q_2 y por la resistencia R_5 conectada a la base de Q_2 y a tierra. Al encender el circuito, el transistor Q_2 , no trabaja y la puerta del mosfet, recibe una tensión a través de la resistencia R_4 , que lo hace conducir. Esto provoca que se iluminen los led y produce una caída de tensión sobre la resistencia R_5 , que está en serie con los led. Si aumenta la corriente, la caída de tensión en R_5 aumenta, superando la tensión V_{BE} del transistor Q_2 . Lo que hace que este comience a conducir, disminuyendo la tensión de puerta de M_1 , lo que provoca que disminuya la corriente por el led. Cuando la señal de control está activa, comienza a conducir el transistor Q_1 , desviando a tierra la tensión de alimentación, lo que provoca que los led se apaguen y cuando está desactivada, el transistor Q_1 , no conduce, lo que hace que los led se enciendan[33].

5-LISTADO DE MATERIAL

El material necesario para esta práctica es:

- 1 Circuito integrado 555
- 1 Mosfet IRF540
- 2 BJT BC547A
- 3 Diodos led PM2B-1LWE
- 5 Resistencias a calcular
- 2 Condensadores a calcular
- 1 Diodo D1N4148

6-DISEÑO

Se va a comenzar calculando la fuente de tensión, la cual alimentará tanto a los 3 led como al circuito integrado, en la segunda parte, para esto será como mínimo de:

$$V_{cc}=n V_D \quad (P7.1)$$

Acto seguido se fija la resistencia $R_4=4,7\text{ K}\Omega$, la cual servirá de protección al led, después se calcula R_5 , obteniendo la intensidad de los diodos led de sus hojas de características, nos quedará:

$$R_5 = \frac{V_{BE(ON)}}{I_F} \quad (P7.2)$$

Se fija $R_3 = 100\Omega$.

Para calcular el ciclo de trabajo, se utiliza la fórmula:

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (P7.3)$$

Siendo t_{on} el tiempo de encendido y T el periodo.

Hasta aquí, es común para las dos partes.

-Generador de funciones:

Para la primera parte, se generará una señal de 300 Hz cuadrada con $V_p=12\text{ V}$ y se variará el ciclo de trabajo para variar la luminosidad.

-Circuito con 555:

Para la segunda parte, se tendrán las siguientes consideraciones:

El condensador C_2 está conectado a la patilla de control, la cual hace la función de eliminar posible ruido, el fabricante facilita un valor de 10 nF para este condensador.

Para poder regular el ciclo de trabajo, R_2 , será un potenciómetro, para el cual calcularemos el valor máximo.

Se desea que el sistema trabaje a una frecuencia de 300 Hz, la cual produce un parpadeo suficiente alto para la atenuación que se desea y no causa fatiga en la vista, por lo tanto tendrá un periodo de $T = 3,3\text{ ms}$, esto lo conseguimos con:

$$T = t_l + t_h \quad (P7.4)$$

Para poder conservar la frecuencia a 300Hz, deberíamos variar R_1 y R_2 a la vez, y en este caso no va a ser así, se va a fijar R_1 .

Siendo:

$$t_h = (R_1 + R_2)C \ln 2 \quad (P7.5)$$

$$t_l = (R_2)C \ln 2 \quad (P7.6)$$

Siendo t_l el tiempo que está la salida del 555 en estado bajo y t_h el tiempo que está en alto. Calcular con los datos proporcionados el valor de C , R_1 y el valor máximo para R_2 .

7-CÁLCULOS PRÉVIOS

Calcular con lo expuesto anteriormente, todo lo necesario para el montaje del circuito.

8-SIMULACIÓN

Se pide, simular el circuito de la Ilustración 79 en Pspice para los valores calculados anteriormente. Para 3 valores del ciclo de trabajo de V_2 , siendo estos con iluminación mínima, iluminación máxima y ciclo de trabajo 0,5, mostrar la corriente instantánea, la corriente media y la caída de tensión por los led para cada apartado.

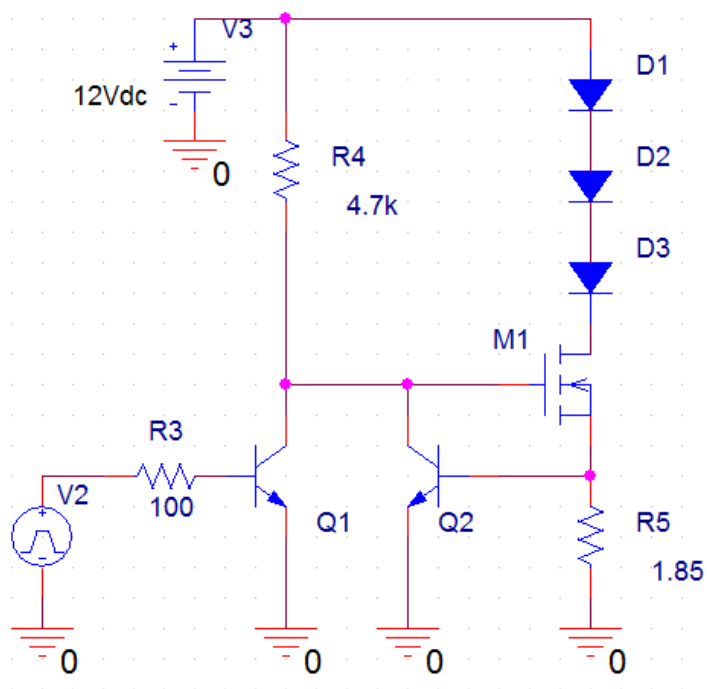


Ilustración 79 Circuito de control de corriente para led con generador de funciones

A continuación, simular el circuito de la Ilustración 80 en Pspice para los valores calculados anteriormente. Para 3 valores de R_2 , siendo estos con iluminación mínima, iluminación máxima y ciclo de trabajo 0,5, mostrar la corriente instantánea, la corriente media y la caída de tensión por los led para cada apartado.

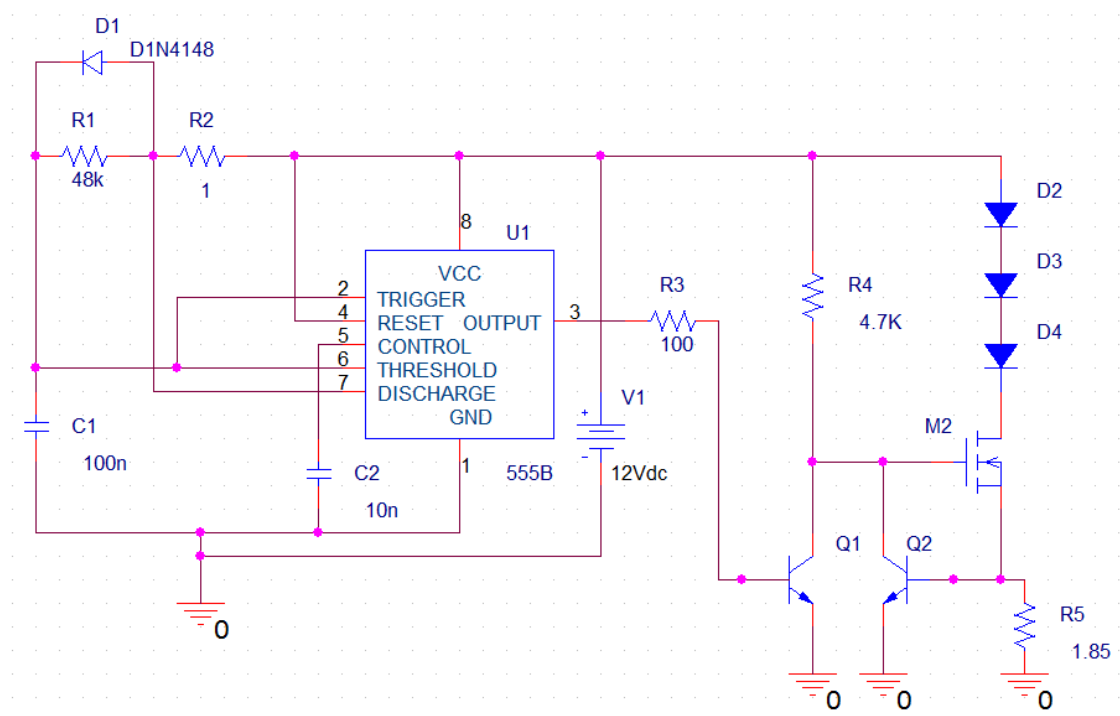


Ilustración 80 Circuito de control de corriente para led con 555

9- METODO OPERATIVO

Consiste en el montaje en una placa board de los circuitos de las Ilustraciones 79 y 80 con los componentes calculados, mostrar en el osciloscopio la caída de tensión por los led para 3 medidas como en el apartado de simulación.

10-RESULTADOS FINALES

Una vez terminada la práctica, se rellenará la siguiente tabla con los valores pedidos, hay que realizar una tabla para cada medida.

-Para el generador de funciones:

	Teórico	Simulado	Experimental
$V_{\max}(V)$			
$I_{\text{med}}(mA)$			
$T_{\text{on}}(ms)$			
$T_{\text{off}}(ms)$			

Tabla 11 Datos obtenidos para D

-Para el 555:

	Teórico	Simulado	Experimental
$R_2(\Omega)$			
$V_{\max}(V)$			
$I_{\text{med}}(mA)$			
$T_{\text{on}}(ms)$			
$T_{\text{off}}(ms)$			

Tabla 12 Datos obtenidos para R_2

11-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Si la salida del generador está en alto, como está el led?

-¿Si se disminuye la frecuencia, que sucede?

-Si se disminuye la corriente por el led, también disminuye la luminosidad,
¿Por qué utilizar entonces la modulación PWM?

ANEXO 2: MONTAJES ESPERIMENTALES CON CARÁCTER DIDACTICO (manual del profesor)

ANEXO 2: MONTAJES EXPERIMENTALES CON CARÁCTER DIDÁCTICO RESUELTOS (manual del profesor)

En este apartado, se resolverán los casos prácticos expuestos en el capítulo 10, servirá como manual para el profesor y es una orientación, ya que en algunos casos las respuestas pueden ser varias.

Otro apunte a aclarar, es que para la resolución de algunos casos, se han usado diodos led SMD, en cambio, para facilitar el uso por parte del alumnado, para que ellos realicen las prácticas, se van a optar por led DIP, estos se han buscado para que sean lo más similares a los expuestos aquí.

Para mejor seguimiento, solo se expondrán los resultados y posibles aclaraciones a continuación.

Práctica 1: Definiciones de conceptos del led

4-CUESTIONES

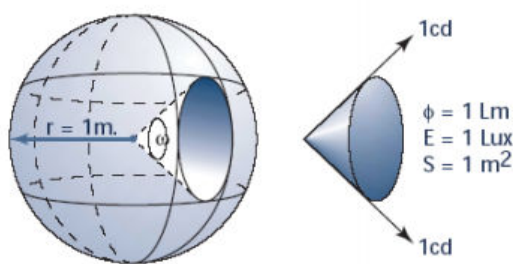
Defina los siguientes conceptos:

-Flujo luminoso Φ : también definido como potencia luminosa, es la cantidad de luz que emite una fuente lumínica en un segundo y en todas las direcciones, se mide en lumen (lm).

-Intensidad luminosa: es el flujo luminoso emitido en una dirección, se mide en candelas (cd)

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (\text{PR1.1})$$

Siendo ω un ángulo cónico, esto es un ángulo tridimensional formado en el vértice de un cono, se mide en estereorradianes.



$$\omega \text{ (total)} = 4\pi \text{ estereorradianes}$$

Ilustración 81 Ángulo ω 

Ilustración 82 Diferencia entre flujo luminoso e intensidad luminosa

-Eficacia luminosa: como toda la energía eléctrica que consume una lámpara no se transforma en luz visible, porque una parte se pierde en forma de calor o en radiación no visible, la eficiencia es el flujo que se emite por cada unidad de potencia eléctrica y se mide en lumen partido watio (lm/w)

$$\eta, \varepsilon = \frac{\phi}{w} \quad (\text{PR1.2})$$

-Temperatura de color: es una expresión utilizada para indicar el color de una fuente de luz, se realiza comparándolo con el color de un cuerpo negro, se supone que este cuerpo es perfecto y según aumenta su temperatura cambia su color.

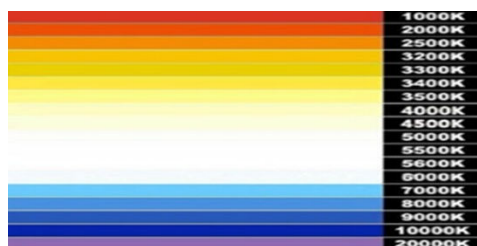


Ilustración 83 Temperatura de color del led.

-Rendimiento de color: esta medida nos da la calidad con la que una lámpara reproduce el color, se mide con el índice de rendimiento de color (IRC)

Índice de reproducción cromático (IRC)	Nivel de reproducción cromático
De 85 a 100	Excelente
De 70 a 84	Bueno
De 40 a 69	Aceptable
Menor de 40	Limitado

Tabla 13 Nivel de reproducción cromático con respecto IRC para el led

-Uniformidad de color: esto quiere decir que todos los led de una lente, durante su vida útil van a estar dentro de una tolerancia aceptable en cuanto a la desviación de color, para determinar esto se utilizan la eclipse de MacAdam y se siguen los pasos del SDCM (Standard Deviation of Colour Matching), también definido como desviación estándar de correspondencia de colores. Dependiendo del color, las elipses son de distinto tamaño, esto se debe a que el ojo humano es más sensible a unos colores que a otros.

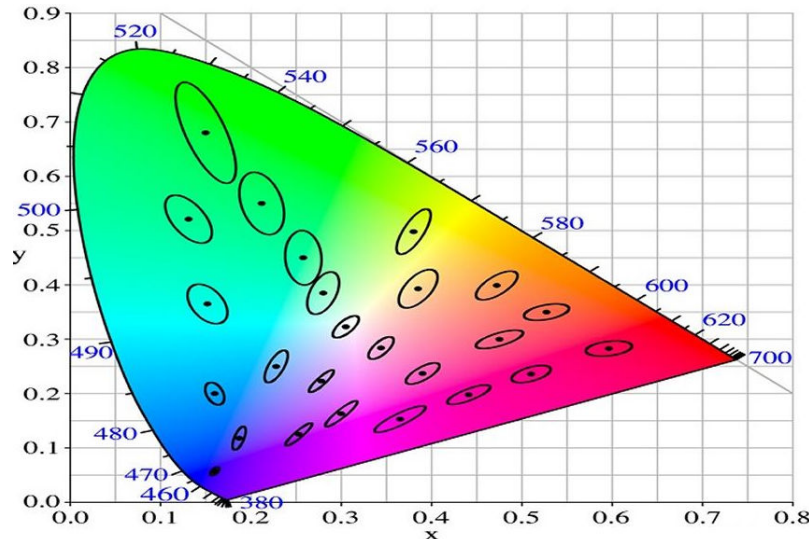


Ilustración 84 Elipse de MacAdam

-Proceso Binning: ya que el proceso de producción de led es muy complejo, es imposible obtener dos con todas las características iguales. Por tanto, el Binning es un proceso de selección por el cual se clasifican los led en distintos tipos y lotes, así aseguramos que no hay variaciones entre los led de un mismo Bin o categoría dentro de unas tolerancias.

Por ejemplo el led LR T677F de Osram, tiene las siguientes clasificaciones:

Brightness Groups

Group	Luminous Intensity ¹⁾ $I_F = 20 \text{ mA}$ min. I_v	Luminous Intensity. ¹⁾ $I_F = 20 \text{ mA}$ max. I_v	Luminous Flux ²⁾ $I_F = 20 \text{ mA}$ typ. Φ_v
U1	450 mcd	560 mcd	1520 mlm
U2	560 mcd	710 mcd	1910 mlm
V1	710 mcd	900 mcd	2420 mlm
V2	900 mcd	1120 mcd	3030 mlm
AA	1120 mcd	1400 mcd	3780 mlm

Forward Voltage Groups

Group	Forward Voltage ⁴⁾ $I_F = 20 \text{ mA}$ min. V_F	Forward Voltage ⁴⁾ $I_F = 20 \text{ mA}$ max. V_F
3A	1.90 V	2.05 V
3B	2.05 V	2.20 V
4A	2.20 V	2.35 V
4B	2.35 V	2.50 V

Group Name on Label

Example: AA-1-3A

Brightness	Wavelength	Forward Voltage
AA	1	3A

Ilustración 85 Clasificación para el led LR T677F de Osram

Ahora vamos a definir las unidades utilizadas en la iluminación led:

-Lumen (lm): se denomina así a la unidad del flujo lumínico. Describiendo la luz que es proyectada desde una fuente luminosa, pero no como se distribuye esta.

-Candela (cd): se denomina a la unidad que determina la potencia de la emisión luminosa que emite una fuente lumínica en una determinada dirección.

-Lux (lx): se denomina así a la unidad de intensidad luminosa, este nos indica la cantidad de luz que llega a una superficie determinada desde la fuente lumínica. Al

contrario que el lumen y la candela, el lux se trata de una medida de percepción, es decir, cuanta luz llega a un punto determinado[34][35].

Ahora una vez definidos todos los aspectos luminosos del led, se van a buscar varios led comerciales que se pueden utilizar en automoción, para esto hay que buscar la normativa correspondiente.

Para iluminación, es decir para la luz de cruce y carretera, la normativa es: Reglamento nº 113 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE), según el cual se establece, que para la luz de cruce, medido en cd, debe estar en los siguientes límites, Tabla 14 e Ilustración 86:

Existen clases de faros diferentes, los cuales cada uno tiene una geometría distinta, son los: A, B, C, D, E y F. En este caso vamos a elegir clase A.

