



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

ELECTRÓNICA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN AUTOMOCIÓN

Alumno: Sergio Peinado Martínez

Tutor: Prof. D. Juan Domingo Aguilar Peña
Prof. D. Gabino Jiménez Castillo

Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Septiembre, 2020

Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

ELECTRÓNICA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN AUTOMOCIÓN

Alumno: Sergio Peinado Martínez

Tutor: Prof. D. Juan Domingo Aguilar Peña

Prof. D. Gabino Jiménez Castillo

Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Electrónica y Automatica

Don JUAN DOMINGO AGUILAR PEÑA y Don GABINO JIMÉNEZ CASTILLO, tutores del Proyecto Fin de Carrera titulado: **“Electrónica en Sistemas de iluminación en automoción”**, que presenta SERGIO PEINADO MARTÍNEZ, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Septiembre de 2020

El alumno:

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser "Sergio Peinado Martínez", con una línea horizontal que atraviesa la base de la escritura.

Sergio Peinado Martínez

Los tutores:

Juan Domingo Aguilar Peña

Gabino Jiménez Castillo

Índice

MOTIVACIÓN, OBJETIVOS Y DESCRIPCIÓN	20
I. CONTEXTO DOCENTE	20
II. MOTIVACIÓN	22
III. OBJETIVOS.....	22
IV. DESCRIPCIÓN	24
V. METODOLOGÍA	25
BLOQUE 1 CONCEPTOS EN DIODOS LED DE POTENCIA Y SU USO EN AUTOMOCIÓN	28
1. ANTECEDENTES DE LOS DIODOS LED	32
1.1. DIODO EMISOR DE LUZ	34
1.1.1. FUNCIONAMIENTO	34
1.1.2. COMPOSICIÓN	36
1.1.3. PERDIDA DE EFICIENCIA LED	38
1.1.4. DISIPADORES DE CALOR	38
2. EVOLUCION EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACION EN AUTOMOCION.....	40
2.1. HISTORIA	40
3. TIPOS DE DIODOS LED	43
3.1. CLASIFICACION SEGÚN TIPO	43
3.1.1. LED DIP o DUAL IN-LINE PACKAGE	43
3.1.2. LED SMD o SURFACE MOUNTED DIODE.....	43
3.1.3. LED COB o CHIP ON BOARD	44
3.1.4. MICRO LED	44
3.1.5. OLED	45
3.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN POTENCIA.....	45
3.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN ENCAPSULADO.....	46
3.4. CLASIFICACIÓN POR LONGITUD DE ONDA	46
4. FUNDAMENTOS LUMÍNICOS	48
5. LUCES EN AUTOMOCIÓN	50
5.1. TIPOS DE ILUMINACION EN AUTOMOVILES.....	50
5.2. FAROS	56
5.2.1. COMPOSICIÓN DE UN FARO	56
5.2.2. TIPOS DE FAROS	57

5.3. PILOTOS	59
5.4. TIPOS DE LUCES EN AUTOMOVILES	60
5.5. ILUMINACION INTERIOR DE VEHICULOS	61
5.6. NORMATIVA EN ILUMINACION	62
6. PERCEPCION OPTICA	66
6.1. PERDIDA VISUAL DEL OJO	66
7. DRIVERS LED	68
7.1. CCR o REGULADOR DE CORRIENTE CONSTANTE	69
7.2. PWM o MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO	71
7.3. DIMMING	73
7.4. REGULADORES LINEALES	75
7.5. REGULADORES CONMUTADOS	77
7.5.1. REGULADOR REDUCTOR O BUCK	78
7.5.2. REGULADOR ELEVADOR O BOOST	82
7.5.3. CONVERTIDOR REDUCTOR-ELEVADOR O BUCK-BOOST	86
7.6. CONTROL DE DRIVERS CONMUTADOS	89
7.6.1. ESTABILIDAD DEL BUCLE DE CONTROL	90
7.6.2. ANALISIS EN PEQUEÑA SEÑAL	91
7.6.3. FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL INTERRUPTOR	91
7.6.4. FUNCION DE TRANSFERENCIA DE FILTRO	92
7.6.5. FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL PWM	93
7.6.6. AMPLICADOR DE ERROR CON COMPENSACION	94
7.6.7. DISEÑO DE COMPENSACIÓN DE LAZO EN FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADAS.	96
7.6.8. MODELADO DEL SISTEMA Y MODO CONTROL DE CORRIENTE.	97
7.6.9. MODELADO ETAPA DE POTENCIA	98
7.6.10. MODELADO ETAPA DE TENSIÓN	99
7.6.11. MODELADO ETAPA DE COMPENSACIÓN	100
8. DRIVERS LED EN AUTOMOCIÓN	105
8.1. CIRCUITO DE CONTROL LED LT3746-LINEAR TECHNOLOGY	105
8.2. CIRCUITO DE CONTROL LED MAX16834-Maxim Integrated	106
8.3. CIRCUITO DE CONTROL LED LC75843-ON Semiconductor	108
8.4. COMPARATIVA DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN INDUSTRIAL	111
8.4.1. WEBENCH® Power Designer	111

8.4.2. eDesignSuite.....	113
8.4.3. LTpowerCAD II v2.....	114
8.4.4. CONCLUSIONES	117
8.5. CIRCUITOS DE CONTROL LED PARA LA DOCENCIA.....	118
8.5.1. CONVERTIDOR LINEAL LM317	118
8.5.2. CONVETIDOR REDUCTOR LM2596	120
8.5.3. CONVERTIDOR AUMENTADOR XL6009	123
8.5.4. CONVERTIDOR REDUCTOR LM2575	125
8.5.5. CONVERTIDOR LINEAL CL2N3-G	127
8.5.6. CONVERTIDOR LINEAL LM78XX.....	128
BLOQUE 2 MONTAJES EXPERIMENTALES CON CARACTER DIDACTICO	131
9. DEFINICIÓN DE LOS MONTAJES EXPERIENTALES CON CARÁZTER DIDÁCTICO.....	134
9.1. PRACTICA 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS LED	134
9.1.1. APARTADO 1: TENSIÓN CARACTERISTICA DEL LED.....	137
9.1.2. APARTADO 2: CONEXIONADO DEL LED.....	137
9.1.3. APARTADO 3:ALIMENTACIÓN SENCILLA DE UN LED DE POTENCIA	138
9.2. PRÁCTICA 2: DRIVERS LINEAL LED CON LM317.....	140
9.2.1. INTRODUCCIÓN.....	140
9.2.2. ASPECTOS TEÓRICOS	140
9.2.3. MÉTODO OPERATIVO	142
9.3. PRÁCTICA 3: REGULADOR LM2596 DE TEXAS INSTRUMENTS (BUCK)	145
9.3.1. INTRODUCCIÓN.....	145
9.3.2. ASPECTOS TEÓRICOS	145
9.3.3. MÉTODO OPERATIVO	149
9.4. PRÁCTICA 4: REGULADOR XL6009 DE TEXAS INSTRUMENTS (BOOST)	152
9.4.1. INTRODUCCIÓN.....	152
9.4.2. ASPECTOS TEÓRICOS	153
9.4.3. MÉTODO OPERATIVO	156
9.5. PRÁCTICA 5: CIRCUITO INTEGRADO LM2575 - (BUCK) DE TEXAS INSTRUMENTS ...	159
9.5.1. INTRODUCCIÓN.....	159
9.5.2. ASPECTOS TEÓRICOS	159
9.5.3. MÉTODO OPERATIVO	163
9.6. PRÁCTICA 6: DRIVERS LED CL2N3-G DE TEXAS INSTRUMENT	169