Punto de ensayo/línea/zona	Coordenadas angulares: grados (*)		Intensidad luminosa requerida en cd
Cualquier punto de la zona 1	0° a 15° U	5° L a 5° R	≤ 320 cd
Cualquier punto de la línea 25L a 25R	1,72° D	5° L a 5° R	$\geq 1\ 100$ cd
Cualquier punto de la línea 12,5L a 12,5R.	3,43° D	5° L a 5° R	≥ 550 cd

(*) Salvo que se indique otra cosa, está permitida una tolerancia de 0,25° independientemente en cada punto de ensayo de la fotometría.

Tabla 14 Requisitos para el haz de cruce para faro clase A

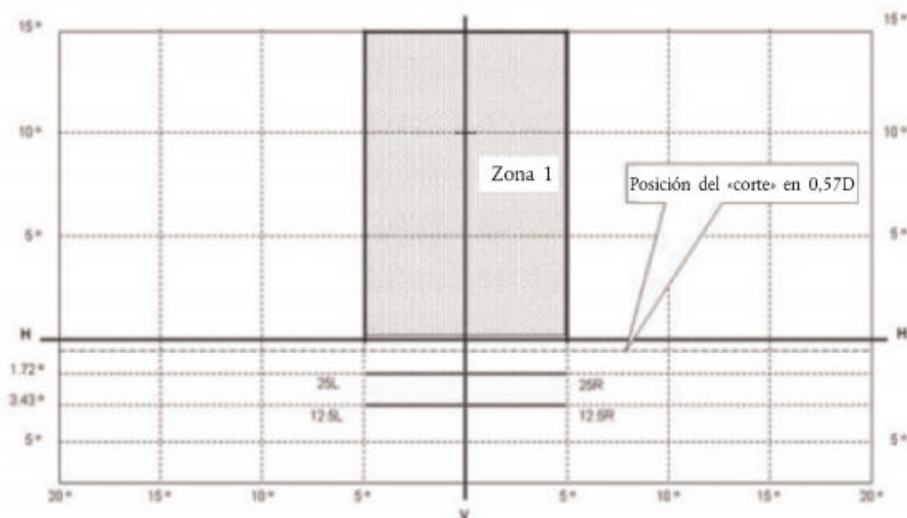


Ilustración 86 Zonas de incidencia para el haz de cruce para faro clase A

Si se coloca el faro, para realizar las pruebas necesarias para su homologación y el haz incide sobre la zona 1, se puede elegir un led que tenga un máximo de 320 cd. Se elige por ejemplo el KW H2L531.TE de Osram, el cual, en su datasheet indica que es específico para faros led y tiene una intensidad luminosa entre 196 y 297 cd, por lo que entra dentro de las especificaciones.



Ilustración 87 Led KW H2L531.TE de Osram

Ahora se van a seleccionar los led para algunas funciones de señalización estas son: luces de posición, tanto delanteras como traseras, luces antiniebla, delanteras y traseras, luces indicadoras de dirección, luces de freno y luz de marcha atrás

El reglamento que regula las luces de posición y de frenado es el Reglamento nº 7 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE), según este se establece que la intensidad de la luz emitida en el eje de referencia por cada uno de los led no debe exceder en la intensidad especificada a continuación:

	Intensidades mínimas cd	Valores máximos en cd cuando se utiliza como	
		Luz única	Luz (única) con el marcado «D» (punto 4.2.2.6)
6.1.1. Luces de posición delanteras (laterales), luz de gálibo delantera	4	140	70
6.1.2. Luces de posición delanteras (laterales) incorporadas en un faro	4	140	—
6.1.3. Luces de posición traseras (laterales), luz de gálibo trasera			
6.1.3.1. R o R1 (constante)	4	17	8,5
6.1.3.2. R2 (variable)	4	42	21
6.1.4. Luces de frenado			
6.1.4.1. S1 (constante)	60	260	130
6.1.4.2. S2 (variable)	60	730	365
6.1.4.3. S3 (constante)	25	110	55
6.1.4.4. S4 (variable)	25	160	80

Tabla 15 Límites de flujo luminoso para luces de posición y freno

Por tanto, para las luces de posición delanteras, que estén incorporadas en un faro, se tiene una intensidad luminosa entre 4 y 140 candelas, se puede elegir por ejemplo el TOP VIEW LED A09K-C71501H-AM de Everlight, el cual es específico para automoción, la luz es de color blanco frío y tiene una intensidad luminosa de 10 cd.

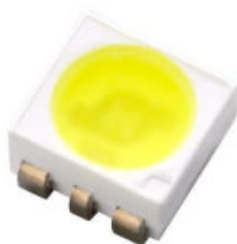


Ilustración 88 TOP VIEW LED A09K-C71501H-AM de Everlight

Para la luz de posición trasera se necesita un led de color rojo, que tenga una intensidad entre 4 y 17 candelas, como ejemplo se puede utilizar el Power SMD LED PLCC-2 Plus de Vishay el cual tiene una intensidad luminosa entre 4,5 y 9 candelas.



Ilustración 89 Power SMD LED PLCC-2 Plus de Vishay

Para la luz de freno, es necesario, un led que proporcione entre 60 y 260 candelas, por tanto elegimos el HFTV1108GS-P-TR de Stanley con una intensidad entre 56 y 140 candelas.



Ilustración 90 HFTV1108GS-P-TR de Stanley

En esta práctica, se ha querido seleccionar una serie de led para un uso específico, como por ejemplo la luz de posición trasera, pero el proceso es mucho más complejo que el que se ha seguido aquí, ya que solo hemos considerado un led, para hacerlo correctamente habría que definir por ejemplo las medidas del faro donde van a ir colocados, la posición, dirección, inclinación que tendrían en este, así como el número de led que se van a colocar, todo ello cumpliendo con los reglamentos antes mencionados. Pero se realiza esta práctica, para que los alumnos vayan familiarizándose con la normativa.

La mayoría de los fabricantes, al entrar en su página, nos dan a elegir, la opción de qué uso se le va a dar al led, para así poder seleccionar unos u otros, un claro ejemplo es la página de Everlight, como se muestra en la siguiente ilustración:

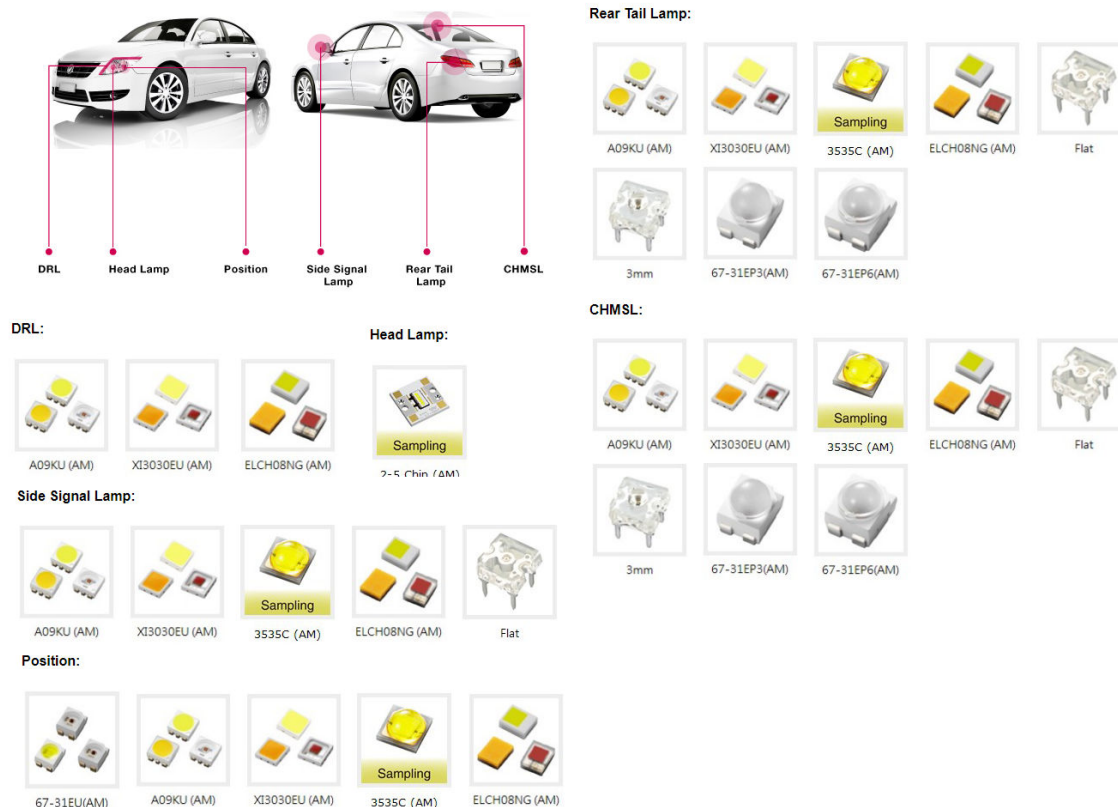


Ilustración 91 Vista de la página web de Everlight

Práctica 2: Caracterización del led.**9-RESULTADOS FINALES**

Para todos los led, obtener los siguientes datos de la hoja de características:

-Aclaración: los led utilizados aquí son SMD y no corresponden con los que van a utilizar los alumnos, por tanto pueden variar algunos datos, los led utilizados son: LB T676 (azul), LT T67C (verde), LG T670(amarillo) y LS T676 (rojo) de Osram.

	Azul	Verde	Amarillo	Rojo
Longitud de onda (nm)	465	528	570	633
Material	GaN	InGaN	GaAsP	AlInGaP
I_F (mA)	20	20	30	30
V_F (V)	3,5	3,5	2,6	2

Tabla 16 Características de los led

-Para el led azul

Tensión Vcc (V)	Tensión led (V)	Tensión R (V)	Corriente teórica (mA)	Corriente medida (mA)	Resistencia medida (Ω)	Potencia led medida(mW)	Potencia R medida (mW)
6,2	3,87	2,12	24	21,10	99,4	81,67	44,73
5,6	3,80	1,78	21	17	99,4	64,60	30,26
3,2	3,16	0,03	0	0,20	99,4	0,63	0,01

Tabla 17 Medidas obtenidas en para el led azul

En la Ilustración siguiente se muestra la luminosidad del led para cada medida:

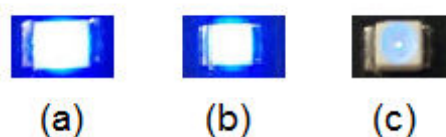


Ilustración 92 Iluminación del led azul (a) Vcc=6,2 V, (b) Vcc=5,6 V, (c) Vcc=3,2 V

-Para el led verde

Tensión Vcc (V)	Tensión led (V)	Tensión R (V)	Corriente teórica (mA)	Corriente medida (mA)	Resistencia medida (Ω)	Potencia led medida (mW)	Potencia R medida (mW)
6	3,60	2,37	22,5	19,68	118	70,84	46,64
5,6	3,52	2,06	20	19,18	118	67,51	39,51
2,1	2,09	1mV	0	0,86	118	1,797	0,01

Tabla 18 Datos obtenidos para el led verde

En la Ilustración siguiente se muestra la luminosidad del led para 6 V y 2,1V

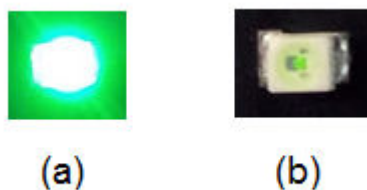


Ilustración 93 Iluminación del le LT T67c (a) Vcc=6 V, (b) Vcc=2,1 V

-Para el led amarillo:

Tensión Vcc (V)	Tensión led (V)	Tensión R (V)	Corriente teórica (mA)	Corriente medida (mA)	Resistencia medida (Ω)	Potencia led medida (mW)	Potencia R medida (mW)
6	2,62	3,37	30	47,6	66	124,71	160,41
4	2,28	1,71	18	24,1	66	54,95	41,21
1,8	1,78	0,02	0,5	0,25	66	0,44	0

Tabla 19 Datos obtenidos para el led amarillo

En la Ilustración siguiente se muestra la luminosidad del led para 6 V y 1,8 V.

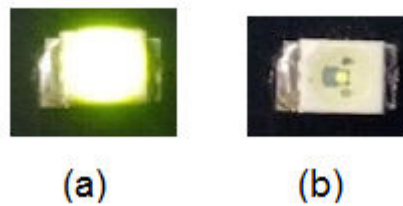


Ilustración 94 Iluminación del led amarillo para (a) $V_{cc}=6\text{ V}$, (b) $V_{cc}=1,8\text{ V}$

-Para el led rojo:

Tensión V_{cc} (V)	Tensión led (V)	Tensión R (V)	Corriente teórica (mA)	Corriente medida (mA)	Resistencia medida (Ω)	Potencia led medida (mW)	Potencia R medida (mW)
6	1,99	3,99	30	59	66	117,41	235,41
4	1,91	2,07	28	29,1	66	55,58	60,24
1,6	1,59	3,5mv	2	0,05	66	0,08	0,00

Tabla 20 Datos obtenidos para led rojo

En la Ilustración siguiente se muestra la luminosidad del led para 6 V y 1,6 V.



Ilustración 95 Iluminación del led rojo para (a) $V_{cc}=6\text{v}$, (b) $V_{cc}=1,6\text{v}$

10-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Corresponde lo medido, I_F y V_F , con lo mostrado por el fabricante en la hoja de características para cada led?

-Para el led azul, se tiene las siguientes gráficas proporcionadas por el fabricante, nuestra curva según el bin corresponde a L2, experimentalmente se han obtenido unos datos para $V_F= 3,87\text{ V}$ de $I_F=21,10\text{ mA}$, que como se puede ver en la gráfica se aproxima bastante, también se observa como la luminosidad disminuye con la intensidad y como a partir de 0,2 mA el led se apaga, aunque el fabricante, es más precavido y a partir de 4 mA, no nos asegura que se ilumine.

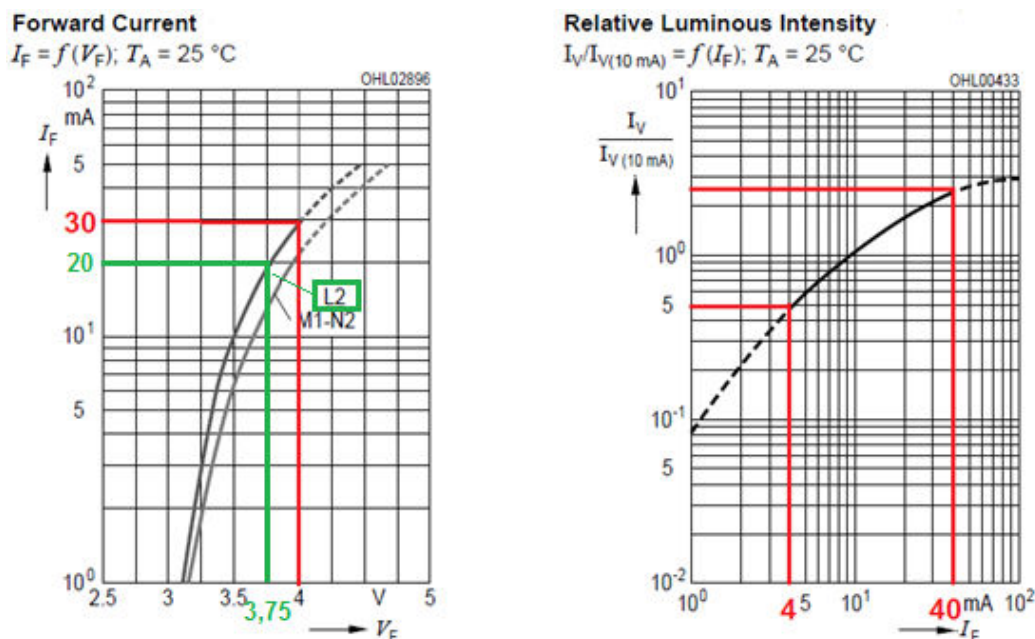


Ilustración 96 Corriente directa e intensidad luminosa relativa para el led azul

-Para el led verde, el fabricante nos proporciona:

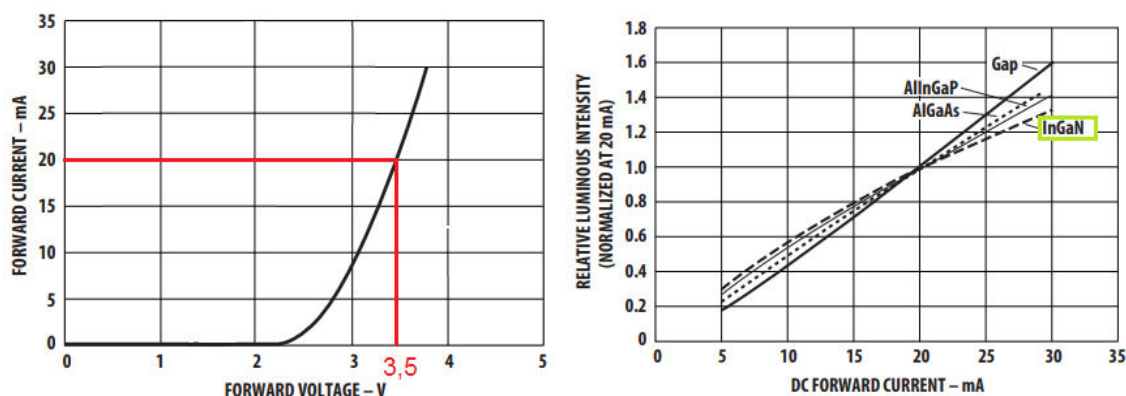
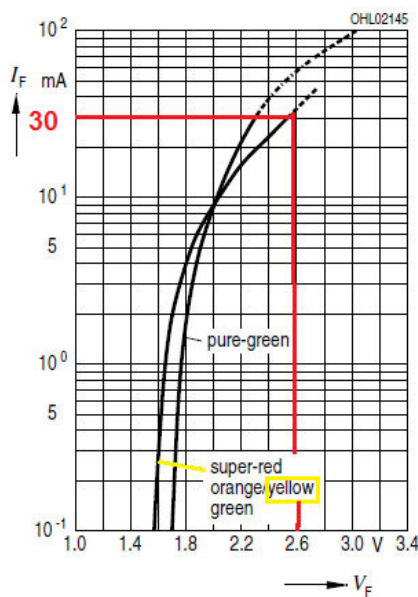
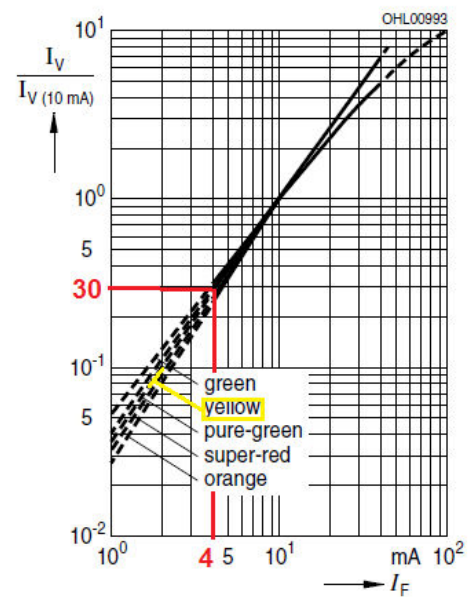


Ilustración 97 Corriente directa e intensidad luminosa relativa para el led verde

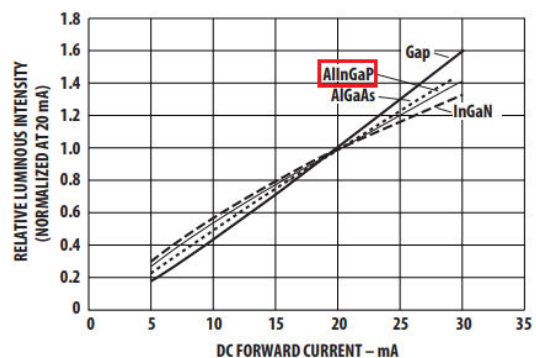
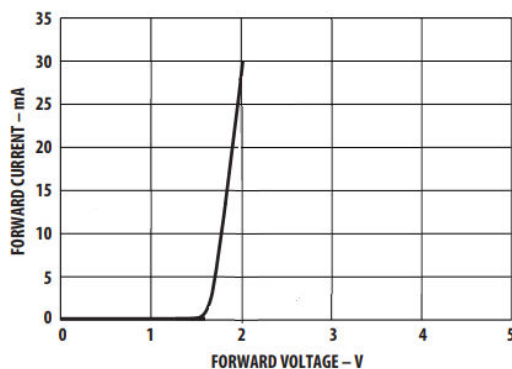
Comparando con los resultados obtenidos en el laboratorio, se observa que para $V_F=3,52\text{ V}$, se tiene $I_F=19,18\text{ mA}$, lo que se asemeja bastante a la gráfica, mientras se observó, que por debajo de $0,86\text{ mA}$, el led dejaba de funcionar, mientras que el fabricante solo proporciona valores de luminosidad a partir de 5 mA .

-Para el led amarillo, el fabricante nos proporciona:

Forward Current
 $I_F = f(V_F); T_S = 25^\circ\text{C}$ **Relative Luminous Intensity**
 $I_V/I_V(10\text{ mA}) = f(I_F); T_S = 25^\circ\text{C}$ **Ilustración 98** Corriente directa e intensidad luminosa relativa para led amarillo

Comparando con los resultados obtenidos en el laboratorio, se observa que para $V_F = 2,62$ V, se tiene $I_F = 30$ mA, lo que se asemeja bastante a la gráfica, mientras se observó, que por debajo de 0,25 mA, el led dejaba de funcionar, mientras que el fabricante solo proporciona valores de luminosidad a partir de 4 mA.

-Para el led rojo, el fabricante nos proporciona:

**Ilustración 99** Corriente directa e intensidad luminosa relativa para led rojo

Comparando con los resultados obtenidos en el laboratorio, se observa que para $V_F = 1,99$ V, se tiene $I_F = 30$ mA, lo que se asemeja bastante a la gráfica, mientras se observó, que por debajo de 0,05 mA, el led dejaba de funcionar, mientras que el fabricante solo proporciona valores de luminosidad a partir de 5 mA.

-¿Afecta de alguna forma la temperatura del led en la luminosidad de este?
Como se muestra en la hoja de características. Según la siguiente gráfica, obtenida de la hoja de características del led azul, conforme aumenta la temperatura de la unión del led, con la PCB, disminuye la intensidad luminosa que proporciona el led.

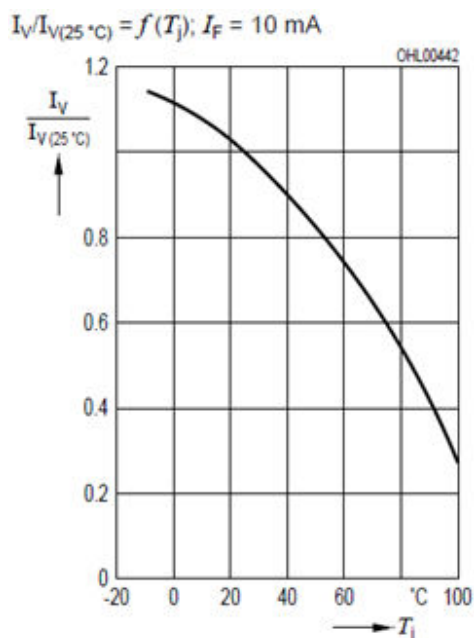


Ilustración 100 Intensidad relativa luminosa con respecto a la temperatura de la unión para el led azul

-Dentro del led azul visto aquí, ¿Todos tienen las mismas características luminosas? Como se muestra en la hoja de características. No debido al complejo proceso de fabricación, es imposible obtener dos led iguales, lo que se realiza es el proceso Binning como se definió en la Práctica 1 y en las hojas de características se representa como:

Brightness Group	Luminous Intensity I_V (mcd)	Luminous Flux Φ_V (lm)
J2	5.6 ... 7.1	19 (typ.)
K1	7.1 ... 9.0	24 (typ.)
K2	9.0 ... 11.2	30 (typ.)
L1	11.2 ... 14.0	40 (typ.)
L2	14.0 ... 18.0	50 (typ.)
M1	18.0 ... 22.4	60 (typ.)
M2	22.4 ... 28.0	75 (typ.)
N1	28.0 ... 35.5	95 (typ.)
N2	35.5 ... 45.0	120 (typ.)

Tabla 21 Grupos de brillo para el led azul

Práctica 3: Regulador de corriente lineal**7-CALCULOS PRÉVIOS**

Como los diodos led seleccionados tienen una $I_F = 30 \text{ mA}$, se tendrán las siguientes resistencias:

$$I_C = I_F \quad I_C = \beta I_B = \frac{30 \text{ mA}}{70} = 0,43 \text{ mA}$$

$$I_E = I_B + I_C = 30,43 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{V_Z - V_{CE}}{I_E} = \frac{12 \text{ V} - 1,1 \text{ V}}{30,43 \text{ mA}} = 358 \Omega$$

$$R_1 = \frac{V_Z - V_{CE}}{I_Z} = \frac{12 \text{ V} - 1,1 \text{ V}}{30 \text{ mA}} = 363 \Omega$$

Como se desean colocar 2 led en el circuito, la tensión de alimentación será:

$$V_{cc} = nV_F + V_Z = 2 \cdot 1,85 + 12 = 15,7 \text{ V}$$

8-SIMULACIÓN

Se pide, simular el circuito de la Ilustración 101 en Pspice para los valores calculados anteriormente, rellenar la Tabla 24 con los datos obtenidos y realizar un barrido en la tensión de entrada desde 5 V a 20 V, mostrando la caída de tensión y la corriente en los led.

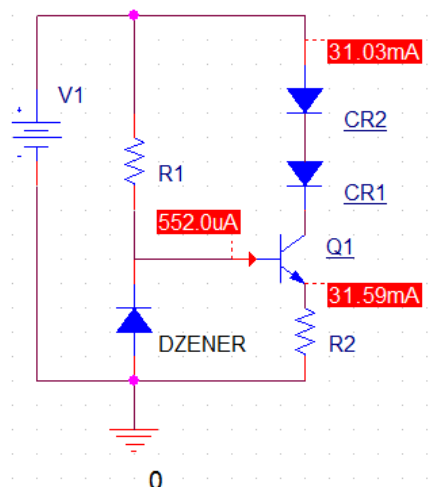


Ilustración 101 Corrientes para $V_{cc}=15,7 \text{ V}$

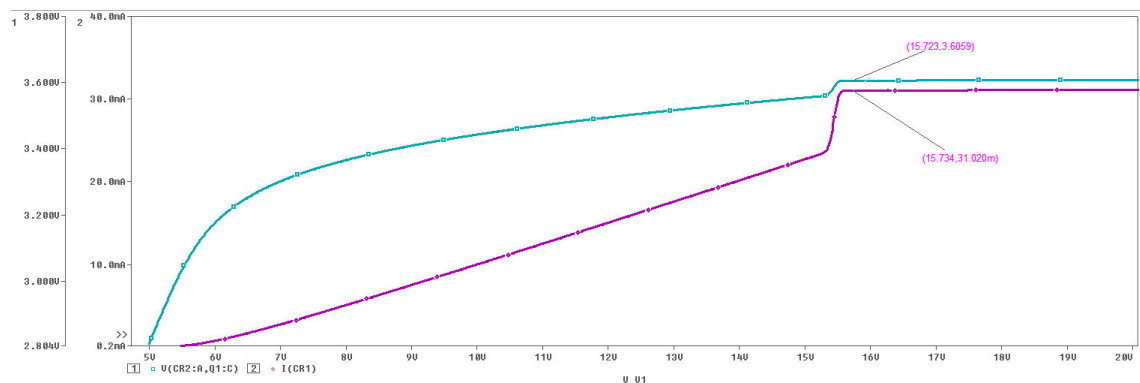


Ilustración 102 Barrido de Vcc desde 5V a 20 V en azul tensión y en morado corriente

Después, realizar el mismo proceso para 4 led y comentar que sucede:

Si se desea aumentar el número de diodos led, se tiene que aumentar la tensión de alimentación mínima, calculada en la ecuación PR3.1, por tanto para 4 diodos, n sería 4 y por tanto $V_{cc} = 19,4$ V.

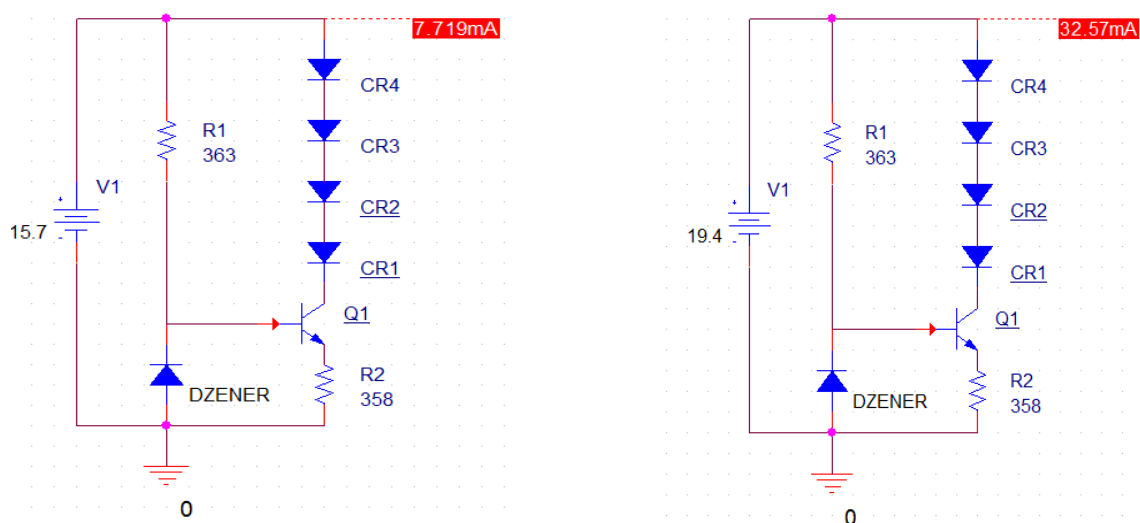


Ilustración 103 Esquema electrónico del circuito simulado por Pspice para 4 leds

Se observa como ahora, los 15,7 V de antes no son suficientes para iluminar los led, ya que se tiene una corriente por los led de 7,19 mA, en cambio con 19,4 V, se puede observar como ya la corriente si es mayor a 30 mA, como se puede observar, en las siguientes gráficas obtenidas por Pspice.

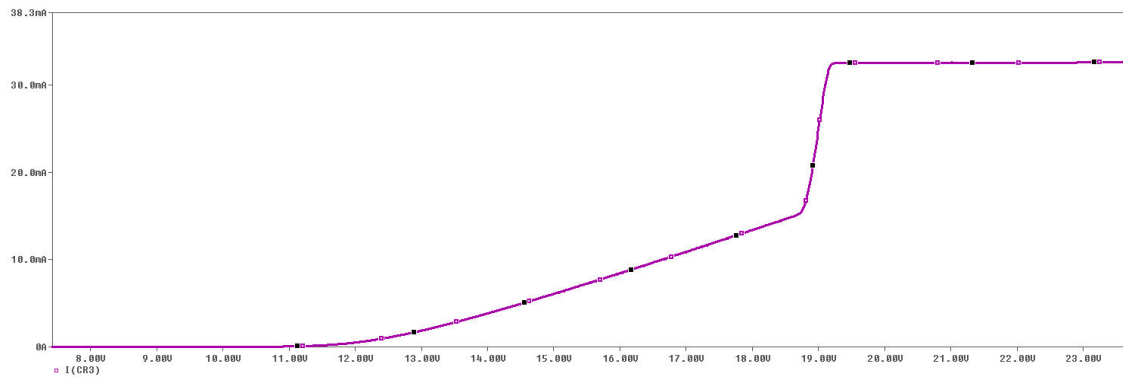


Ilustración 104 Barrido simulado con Pspice de Vcc desde 8 v a 24v mostrando corriente por el led

9- METODO OPERATIVO

Consiste en el montaje en una placa board del circuito con los componentes antes seleccionados.

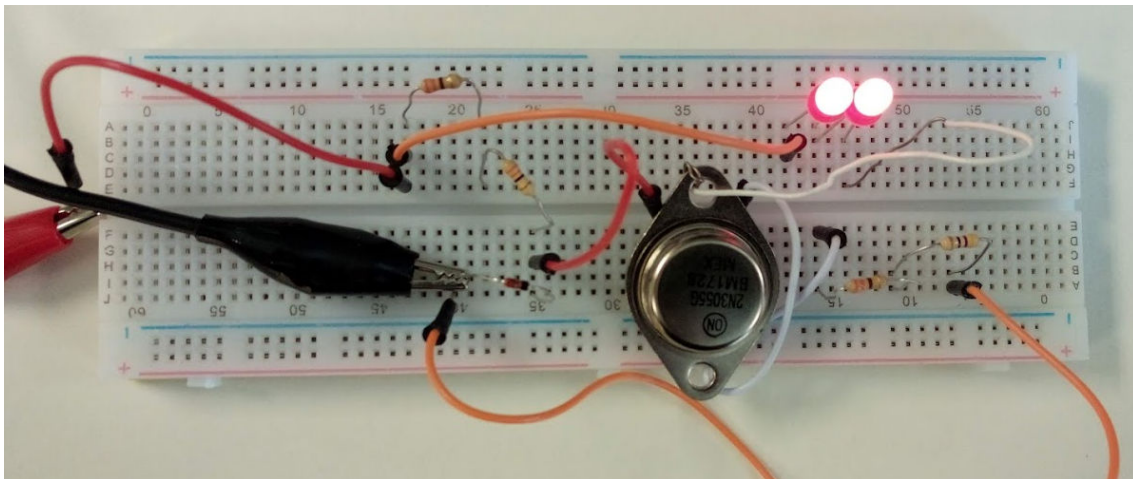


Ilustración 105 Montaje experimental de la práctica

En primer lugar rellenar la Tabla 24, para la tensión calculada.

En segundo lugar rellenar la siguiente tabla con las corrientes obtenidas por el led y mostrar los resultados en una gráfica.

Vcc	Ic (mA)	Vcc	Ic (mA)
5	1,4	15,7	25,2
10	8,13	15,85	28,1
12	12,6	16	30,01
14,2	17,8	16,15	30,8
14,5	18,3	16,3	31,2
14,8	19,1	16,6	31,2
15,1	19,8	17	31,23
15,4	20,5	19	31,52
15,55	22,6	21	31,6

Tabla 22 Barrido de Vcc experimentalmente de 5 a 21V

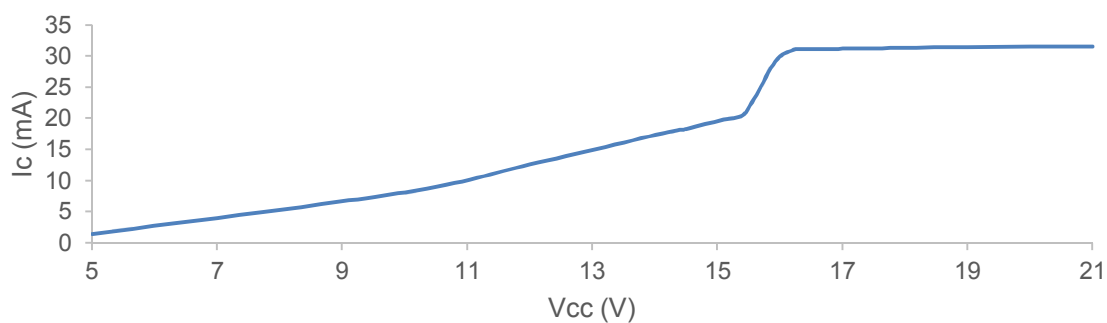


Ilustración 106 Barrido experimental de Vcc desde 5 v a 21v

Después realizar el mismo proceso pero para 4 led.