9.6.1. INTRODUCCIÓN	169
9.6.2. ASPECTOS TEÓRICOS	169
9.6.3. MÉTODO OPERATIVO	171
9.7. PRÁCTICA 7: DRIVERS LINEAL CON FUENTE DE CORRIENTE INDEPENDIENTE DE LA ALIMENTACION CON BJT.....	173
9.7.1. ASPECTOS TEÓRICOS	173
9.7.2. MÉTODO OPERATIVO	174
9.8. PRÁCTICA 8: FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE PARA LED CON DIODO ZENER	178
9.8.1. ASPECTOS TEÓRICOS	178
9.8.2. MÉTODO OPERATIVO	179
9.9. PRÁCTICA 9: REGULADOR DE TENSIÓN LM78XX	183
9.9.1. ASPECTOS TEÓRICOS	183
9.9.2. MÉTODO OPERATIVO	185
9.10. PRÁCTICA 10: SIMULACIÓN EN PSPICE POR REALIMENTACIÓN	188
9.10.1. ASPECTOS TEÓRICOS	188
9.10.2. MÉTODO OPERATIVO	190
10. MONTAJES EXPERIMENTALES, MEDIDAS Y SIMULACIONES	191
10.1. PRÁCTICA 1	191
10.1.1. RESULTADO Y CONCLUSIONES LED LABORATORIO	191
10.1.2. RESULTADO Y CONCLUSIONES LED DE POTENCIA	193
10.2. PRÁCTICA 2	195
10.3. PRÁCTICA 3	199
10.4. PRÁCTICA 4	204
10.5. PRÁCTICA 5	210
10.7. PRÁCTICA 7	220
10.8. PRÁCTICA 8	224
10.9. PRÁCTICA 9	231
10.9.1. REGULADOR DE TENSIÓN	231
10.9.2. REGULADOR DE CORRIENTE	235
10.10. PRÁCTICA 10	243
Bibliografía	248

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1: Tipos de diodos leds de laboratorio. [1].....	33
Ilustración 2: Efecto de electroluminiscencia. [1]	34
Ilustración 3: a) Voltaje frente a intensidad directa en un led. b) Temperatura en el led frente la eficacia luminosa. [4].....	35
Ilustración 4: Espectro de longitudes de onda. [6].....	36
Ilustración 5: Materiales led. [7].....	37
Ilustración 6: Disipador led. [8]	39
Ilustración 7: Composición diodo led.	39
Ilustración 8: Intermitentes dinámicos. [9].....	41
Ilustración 9: Sistemas de iluminación matrix y laser. [12].....	42
Ilustración 10: LED DIP o Dual In-Line Package. [13]	43
Ilustración 11: LED SMD o Surface Mounted Diode. [5].....	44
Ilustración 12: Tecnología OLED y Micro LED.[15].....	45
Ilustración 13: Espectro visible por el ojo humano. [16].....	47
Ilustración 14: Esquema cromático. [16]	49
Ilustración 15: Lámparas de incandescencia. [17].....	51
Ilustración 16: Esquema lámpara de xenón. [17]	52
Ilustración 17: Lámparas Xenón D2S y D2R. [17]	52
Ilustración 18: Faro matrix led. [12].....	53
Ilustración 19: Faro de tecnología láser. [19]	54
Ilustración 20: Comparativa de sistemas de iluminación. [19]	54
Ilustración 21: Tabla comparativa.	55
Ilustración 22: Modulo de proyección. [20]	56
Ilustración 23: Despiece de un faro delantero. [20].....	57
Ilustración 24: Faro parabólico para luces de cruce y carretera. [20].....	58
Ilustración 25: Faro de geometría variable. [20]	58
Ilustración 26: Esquema de faro super-DE. [20]	58
Ilustración 27: Esquema piloto trasero. [20]	59
Ilustración 28: Esquema luces de un vehículo. [22]	61
Ilustración 29: Iluminación interior. [12].....	62
Ilustración 30: Envejecimiento de la lente humana cada 10 años. (10 a 90)	66
Ilustración 31: Características driver led. [24]	68
Ilustración 32: Onda CCR al 25 %. [25]	69
Ilustración 33: Onda PWM al 25 %. [25]	71
Ilustración 34: DIMMER corriente AC. [25].....	73
Ilustración 35: DIMMER LED. [24]	74
Ilustración 36: Onda de carga y descarga del condensador; Onda de salida. [24]	74
Ilustración 37: Regulador lineal básico. [26].....	75
Ilustración 38: Modulo de protección, driver lineal y modulo led. [25]	77
Ilustración 39: Esquema de adaptación eléctrica. [26]	78
Ilustración 40: a) Convertidor DC/DC reductor. b) Equivalente con interruptor cerrado. c) Equivalente con interruptor abierto. [26]	79
Ilustración 41: a) Tensión en extremos de la bobina. b) Corriente de la bobina. c) Corriente del condensador. [26]	80
Ilustración 42: a) Convertidor DC/DC reductor. b) Equivalente con interruptor cerrado. c) Equivalente con interruptor abierto. [26]	83
Ilustración 43: Formas de onda en el convertidor elevador. a) Tensión en la bobina. b) Corriente en la bobina. c) Corriente en el diodo. d) Corriente en el condensador. [26]	84
Ilustración 44: a) Convertidor DC/DC reductor-elevador. b) Equivalente con interruptor cerrado. c) Equivalente con interruptor abierto. [26].....	87
Ilustración 45: Formas de onda en el convertidor elevador. a) Corriente en la bobina. b) Tensión en la bobina. c) Corriente en el diodo. d) Corriente en el condensador. [26]	89
Ilustración 46: a) Convertidor en oposición con realimentación. b) Representación de control. [26]	90
Ilustración 47: Margen de fase. [26].....	91