Vcc (V)	Ic (mA)	Vcc (V)	Ic (mA)
15,7	4,6	20,6	30,6
16	5,24	20,8	31,5
17	7,2	21	31,6
18	9	22	31,7
19,4	17	23	31,8
20	24,1	24	31,8

Tabla 23 Barrido de Vcc experimentalmente de 15,7 a 24V

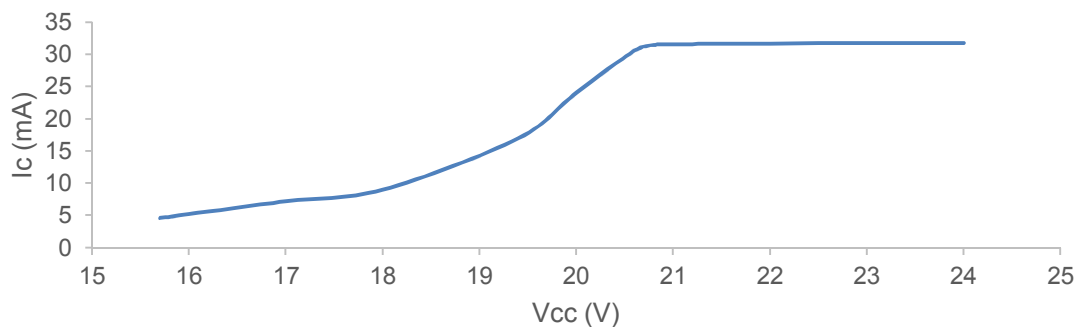


Ilustración 107 Barrido experimental de Vcc desde 15 v a 24v

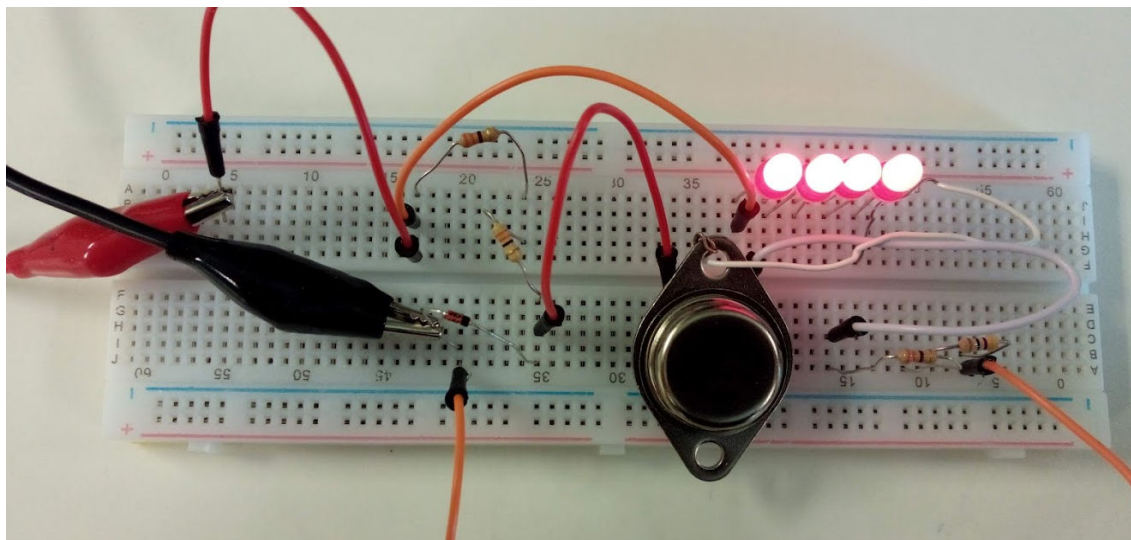


Ilustración 108 Montaje experimental de la práctica para 4 leds

10-RESULTADOS FINALES

Ya acabada la práctica rellenaremos la tabla con los resultados finales para poder comparar los resultados de una forma rápida.

	Calculado	Simulado	Experimental
I_E	30,43 mA	31,59 mA	30,57 mA
I_B	430 μ A	552 μ A	4,3 mA
I_C	30 mA	31,03 mA	25,3 mA
V_{CC}	15,7 V	15,7 V	15,7 V
V_Z	12 V	12 V	12,05 V
V_{cr}	3,7 V	3,7 V	4,24 V
R_1	363 Ω	363 Ω	369 Ω
R_2	358 Ω	358 Ω	355 Ω

Tabla 24 Resultados obtenidos para $V_{CC} = 15,7v$

11-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Circula en algún momento por los led una corriente mayor a I_F ? Como se observa tanto en la simulación, como en el montaje experimental, no, ya que la función del regulador es esa, mantener la corriente en I_F .

-¿Es proporcional la intensidad por los led respecto a la tensión de alimentación? Como se puede observar en las gráficas, hay una parte proporcional de 0 V a 15,2 V aproximadamente, donde la corriente sufre una variación brusca, estabilizándose en 15,7 V a la corriente I_F , donde comienza a mantenerse constante.

-Si se incrementa el número de led, ¿se debe variar la tensión de alimentación? Como se ha observado tanto con la simulación como experimentalmente, sí. Se realiza a partir de la fórmula PR3.1.

Práctica 4: Fuente de corriente constante

7-CALCULOS PRÉVIOS

Comenzamos calculando R_2 , la cual solo depende de la corriente que queremos que circule por el led, que en este caso es igual a I_{C1} , entre la tensión base-emisor del transistor 2, quedando:

$$R_2 = \frac{V_{BE2}}{I_{C1}} = \frac{0,7 \text{ V}}{30 \text{ mA}} = 23,3 \, \Omega \quad (PR4.1)$$

Ahora calculamos R_1 a partir de las propiedades de los transistores, siendo:

$$V_{BE1} = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_s} \quad (PR4.2)$$

Sustituyendo, queda:

$$0,7 \text{ V} = 0,025 \text{ V} \ln \frac{I_{C1}}{10^{-14} \text{ A}} \quad (PR4.3)$$

$$I_{C1} = 14,4 \text{ mA}$$

Ahora, con:

$$I_{c1} = \frac{V_{cc} - 2 V_{BE1}}{R_1 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (PR4.4)$$

Suponiendo una fuente de 5 V, para asegurar el encendido del led, y despejando la ecuación anterior, se tiene:

$$14,4 \text{ mA} = \frac{5V - 2 * 0,7 V}{R_1 \left(1 + \frac{1}{120}\right)}$$

$$R_1 = 247,9 \Omega$$

Ahora si queremos aumentar el número de led, lo único que se tiene que hacer es suministrar una tensión suficiente para alimentar estos led, y volver a calcular R_1 a partir de la ecuación PR4.4.

Por ejemplo para 4 leds, se tiene una tensión mínima de $4 \times 1,8 \text{ V} = 7,2 \text{ V}$, pondremos una fuente de 10 V para asegurar el encendido, y a partir de la ecuación PR4.4 se obtiene una $R_1 = 592,28 \Omega$.

Ahora queremos realizar el circuito con transistores Mosfet en vez de Bipolares, para ello se sustituyen los transistores bipolares por el IRF 540, fijamos la resistencia $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$.

Para calcular la resistencia R_2 , aplicamos la fórmula:

$$I_{led} = \frac{V_{GS}}{R_2} \quad (PR4.5)$$

Teniendo para el transistor IRF 540, $V_{GS} = 3 \text{ V}$ y para el led $I_D = 30 \text{ mA}$, obse tiene $R_2 = 100 \Omega$.

En este caso, como los transistores mosfet son disparados por tensión, al variar el número de led, no se tiene que variar el valor de las resistencias, solo basta con

proporcionar una tensión de alimentación suficiente para alimentar a los led, por ejemplo, para 3 led, servirá una $V_{cc} = 9\text{ V}$.

8-SIMULACIÓN

Se pide, simular los circuitos en Pspice para los valores calculados anteriormente y rellenar las tablas. Repetir el proceso incrementando el número de led.

Los circuitos simulados se muestran en la siguiente imagen:

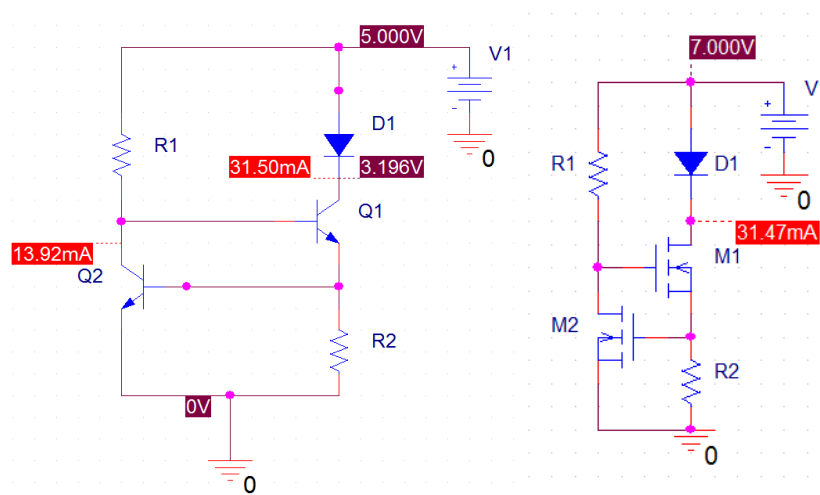


Ilustración 109 Circuitos simulados por Pspice

Ahora simulamos el circuito compuesto con transistores bipolares con 4 diodos led y el circuito de mosfet con 3 diodos led.

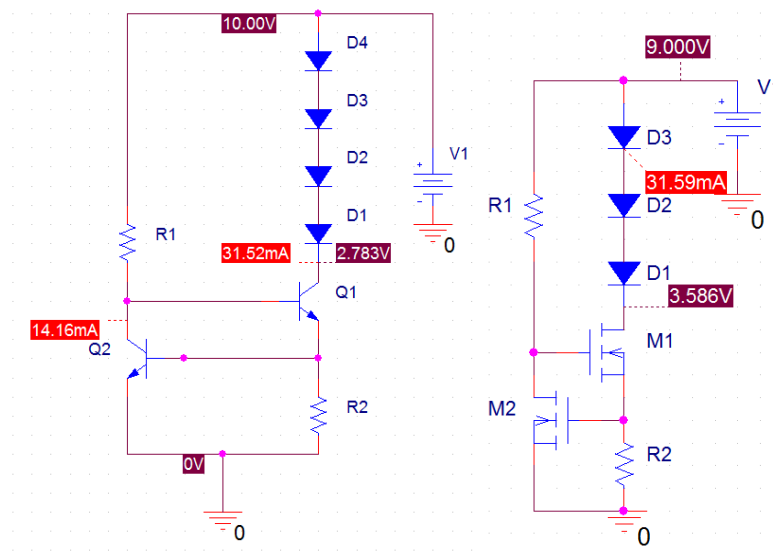


Ilustración 110 Circuitos simulados por Pspice

9- METODO OPERATIVO

Consiste en el montaje en una placa board de los circuitos con los componentes calculados, una vez montados los circuitos, realizar las medidas oportunas y rellenar las tablas para los datos obtenidos.

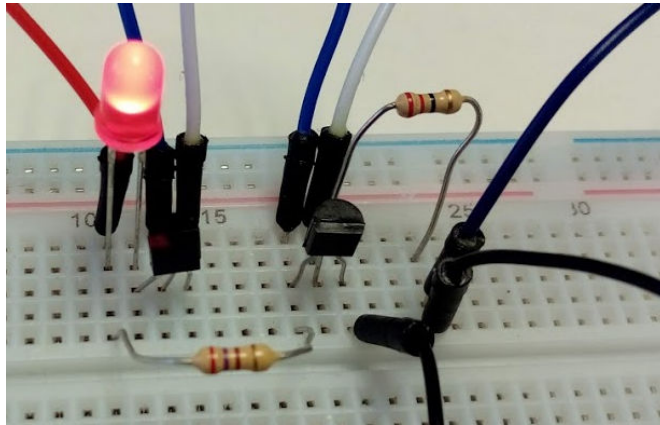


Ilustración 111 Fotografía del montaje en el laboratorio para un led con transistores bipolares

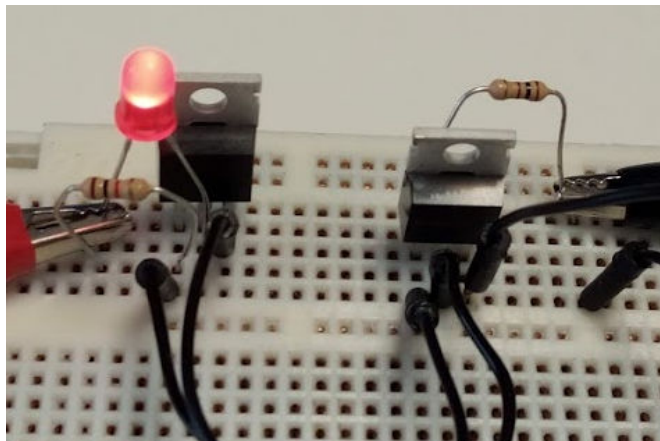


Ilustración 112 Fotografía del montaje en el laboratorio para transistores mosfet

Ahora, realizamos los montajes para el circuito compuesto con transistores bipolares, con 4 diodos led y el circuito de mosfet con 3 diodos led.

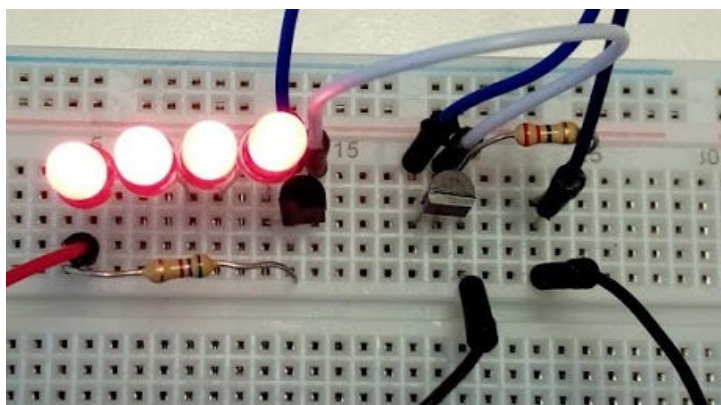


Ilustración 113 Fotografía del montaje en el laboratorio para 4 led

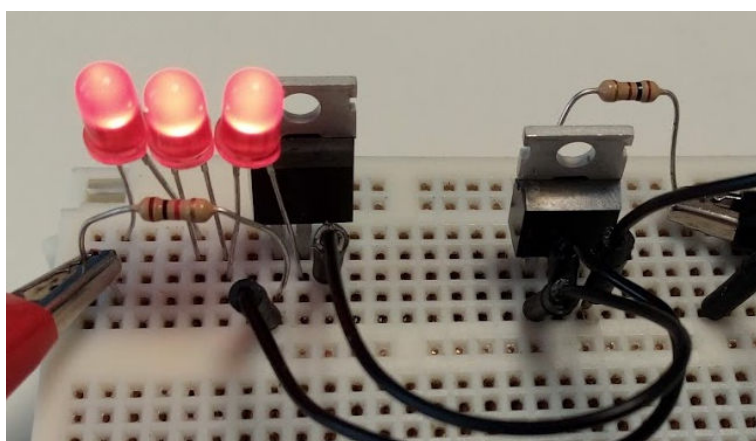


Ilustración 114 Fotografía del montaje en el laboratorio para transistores mosfet

10-RESULTADOS FINALES

Ya acabada la práctica rellenaremos la tabla con los resultados finales para poder comparar los resultados de una forma rápida.

	Calculado	Simulado	Experimental
V_{cc} (V)	5	5	5,1
I_{Led} (mA)	30	31,5	31,62
I_{c2} (mA)	14,4	13,92	13,78
V_{led} (V)	1,8	1,8	2,14
R_1 Ω	247,9	247,9	267,2
R_2 Ω	23,3	23,3	22,14

Tabla 25 Datos obtenidos para el circuito con transistores bipolares

	Calculado	Simulado	Experimental
V_{cc} (V)	7	7	7,11
I_{Led} (mA)	30	31,47	31,77
ΔV_{leds} (V)	1,8	1,8	2,13
R_1 Ω	1K	1K	989
R_2 Ω	100	100	98,73

Tabla 26 Datos obtenidos para transistores mosfet

	Calculado	Simulado	Experimental
V_{cc} (V)	10	10	10,1
I_{Led} (mA)	30	31,52	31,83
I_{c2} (mA)	14,4	14,16	15,6
ΔV_{leds} (V)	7,2	7,22	8,71
$R_1 \Omega$	592,28	592,28	544
$R_2 \Omega$	23,3	23,3	22,14

Tabla 27 Datos obtenidos para 4 led para transistores bipolares

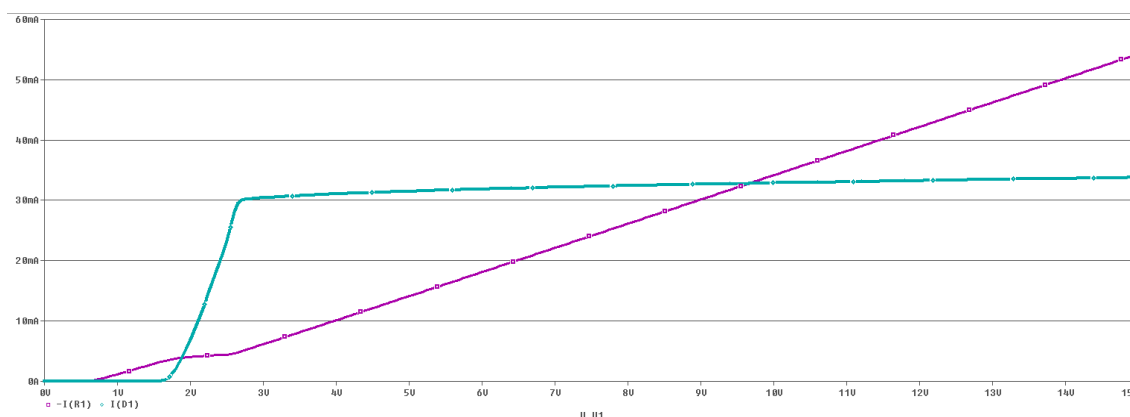
	Calculado	Simulado	Experimental
V_{cc} (V)	9	9	9,4
I_{Led} (mA)	30	31,59	31,46
ΔV_{leds} (V)	5,4	5,39	6,47
$R_1 \Omega$	1K	1K	989
$R_2 \Omega$	100	100	98,73

Tabla 28 Datos obtenidos para 3 led para transistores mosfet

11-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Si sufre variaciones la tensión de entrada, esto se refleja en la luminosidad de led? No, como se ha visto en la explicación, ya que R_1 limita la corriente por la rama de los led, hecho que se ha podido observar tanto en simulación, como en el laboratorio. Para demostrarlo se adjunta un barrido de la tensión de entrada entre 0 V y 15 V para el circuito con transistores bipolares y un diodo led.

Ilustración 115 Simulación de corriente I_{led} para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 15 V

Se tiene en azul la corriente que circula por los led, que como se puede observar, cuando llega al valor de 30 mA, se mantiene prácticamente constante, en cambio la corriente por R_1 , representada en morado, crece con respecto la tensión.

-¿Es igual de aplicable el circuito con transistores bipolares que con mosfet? Los dos se pueden utilizar para el mismo uso, y como se puede observar tanto en simulación como en el laboratorio es que cumplen con las expectativas, ya que lo calculado en teoría es muy similar a los resultados obtenidos. El mosfet tiene la ventaja que al ser disparado en tensión, el cálculo de su circuito es más sencillo.

Práctica 5: Driver lineal en circuito integrado para iluminación led

6- METODO OPERATIVO

Consiste en el montaje en una placa board, a partir de lo visto anteriormente, de los siguientes apartados:

a) Alimentación de 6 led en serie con una $I_F = 20 \text{ mA}$.

Se eligen 6 led TOPLED E1608 de Osram en serie, los cuales tienen una $I_F = 20 \text{ mA}$ y una $V_F = 1 \text{ V}$.

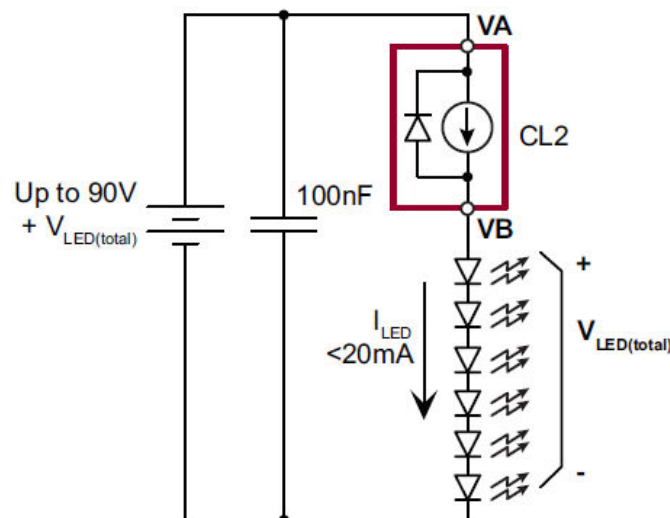


Ilustración 116 Esquema de circuito con CL2 y 6 led

Para este montaje solo necesitaremos un circuito integrado CL2 que será el encargado de proporcionar los 20 mA, una fuente de tensión mínima de 12 V y un condensador de 100 nF para filtrar el posible ruido.

V_{CC}	V_{Led}	I_F
4	3,35	0,1
6	4,62	0,1
8	5,51	3,2
9	5,85	10,4
10	6,12	18,3
10,5	6,15	19,4
11	6,16	19,8
11,5	6,16	20,11
12	6,17	20,22
14	6,17	20,42
16	6,17	20,42
20	6,17	20,42

Tabla 29 Datos obtenidos para 1 CL2 y 6 led

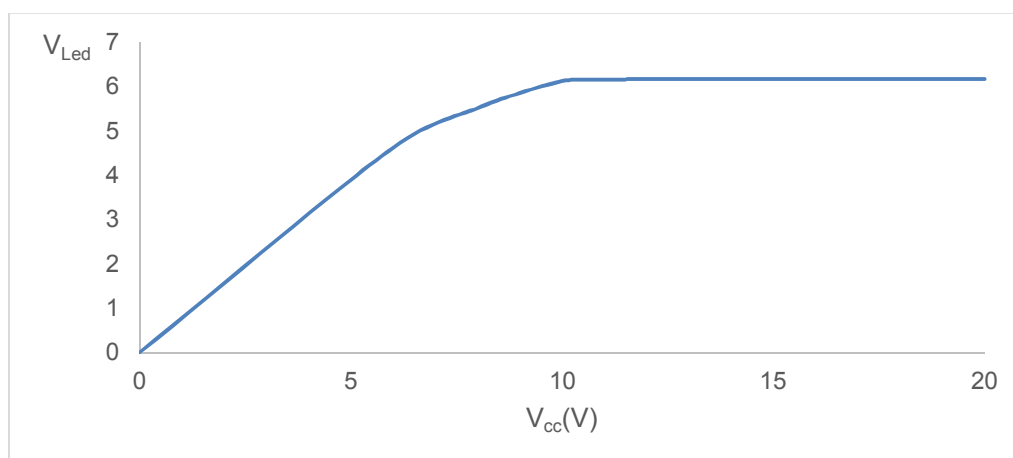


Ilustración 117 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 20 V y tensión en el led

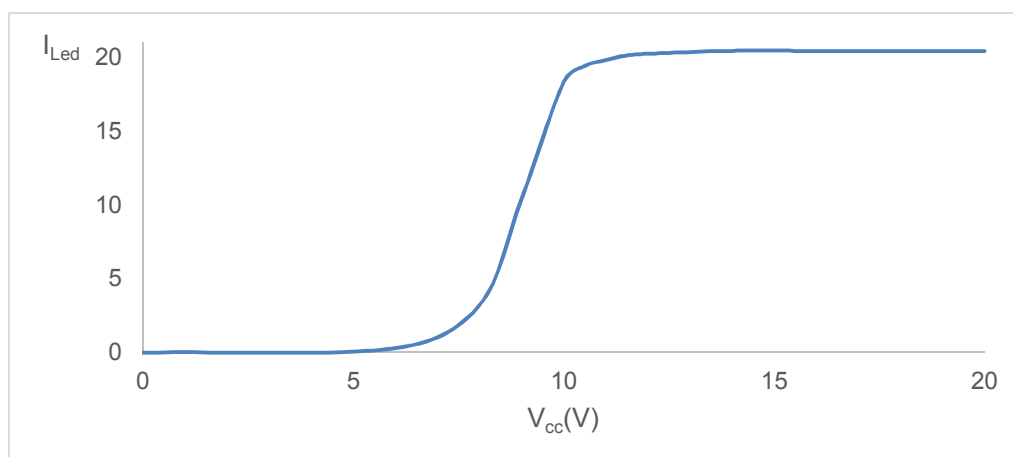


Ilustración 118 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 20 V y corriente en el led

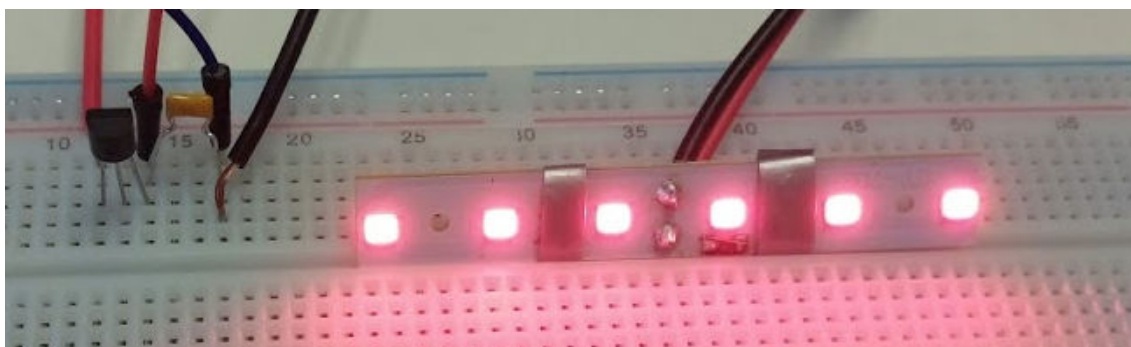


Ilustración 119 Montaje del circuito con CL2 y 6 led

Podemos observar en los barridos de tensión, que el circuito integrado funciona según lo esperado y una vez superada la tensión de alimentación necesaria, suministra la corriente de 20 mA indispensables para iluminar los led.

b) Construcción de circuito con 3 ramas independientes de un led cada una con $I_F = 20 \text{ mA}$, los led deben ser distintos.

Se quiere colocar ahora 3 led distintos en paralelo, todos ellos con $I_F=20\text{mA}$, pondremos el LB T676 ($V_F=3,5\text{V}$), LT T67C ($V_F=3,5\text{V}$) y el LB T67C ($V_F=3,5\text{V}$)

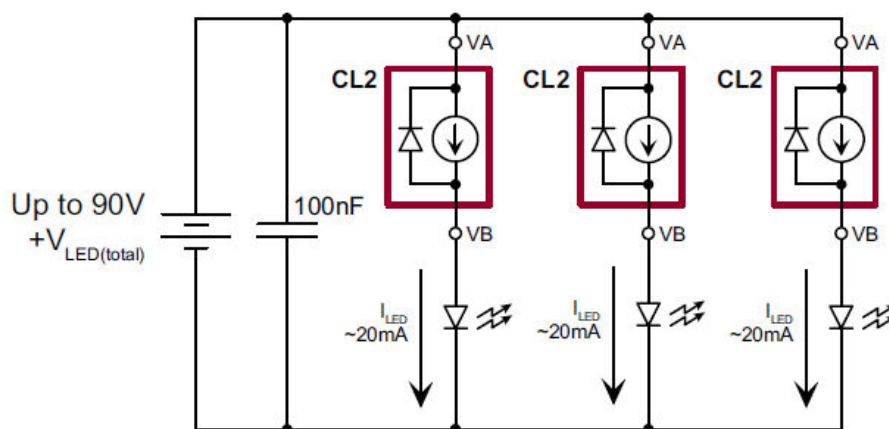


Ilustración 120 Esquema de circuito con 3 CL2 y 3 led

Vcc	LB T67C		LV T67C		LT T67C	
	V _{Led}	I _F	V _{Led}	I _F	V _{Led}	I _F
5	2,6	1,7	2,7	2,23	2,69	2,1
6	2,95	9	3,09	7,6	3,07	7,5
7	3,23	17,8	3,41	14,98	3,4	15,85
8	3,27	19,84	3,54	19,27	3,58	20,15
9	3,28	20,23	3,55	19,63	3,59	20,71
10	3,28	20,38	3,55	19,79	3,59	20,87
16	3,28	20,39	3,55	19,99	3,6	21,11

Tabla 30 Datos obtenidos para 3 CL2 y 3 led

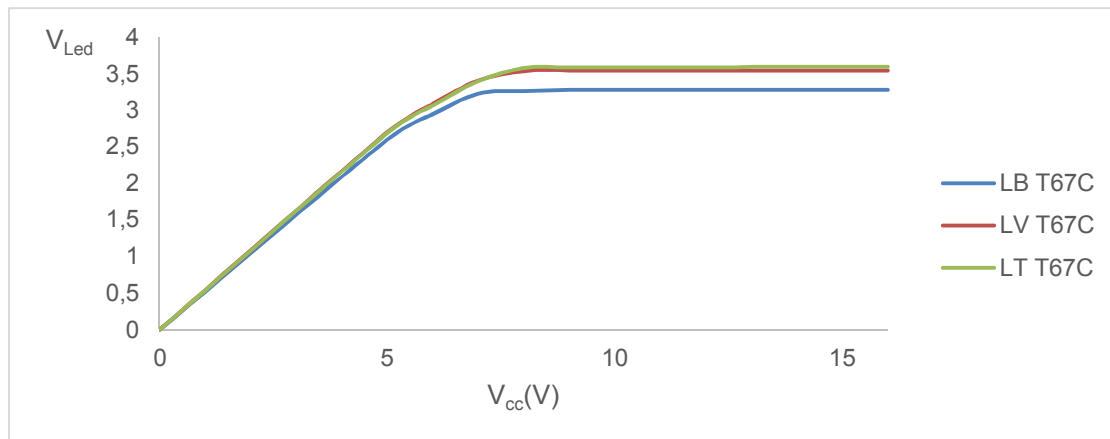


Ilustración 121 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 16 V y tensión en el led

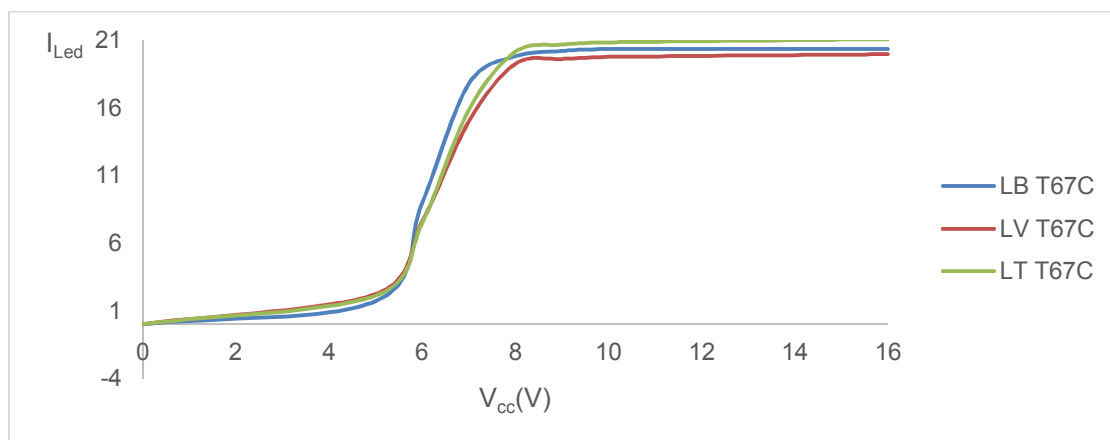


Ilustración 122 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 16 V y corriente en el led

Como se puede observar, al ser los tres led y los 3 circuitos integrados distintos, aunque de características similares, se obtienen distintas corrientes y tensiones por ellos al estar en paralelo, esto se debe a que no son elementos ideales, pero aun así se consigue la intensidad que asegura el fabricante del circuito integrado, que es $20 \pm 10\%$ mA.

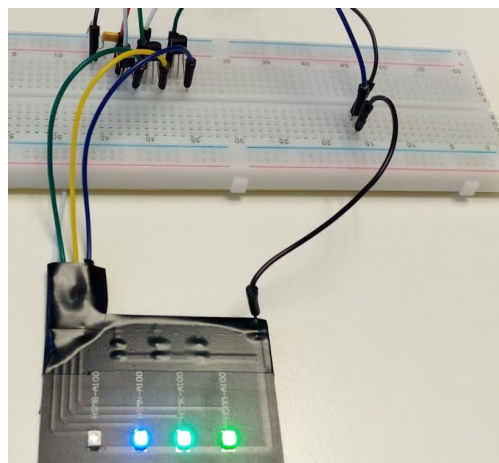


Ilustración 123 Montaje del circuito con 3 CL2 y 3 led

c) Construcción de un circuito para obtener una corriente de salida de 30 mA y alimentar con ella a 6 led.

Como se quieren conseguir 30 mA, primero se conectarán 3 CL2 en paralelo, así se obtienen 60 mA, que a su vez se conectarán a 2 ramas en paralelo de 3 led en serie, consiguiendo así los 30 mA. Para esta parte se ha utilizado el led SOLID STATE LAMP Super Bright Red de KingBright con $V_F = 1,85 \text{ V}$.