Ilustración 48: Modelos de interruptor. a) Interruptor y diodo. b) Modelo promediado. c) Modelo pequeña señal. [26].....	91
Ilustración 49: Circuito empleado para deducir la función de transferencia del filtro. a) Con un condensador ideal. b) Condensador ideal y resistencia en serie. [26]	92
Ilustración 50: PWM, produce un nivel alto cuando la señal VC generada por el amplificador de error tiene un valor mayor que la señal de diente de sierra. [26]	94
Ilustración 51: a) Amplificador de error compensado. b) Respuesta en frecuencia. [26]	95
Ilustración 52: Respuesta en frecuencia de la función de transferencia del bucle del control. [26]	96
Ilustración 53: Sistema sobre-compensado. [27].....	96
Ilustración 54: Sistema optimizado. [27]	97
Ilustración 55: Sistema sub-compensado. [27]	97
Ilustración 56: Diagrama de bloque del convertidor con lazo interior de corriente y exterior de tensión. [27]	97
Ilustración 57: Modelado sencillo de 1º orden para un convertidor Buck en modo corriente. [27]	98
Ilustración 58: Etapa K_REF. [27]	99
Ilustración 59: Etapa de compensación A(s). [27]	100
Ilustración 60: Diagrama de bloques del sistema. [27]	101
Ilustración 61: Función de transferencia de la red de compensación. [27].....	102
Ilustración 62: Circuito controlador led LT3746. [29].....	106
Ilustración 63: Circuito controlador led MAX16834. [30].....	108
Ilustración 64: Circuito controlador led LC75843. [31]	110
Ilustración 65: Interfaz de inicio WEBENCH. [32]	111
Ilustración 66: Circuito de WEBENCH. [32].....	112
Ilustración 67: Interfaz final de eDesignSuite. [33]	113
Ilustración 68: Interfaz de inicio LTpowerCAD II v2. [34].....	114
Ilustración 69: Power stage desing LTpowerCAD II v2. [34].....	115
Ilustración 70: Loop comp. & Load Transient LTpowerCAD II v2. [34].....	116
Ilustración 71: Loss estimate LTpowerCAD II v2. [34]	116
Ilustración 72: CI LM317. [35].....	118
Ilustración 73: Diagrama de bloques LM317. [35]	119
Ilustración 74: LM2596. [36].....	120
Ilustración 75: LM2596 con display. [36].....	121
Ilustración 76: Esquema eléctrico LM2596. [36]	122
Ilustración 77: XL6009. [37]	123
Ilustración 78: Diagrama de bloques XL6009. [37].....	124
Ilustración 79: Esquema eléctrico XL6009. [37].....	125
Ilustración 80: CI LM2575. [38].....	125
Ilustración 81: Diagrama de bloques LM2575. [38]	126
Ilustración 82: CL2N3-G. [39]	127
Ilustración 83: Diagrama de bloques equivalente y diagrama del CI CL2N3-G. [39]	127
Ilustración 84: LM78XX. [40].....	128
Ilustración 85: Diagrama de bloques LM78XX. [40]	129
Ilustración 86: Conexión led. [41]	134
Ilustración 87: Conexión led en serie. [41]	135
Ilustración 88: Conexión led en paralelo. [41].....	135
Ilustración 89: Conexión led de potencia. [41].....	136
Ilustración 90: CI LM317. [35].....	140
Ilustración 91: Diagrama de bloque LM317. [35]	141
Ilustración 92: Esquema eléctrico LM317 como fuente de corriente. [35]	142
Ilustración 93: Modulo LM2596. [36].....	145
Ilustración 94: Diagrama de bloques LM2596. [36]	146
Ilustración 95: Tensión de salida normalizada (Figure 1) y Regulación lineal (Figure 2). [36] ..	148
Ilustración 96: Eficiencia (Figure 3) y Tensión de saturación (Figure 4). [36]	149
Ilustración 97: Esquema de medición. [36].....	151
Ilustración 98: Modulo XL6009. [37]	152
Ilustración 99: Diagrama de bloques XL6009. [37].....	153
Ilustración 100: Esquema eléctrico XL6009. [37]	156
Ilustración 101: CI LM2575. [38].....	159