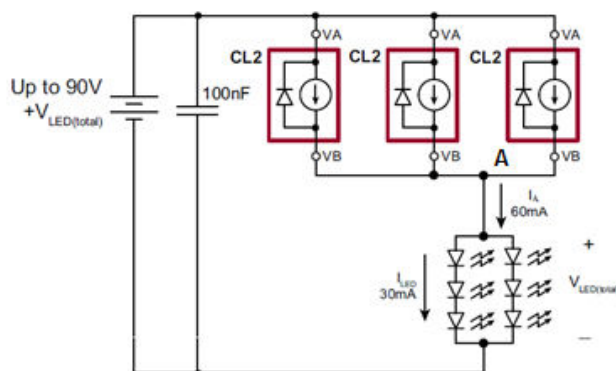


Ilustración 124 Esquema del circuito con 3 CL2 y 6 led

VCC	V _{Led}	I _A	I _{L der}	I _{L izq}
6	4,36	0,1	0	0,1
7	4,99	2,1	1,1	1
8	5,4	12,1	6,2	5,8
9	5,92	33,4	18,3	15,1
9,5	6,07	42,37	22,2	20,17
10	6,34	54,94	27,9	27,04
10,5	6,36	57,6	29,1	28,5
11	6,39	59,31	30,2	29,03
11,5	6,39	59,94	30,5	29,2
12	6,4	60,36	30,7	29,5
13	6,4	60,9	30,8	29,8
14	6,41	61,14	31,2	29,9
20	6,42	61,84	31,2	29,9

Tabla 31 Datos obtenidos para 3 CL2 y 6 led

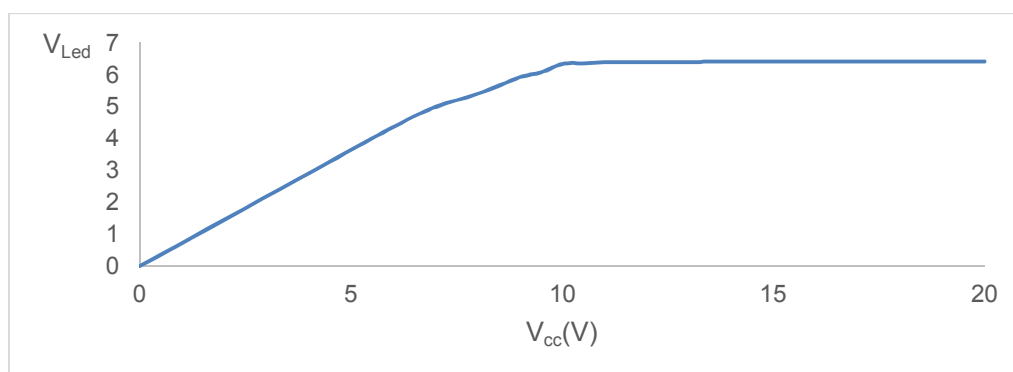


Ilustración 125 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 20 V y tensión en el led

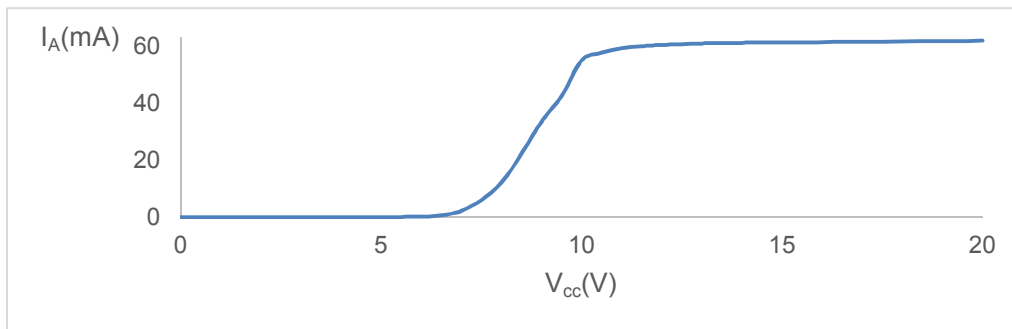


Ilustración 126 Gráfica de barrido en tensión de 0 a 20 V y corriente en A

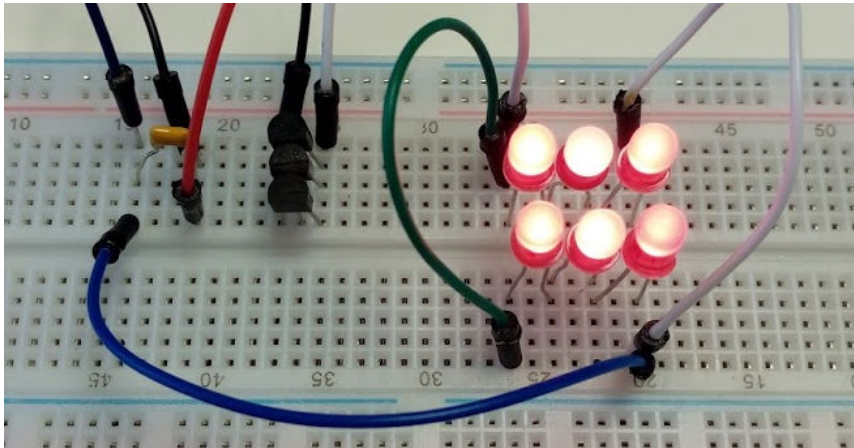


Ilustración 127 Montaje del circuito con 3 CL2 en paralelo y 2 ramas paralelas de 3 led en serie

Como se puede observar, en el punto A, se obtienen 61,84 mA, que está dentro de los 60 mA que se querían obtener, al colocar los tres circuitos integrados en paralelo. Como se desea iluminar un led que tienen I_F de 30 mA, es necesario colocar los led en dos ramas paralelas, como los led no son ideales, de ahí, que por una rama circule más corriente que por otra.

7-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Con que tensión de entrada se obtienen los 20 mA? Exponer fórmula y explicarla. Para obtener una corriente de salida de 20 mA, se tiene que tener una tensión de alimentación mínima que sea, la suma de los 5 V que necesita el circuito integrado como mínimo, más la tensión de alimentación del led por el número de led que se tenga, quedando la ecuación, como:

$$V_{cc \min} = 5 \text{ V} + n V_D$$

Siendo n el número de led y V_D la tensión de alimentación de uno de ellos, si son iguales, en caso de que no lo sea, será la suma de la caída de tensión por ellos.

-¿El circuito integrado utilizado, cumple con lo solicitado? Como se puede observar en todos los montajes realizados, el circuito integrado cumple con lo exigido, ya que proporciona una corriente constante aun teniendo variaciones la tensión de alimentación.

Práctica 6: Fuente de corriente constante con ajuste de corriente

6-CALCULOS PRÉVIOS

Como el led tiene los siguientes datos: $I_F = 30 \text{ mA}$, $V_F = 1,85 \text{ V}$, por tanto según la formula anterior necesitaremos una resistencia de $41,66\Omega$.

7-SIMULACIÓN

Se pide, simular el circuito, en Pspice para los valores calculados anteriormente, realizar un barrido de la tensión de entrada, mostrando la tensión y la corriente por el led, desde 0 V hasta que se mantengan constantes los valores.

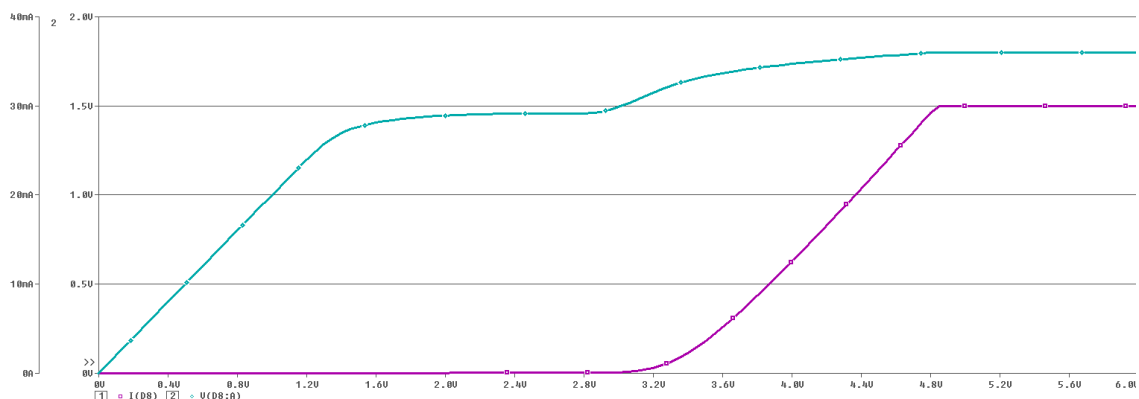


Ilustración 128 Simulación de I_F y V_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 6 V

Ahora se realiza para 4 led.

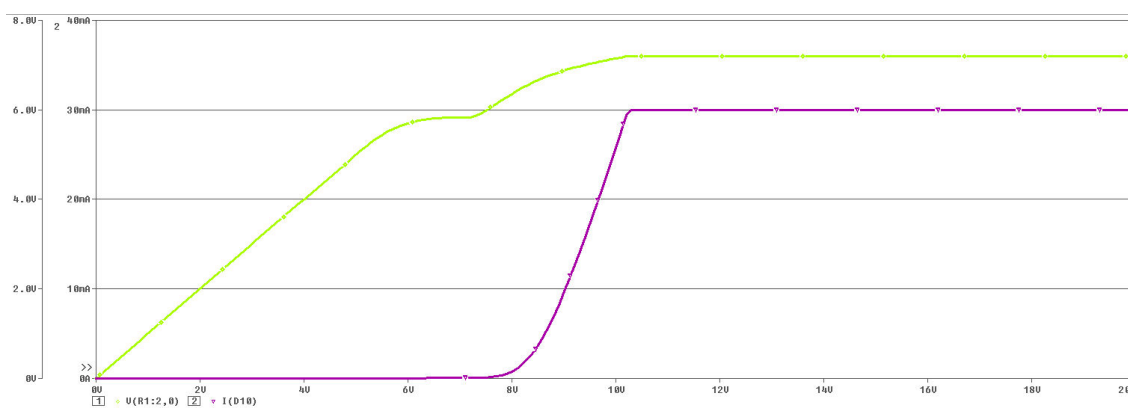


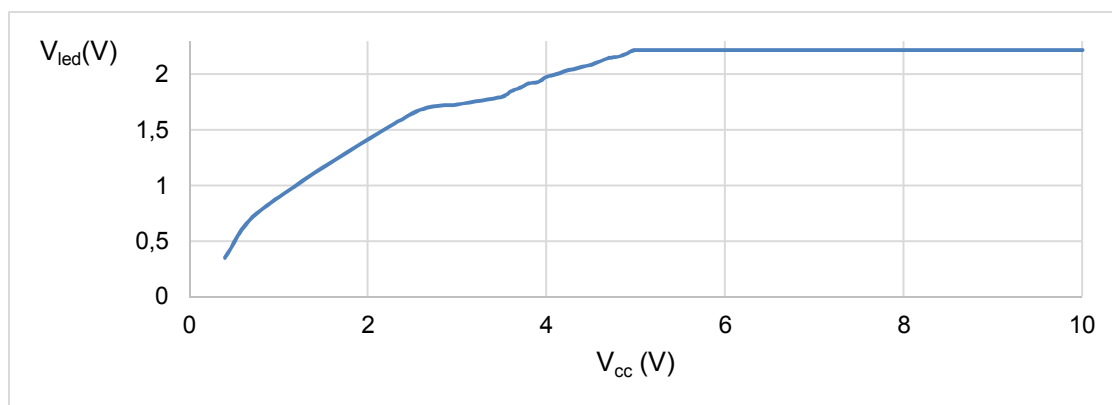
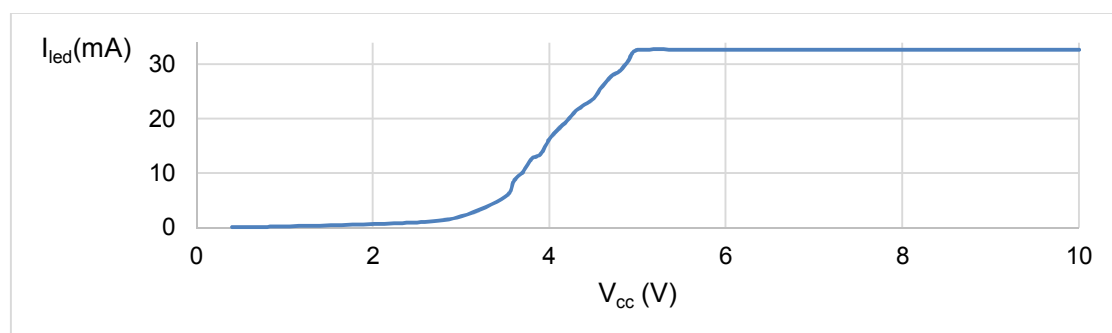
Ilustración 129 Simulación de I_f y V_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 20 V

8- METODO OPERATIVO

Consiste en el montaje del circuito en una placa board, con los componentes calculados anteriormente. Una vez realizado esto, realizar un barrido de la tensión de entrada, mostrando la tensión y la corriente por el led, desde 0 V hasta que se mantengan constantes los valores.

V_{cc}	V_{le}	$I_{Led}(mA)$	V_{cc}	V_{le}	$I_{Led}(mA)$
0,4	0,35	0,2	4,2	2,03	19,6
0,8	0,78	0,2	4,3	2,05	21,5
2,5	1,65	1	4,4	2,07	22,6
3	1,7	2,1	4,5	2,09	23,75
3,5	1,8	5,7	4,6	2,12	25,96
3,6	1,85	8,7	4,7	2,15	27,8
3,7	1,88	10,3	4,8	2,16	28,82
3,8	1,92	12,7	4,9	2,19	30,77
3,9	1,93	13,54	5	2,22	32,63
4	1,98	16,32	6	2,22	32,67
4,1	2	18,12	10	2,22	32,67

Tabla 32 Resultado medición experimenta con $R_1=43,14\Omega$

Ilustración 130 Gráfica de V_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 10 VIlustración 131 Gráfica de I_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 10 V

Como podemos observar, a partir de 5 V de la tensión de entrada, tanto la corriente de polarización del led I_F , como la tensión directa V_F de este, se mantienen constantes.

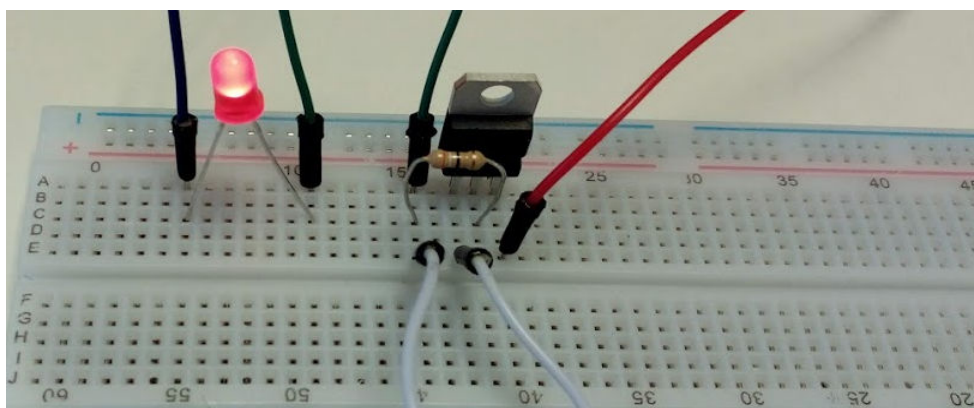


Ilustración 132 Fotografía de montaje con 1 led

Ahora se realiza lo mismo para 4 led.

V_{cc}	V_{led}	$I_{Led}(mA)$	V_{cc}	V_{led}	$I_{Led}(mA)$
2	1,88	0,1	10	7,95	17,7
7,7	6,54	0,7	11	8,44	26,7
8	6,84	2,1	11,6	8,73	32,66
9	7,32	7,6	14,8	8,73	32,66

Tabla 33 Resultado medición experimenta con $R1=43,14\Omega$

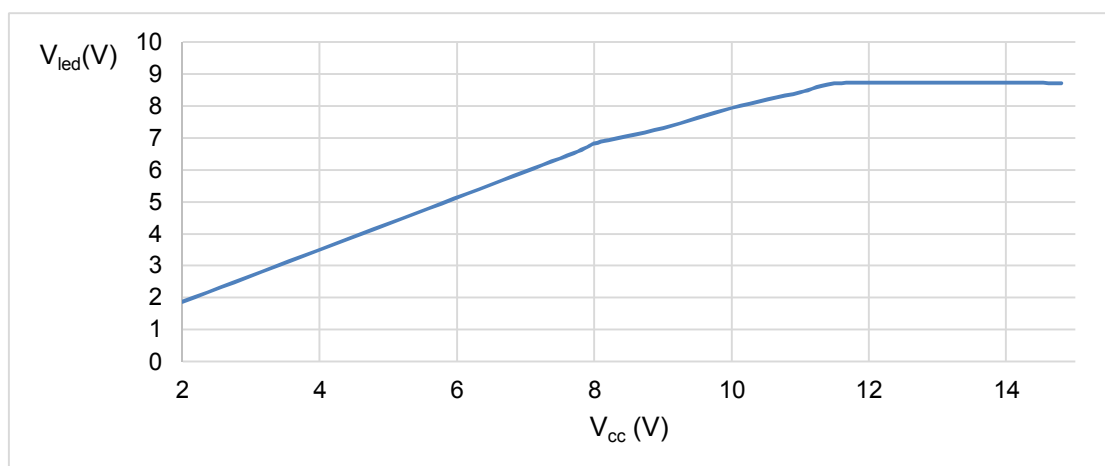
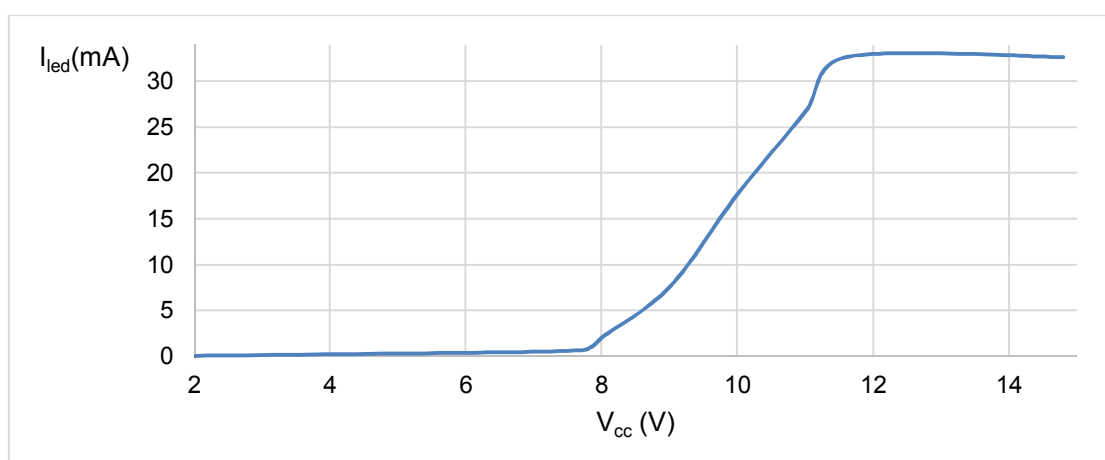
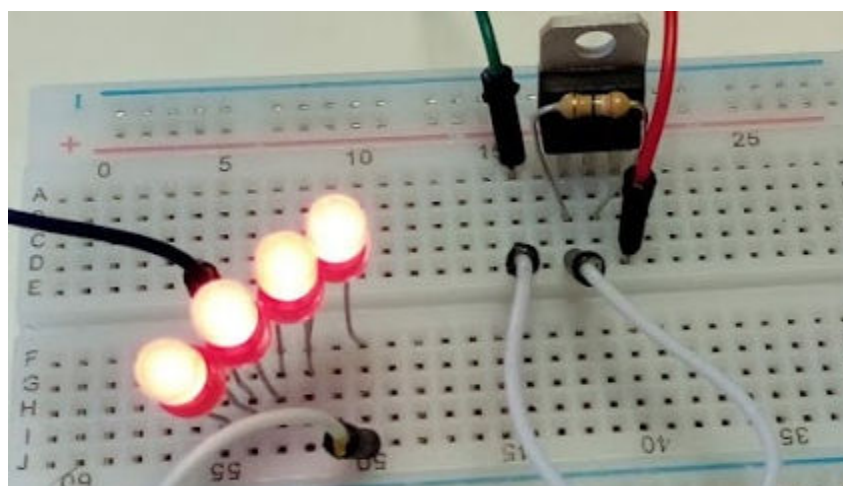
Ilustración 133 Gráfica de V_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 15 VIlustración 134 Gráfica de I_F del led para un barrido de V_{cc} desde 0 V a 15 V

Ilustración 135 Fotografía de montaje con 4 led

9-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Al aumentar el número de led, que sucede? Se puede observar, tanto en la simulación, como en los resultados obtenidos en el laboratorio, que para conseguir la corriente deseada, se necesita aumentar la tensión de alimentación en proporción con el número de led que se desean iluminar.

-¿Se puede colocar algún elemento en el circuito, para conseguir una fuente de corriente regulable, sin tener que sustituir la resistencia, cada vez que se quiera modificar la corriente? Si, se puede sustituir la resistencia por un potenciómetro.

¿Cuántos led en serie se podrían poner como máximo a la salida?

Como el fabricante nos garantiza que se puede obtener una salida de 37 V como máximo, si se divide entre la tensión de alimentación de un led, que es $V_F = 1,85$ V, se tiene 20 led como máximo se podrían conectar en serie a la salida del circuito integrado.

-Ventajas y desventajas del LM317 frente al CL2N3-G

Ventajas: se puede conseguir con el LM317 un rango amplio de corrientes de salida, mientras que el CL2N3-G está limitado a 20 mA.

Desventajas: como se utilizan resistencias normalizadas, es más difícil obtener la resistencia deseada con tanta precisión como el CL2N3-G.

Práctica 7: Driver conmutado PWM

7-CALCULOS PRÉVIOS

Se comienza calculando la fuente de tensión, la cual alimentará tanto a los 3 led como al circuito integrado, para esto será como mínimo de:

$$V_{cc} = n V_D = 3 \cdot 3,3 \text{ V} = 9,9 \text{ V}$$

Por lo que se pondrá una tensión de 12 V, para garantizar el encendido de los led, si se aumenta mucho la tensión, la potencia sobrante será disipada por el mosfet, y este puede llegar a calentarse en exceso.

Después se calcula R_5 , conociendo la intensidad por los diodos igual a $I_F = 350$ mA, quedará:

$$R_5 = \frac{V_{BE(ON)}}{I_F} = \frac{0,66V}{350mA} = 1,85 \Omega$$

Si se fija el condensador $C=100 \text{ nF}$ y como t_1 es 0 por tanto $R_2=0$, tendremos:

$$R_1 = \frac{3,33 \text{ ms}}{100 \text{ nF} \cdot \ln 2} = 48 \text{ K}\Omega$$

Para conseguir que el led esté prácticamente apagado, R_2 debe ser mucho mayor a R_1 , lo que se utilizará un potenciómetro de $500 \text{ K}\Omega$.

8-SIMULACIÓN

Para la parte del generador de funciones se tiene:

-Para $D=0,91$

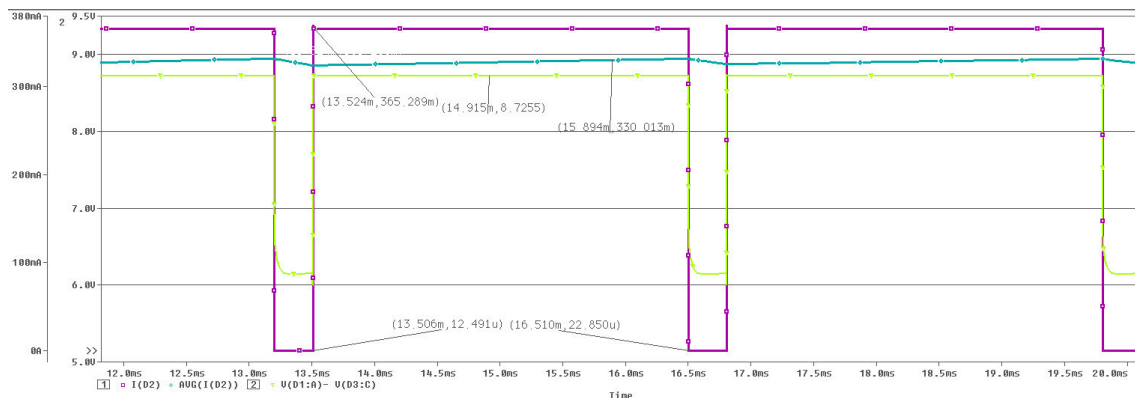


Ilustración 136 Simulación para $D=0,91$

En la ilustración anterior, se muestra en morado la corriente instantánea ($I_{max}=365,28 \text{ mA}$), en azul la corriente media ($I=330 \text{ mA}$) y en amarillo la caída de tensión instantánea ($V_{max}=8,72 \text{ V}$) por los led.

-Para $D=0,53$

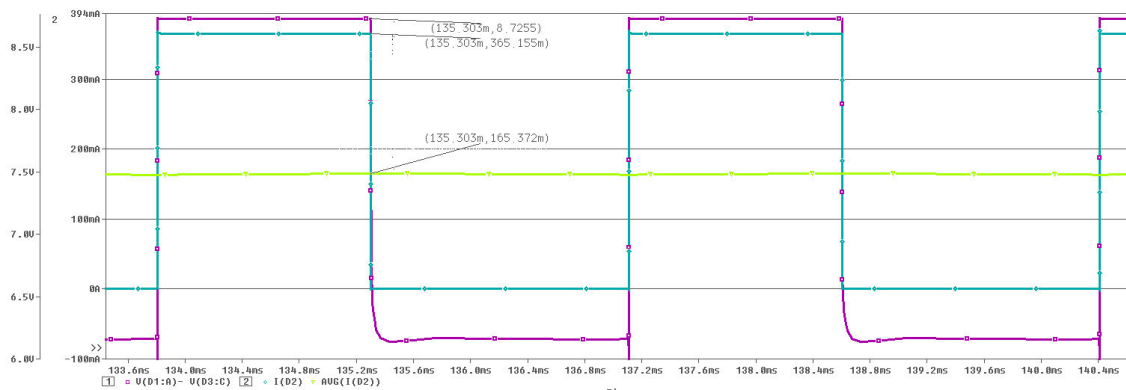


Ilustración 137 Simulación para $D=0,53$

En la ilustración anterior, se muestra en morado la caída de tensión instantánea ($V_{\max}=8,72$ V), en azul la corriente instantánea ($I_{\max}=365$ mA) y en amarillo la corriente media ($I_m=165,3$ mA) por los led.

-Para $D=0,09$

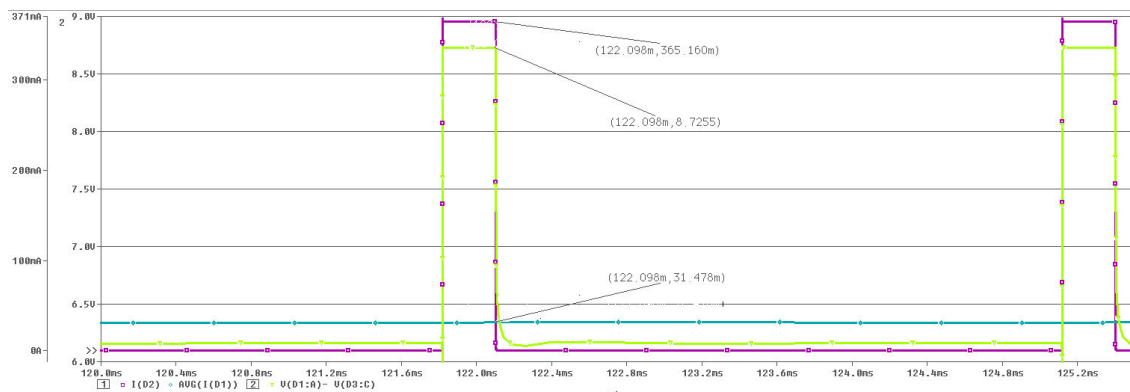


Ilustración 138 Simulación para $D=0,09$

En la ilustración anterior, se muestra en morado la corriente instantánea ($I_{\max}=365$ mA), en azul la corriente media ($I_m=31,47$ mA) y en amarillo la caída de tensión instantánea ($V_{\max}=8,72$ V) por los led.

Ahora se pasa a la parte del 555.

-Para $R_2=1\Omega$

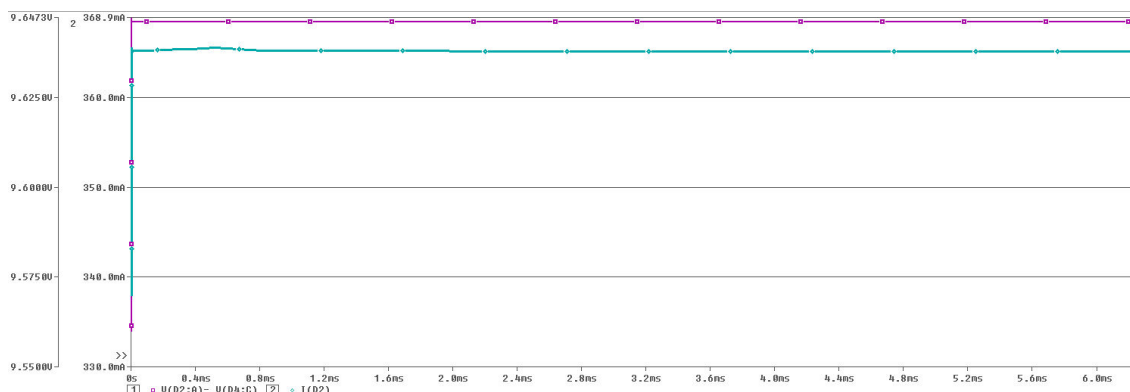
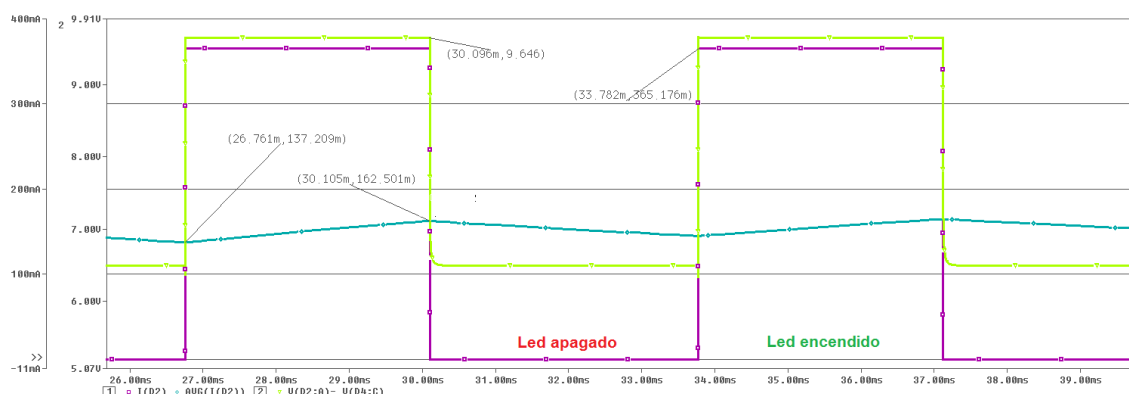
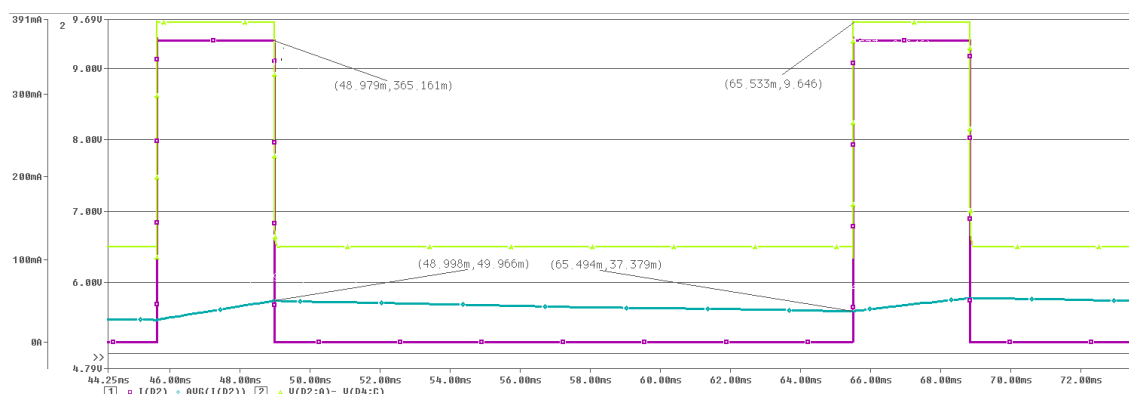


Ilustración 139 Simulación para $R_2=1\Omega$

En la ilustración anterior, se muestra en morado la caída de tensión instantánea ($V_{\max}=9,64$ V) y en azul la corriente media por los led, que coincide con la instantánea ($I_m=367,2$ mA).

-Para $R_2=48k\Omega$ Ilustración 140 Simulación para $R_2=48K\Omega$

En la ilustración anterior, se muestra en morado la corriente instantánea ($I_{\max}=365$ mA), en azul la corriente media ($I_m=162,5$ mA) y en amarillo la caída de tensión instantánea ($V_{\max}=9,64$ V) por los led.

Para $R_2=220k\Omega$ Ilustración 141 Simulación para $R_2=220K\Omega$

En la ilustración anterior, se muestra en morado la corriente instantánea ($I_{\max}=365$ mA), en azul la corriente media ($I_m=43,2$ mA) y en amarillo la caída de tensión instantánea ($V_{\max}=9,64$ V) por los led.

9- METODO OPERATIVO

Para la parte del generador de funciones se tiene:

-Para $D=0,91$

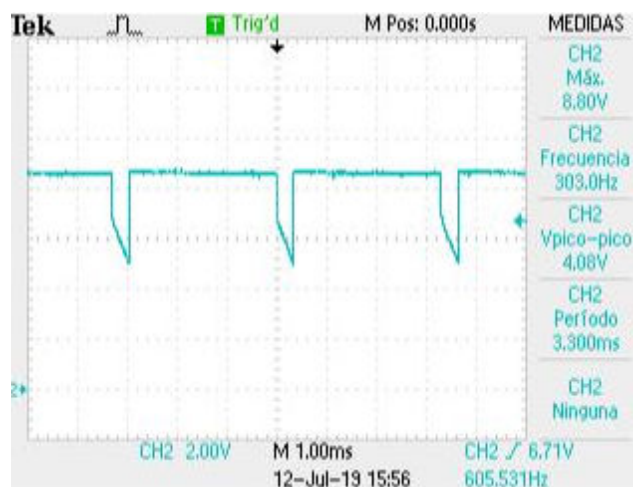


Ilustración 142 Tensión por los led experimentalmente para $D=0,91$

-Para $D=0,53$

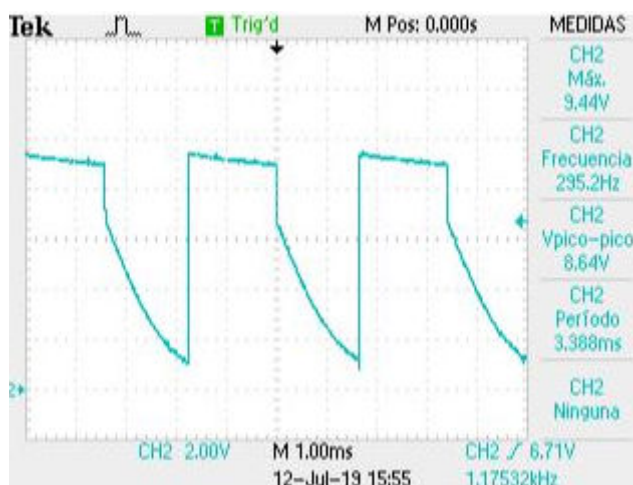


Ilustración 143 Tensión por los led experimentalmente para $D=0,53$

-Para $D=0,09$

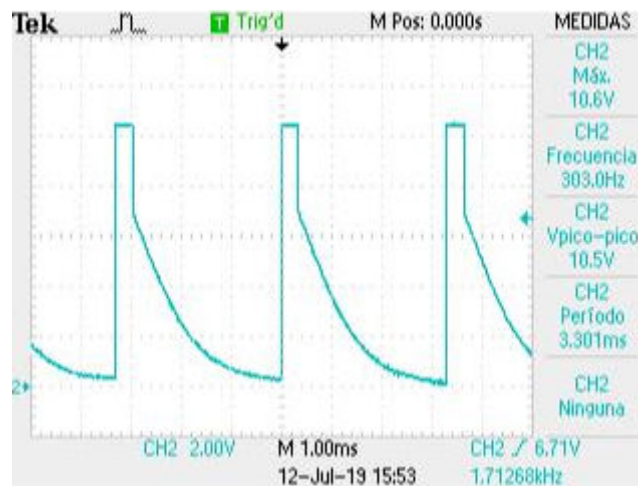


Ilustración 144 Tensión por los led experimentalmente para $D=0,09$

En la siguiente ilustración se muestra el montaje en el laboratorio para el generador de funciones.

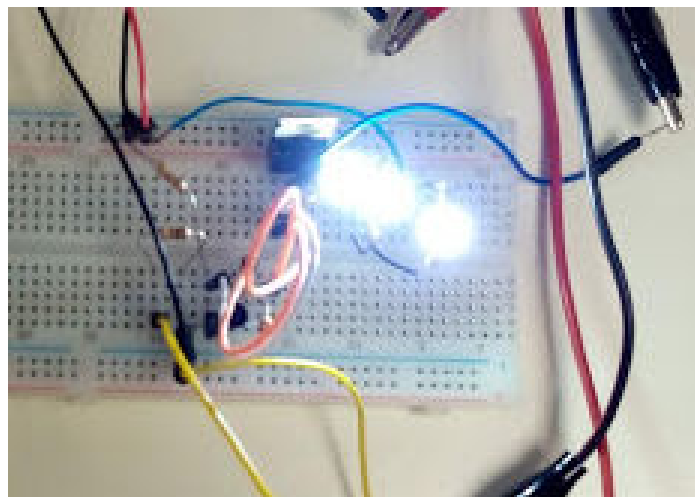


Ilustración 145 Montaje realizado con generador de funciones

-Ahora se pasa a la parte del 555.

-Para $R_2=1\Omega$



Ilustración 146 Tensión por los led experimentalmente para $R_2=1\Omega$

-Para $R_2=48K\Omega$



Ilustración 147 Tensión por los led experimentalmente para $R_2=48K\Omega$

-Para $R_2=220K\Omega$



Ilustración 148 Tensión por los led experimentalmente para $R_2=220K\Omega$

En la siguiente ilustración se muestra el montaje en el laboratorio para una señal de control con el 555.

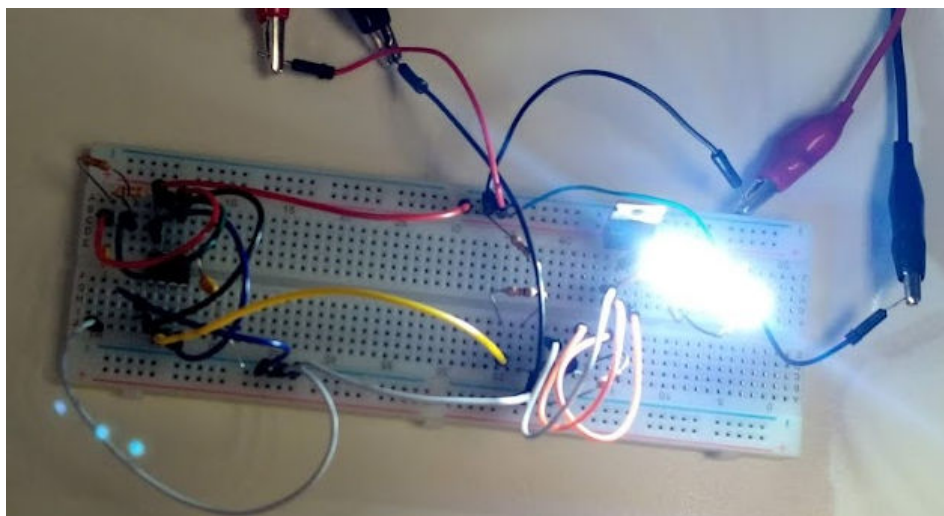


Ilustración 149 Montaje realizado con 555

10-RESULTADOS FINALES

-Para el generador de funciones:

-Para $D=0,91$

	Teórico	Simulado	Experimental
$V_{\max}(V)$	9,9	8,72	8,8
$I_{\text{med}}(mA)$	318,5	330	338,2
$T_{\text{on}}(ms)$	3	3	3
$T_{\text{off}}(ms)$	0,29	0,3	0,3

Tabla 34 Datos obtenidos para $D=0,91$

-Para $D=0,53$

	Teórico	Simulado	Experimental
$V_{\max}(V)$	9,9	8,72	9,44
$I_{\text{med}}(mA)$	185,5	165,37	172,4
$T_{\text{on}}(ms)$	1,8	1,8	1,78
$T_{\text{off}}(ms)$	1,59	1,6	1,6

Tabla 35 Datos obtenidos para $D=0,53$

-Para $D=0,09$

	Teórico	Simulado	Experimental
$V_{\max}(V)$	9,9	8,72	9,6
$I_{\text{med}}(mA)$	31,5	31,47	36,7
$T_{\text{on}}(ms)$	0,3	0,3	0,29
$T_{\text{off}}(ms)$	3	3	3,01

Tabla 36 Datos obtenidos para $D=0,09$

-Para el 555:

-Para $R_2 = 1 \Omega$

	Teórico	Simulado	Experimental
$R_2(\Omega)$	1	1	1,04
$V_{max}(V)$	9,9	9,646	8,96
$I_{med}(mA)$	350	354,15	373,4
$T_{on}(ms)$	∞	∞	∞
$T_{off}(ms)$	0	0	0

Tabla 37 Datos obtenidos para $R_2=1\Omega$

-Para $R_2 = 48 \Omega$

	Teórico	Simulado	Experimental
$R_2(\Omega)$	48K	48K	46,58K
$V_{max}(V)$	9,9	9,646	9,12
$I_{med}(mA)$	175	149,85	152,8
$T_{on}(ms)$	3,32	3,4	3,3
$T_{off}(ms)$	3,32	3,68	3,9

Tabla 38 Datos obtenidos para $R_2=48K\Omega$

-Para $R_2 = 220 \Omega$

	Teórico	Simulado	Experimental
$R_2(\Omega)$	220K	220K	217K
$V_{max}(V)$	9,9	9,646	9,20
$I_{med}(mA)$	52,3	43,18	45,2
$T_{on}(ms)$	3,25	3,39	4,5
$T_{off}(ms)$	18,5	16,5	16,3

Tabla 39 Datos obtenidos para $R_2=220K\Omega$

11-CUESTIONES

Una vez finalizada la práctica, contestar las siguientes cuestiones:

-¿Si la salida del generador está en alto, como está el led? El led está apagado, porque la corriente es desviada a tierra por Q_1 .

-¿Si se disminuye la frecuencia, que sucede? En vez de ver una atenuación en la luminosidad, se vería un parpadeo.

-Si se disminuye la corriente por el led, también disminuye la luminosidad, ¿Por qué utilizar entonces la modulación PWM? Porque con la modulación PWM se consigue un mayor control de la luminosidad, a parte el fabricante no nos garantiza que el led se ilumine para determinadas corrientes.

ANEXO 3: PRESUPUESTO PARA MONTAJES PRÁCTICOS

ANEXO 3: PRESUPUESTO DE MONTAJES PRÁCTICOS

Como estas prácticas van dirigidas a la asignatura, Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil, a continuación se va a realizar un presupuesto del material necesario para realizarlas, será necesario montar en el laboratorio 10 puestos de trabajo, por tanto se multiplicará por 10 el material necesario para cada práctica.

En las siguientes tablas, se expone en el distribuidor que se ha obtenido el precio para cada componente, www.mouser.es o <https://es.rs-online.com>, y la referencia en dicha web.

-Práctica 2:

El material necesario para esta práctica es:

- 1 Led azul
- 1 Led verde
- 1 Led rojo
- 1 Led amarillo
- Resistencias a calcular

Por tanto el presupuesto para esta práctica será de:

Concepto	Ud	Web	Fabrica	Referencia web	P. Ud	Subt (€)
Led azul	10	Mouser	VAOL	593-VAOL-5LSBY2	0,5	5
Led verde	10	Mouser	CREE	941-C503BGC NCY0C0791	0,23	2,3
Led amarillo	10	Mouser	Würth Elektron	710-151034YS03000	0,15	1,5
Led rojo	10	Mouser	Kingbright	604-WP908A8SRD	0,27	2,7
Kit de resistencias	1	Rs	Nova	156-2565	87,62	87,62
Total práctica 2						99,12

Tabla 40 Presupuesto para Práctica 2

Como es necesario que el alumno calcule las resistencias que necesita, se ha optado por un kit de resistencias que está compuesto por 1100 resistencias, con 48 valores distintos entre 10 Ω y 1 M Ω .

Algunos componentes, como son el kit de resistencias o como los led utilizados en la práctica 2, serán utilizados en algunas de las demás prácticas, por tanto, ya no se incluirán en las demás prácticas y así con los demás componentes que puedan ir apareciendo.

-Práctica 3:

El material necesario para esta práctica es:

- 4 Diodos led
- 1 Transistor 2N3055
- 1 Diodo Zéner BZX55C12
- Resistencias a calcular

Por tanto el presupuesto para esta práctica será de:

Concepto	Ud	Web	Fabrica	Referencia web	P. Ud	Subt (€)
Diodos led	40	Rs	Kingbright	247-1713	0,20	8
Transistor 2N3055	10	Mouser	Central Semi	610-2N3055	5,39	53,8
Diodo Zéner BZX55C12	10	Mouser	Vishay	78-BZX55C12-TAP	0,17	1,70
Total práctica 3						63,5

Tabla 41 Presupuesto para Práctica 3

-Práctica 4:

El material necesario para esta práctica es:

- 2 BJT BC547A
- 2 IRF 540
- 4 Diodos led
- Resistencias a determinar

Por tanto el presupuesto para esta práctica será de:

Concepto	Ud	Web	Fabrica	Referencia web	P. Ud	Subt (€)
BJT BC547A	20	Mouser	On Semi	512-BC547ATA	0,19	3,80
IRF 540	20	Mouser	Infineon	942IRF540NPBF	0,95	19
Total práctica 4						22,80

Tabla 42 Presupuesto para Práctica 4

-Práctica 5:

El material necesario para esta práctica es:

- 3 driver lineal CL2N3-G
- 1 condensador de 100 nF
- Diodos led

Por tanto el presupuesto para esta práctica será de:

Concepto	Ud	Web	Fabrica	Referencia web	P. Ud	Subt (€)
CL2N3-G	30	Mouser	Microchip	689-CL2N3-G	0,33	9,90
Condensador 100 nF	10	Mouser	Murata	81-RDE5C1H104J2K1H3B	0,57	5,70
Total práctica 5						15,60

Tabla 43 Presupuesto para Práctica 5

-Práctica 6:

El material necesario para esta práctica es:

- 1 Driver lineal LM 317
- 4 Diodos led
- Resistencias a calcular

Por tanto el presupuesto para esta práctica será de:

Concepto	Ud	Web	Fabrica	Referencia web	P. Ud	Subt (€)
LM 317	10	Mouser	STMicro	511-LM317T	0,58	5,80
Total práctica 6						5,80

Tabla 44 Presupuesto para Práctica 6

-Práctica 7:

El material necesario para esta práctica es:

- 1 Circuito integrado 555
- 1 Mosfet IRF540
- 2 BJT BC547A
- 3 Diodos led PM2B-1LWE
- Resistencias a calcular
- 2 Condensadores a calcular
- 1 Diodo D1N4148

Por tanto el presupuesto para esta práctica será de:

Concepto	Ud	Web	Fabrica	Referencia web	P. Ud	Subt (€)
555	10	Mouser	Texas Ins	595-NE555P	0,41	4,10
Diodos led PM2B-1LWE	30	Rs	ProLight Opto	894-7657	1,89	56,70
Total práctica 7						60,80

Tabla 45 Presupuesto para Práctica 7

Resumen total del coste de las prácticas:

Práctica	Coste €
Práctica 2	99,12
Práctica 3	63,50
Práctica 4	22,80
Práctica 5	15,60
Práctica 6	5,80
Práctica 7	60,80
Total	267,62

Tabla 46 Presupuesto para la realización de las prácticas

Los precios mostrados, son los obtenidos de las páginas web marcadas, consultadas el día 9 de agosto de 2019, con IVA incluido.

Se concluye que el coste total de realizar dichas prácticas, para 10 puestos de laboratorio, conlleva un gasto de 267,62 €.

10. Bibliografía

- [1] Real Academia Española, “Index @ Dle.Rae.Es,” 2016. [Online]. Available: <http://dle.rae.es/?id=U4x16gg>. [Accessed: 20-Mar-2019].
- [2] E. F. Schubert, “Light Emitting Diodes,” Cambridge University Press, Ed. 2003, pp. 1–23.
- [3] T. L., Floyd, “DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS,” 8th ed., Madrid, España, Pearson, 2008, p. 141.
- [4] “Historia del led.” [Online]. Available: <https://www.iluminet.com/historia-del-led/>. [Accessed: 23-Mar-2019].
- [5] J. Á. Mariana, “Diodos emisores de luz azul (Nobel en física 2014).” 2018.
- [6] J. M. U. Julián Mora, Óscar Gélvez, Jaime Castro, Diego Roa, Sebastián Flórez, “Diodos orgánicos emisores de luz (oleds) y sus bases tecnológicas.” 2011.
- [7] G. HELD, “Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications,” T. & F. Group, Ed. 2009, pp. 1–9.
- [8] J. A. C. RODRÍGUEZ, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN ARREGLO RGB DE TRES LED DE POTENCIA,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA, 2009.
- [9] Lumiled, “Lumen Maintenance of White LUXEON® Power Light Sources.”
- [10] P. D. Michael J. Scholand, Heather E. Dillon, “Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products Part 2: LED Manufacturing and Performance,” 2012, pp. 24–35.
- [11] Lumileds, “Practical Heat Sink Design for Illumination,” *White Pap. 20180524*, 2018.
- [12] A. Davis, “Microstructured Optics for LED Applications,” University of Rochester, 2002.
- [13] A. S. Lago, “Sistemas ópticos para el LED (1ª parte),” *ICandela*, 2016.
- [14] G. HELD, “Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications,” 2009, pp. 70–75.
- [15] P. C. Gopinath, “Automotive Lighting System,” M S Ramaiah School of Advanced Studies.
- [16] Hella, “LA TECNOLOGIA DE LA LUZ. CONOCIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL PROFESIONAL DEL TALLER.” 2011.
- [17] O. Zapatería, “Faros Xenón Lámpara de descarga de gas,” *Cent. Zaragoza*, vol. Mecánica y, 2002.
- [18] D. R. Fiederling, “Luz láser en el sector de la automoción: preguntas y respuestas sobre la innovadora tecnología láser.” [Online]. Available: <https://www.osram.es/am/especiales/tendencias-en-iluminacion-para-automoviles/luz-laser-nueva-tecnología-de-faros/preguntas-y-respuestas-sobre-la-innovadora-tecnología-laser/index.jsp>.
- [19] Infineon, “LED driving concepts and Linear LED drivers.” [Online]. Available: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Z8F64898475_LED_driving_concepts_and_Linear_LED_drivers-AN-v01_00-

EN.pdf?fileId=5546d462696dbf120169b4cb29224b30.

- [20] Microchip Technology, "Simple 90V, 20mA, Temperature Compensated, Constant-Current LED Driver IC," 2015. [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/CL1-90V-20-mA-Simple-Temperature-Compensated-Constant-Current-LED-Driver-IC-Data-Sheet-20006072A.pdf>.
- [21] Daniel W. Hart, *Electrónica de Potencia*. .
- [22] W. E. eiSos G. & Co, "WLMDU9456001JT / 172946001." [Online]. Available: <https://katalog.we-online.de/pm/datasheet/172946001.pdf>.
- [23] A. D. Inc., "38VIN Boost μ Module Regulator for LED Drive with 10A Switch." [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/technical-articles/lm8005-38vin-38vout-boost-module-led-driver-with-40v-switch.html>.
- [24] T. Instruments, "WHITE LED CHARGE PUMP CURRENT SOURCE WITH PWM BRIGHTNESS CONTROL." [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps60230.pdf>.
- [25] STMicroelectronics, "High power factor flyback controller with constant voltage primary-sensing and ultra-low standby consumption." [Online]. Available: <https://www.st.com/en/power-management/hvled001b.html>.
- [26] Y. Developpement, "Automotive Lighting," 2016. [Online]. Available: http://www.yole.fr/AutomotiveLighting_MarketUpdate.aspx#.XWlYuC4zaM9.
- [27] "Vishay automotive." [Online]. Available: <https://www.vishay.com/applications/automotive/tab/et/>. [Accessed: 20-Jul-2019].
- [28] "Osram." [Online]. Available: <https://www.osram.com/appsn/ProductSelector/>. [Accessed: 20-Jul-2019].
- [29] "Lumileds." [Online]. Available: <https://www.lumileds.com/>. [Accessed: 20-Jul-2019].
- [30] "Infineon led driver." [Online]. Available: <https://www.infineon.com/cms/en/applications/led-lighting/automotive-led-lighting/#LEDandlampdrivers>. [Accessed: 20-Jul-2019].
- [31] T. Instruments, "LED Drivers for Automotive Exterior Lighting Applications.," 2018. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/sl/slpy006b/slpy006b.pdf>.
- [32] K. Macalanda, "Fundamentals to automotive LED driver circuits." [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/wp/slyy163/slyy163.pdf>.
- [33] G. Rapetti, "NUEVO DRIVER PARA LEDS DE ALTA POTENCIA CON ENTRADA DE CONTROL PWM." [Online]. Available: <https://www.inventable.eu/2014/06/21/driver-leds-potencia-con-entrada-pwm/>. [Accessed: 21-Jun-2019].
- [34] P. Á. B. Espinosa, "Apuntes iluminación." ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCÓY.
- [35] F. de la energía de la C. de Madrid, "Guía sobre tecnología led en alumbrado." 2015.