Ilustración 102: Diagrama de bloques LM2575. [38].....	160
Ilustración 103: Tensión de salida normalizada y regulación lineal. [38]	162
Ilustración 104: Variación de la frecuencia y tensión de saturación. [38]	163
Ilustración 105: Esquema eléctrico LM2575 como fuente de corriente. [38].....	163
Ilustración 106: Esquema de medición. [38].....	166
Ilustración 107: CL2N3-G. [39]	170
Ilustración 108: Diagrama de bloques equivalente y diagrama del CI CL2N3-G. [39].....	170
Ilustración 109: Esquema a montar del CL2N3-G. [39].....	171
Ilustración 110: Esquema regulador de corriente.	173
Ilustración 111: Esquema regulador de corriente.	178
Ilustración 112: Esquema LM78XX como regulador de tensión. [40].....	185
Ilustración 113: Regulador LM78XX como fuente de corriente. [40]	186
Ilustración 114: Código buckcont.cir	189
Ilustración 115: Esquema del circuito. [26]	189
Ilustración 116: Simulación led de un 1 W.....	198
Ilustración 117: Simulación led de un 1 W.....	198
Ilustración 118: Esquema de medición. [36].....	202
Ilustración 119: Rizado de la intensidad de entrada.	202
Ilustración 120: Tensión en extremos de la bobina.	203
Ilustración 121: Tensión en extremos de la bobina.	208
Ilustración 122: Tiempo de encendido en extremos de la bobina.	209
Ilustración 123: Periodo en extremos de la bobina.	209
Ilustración 124: Corriente por la bobina.	210
Ilustración 125: Rizado de la intensidad a través de la bobina.....	211
Ilustración 126: Rizado de la tensión de salida.....	211
Ilustración 127: Optimización en WEBENCH. [32]	213
Ilustración 128: Circuito generado por WEBENCH. [32]	214
Ilustración 129: Valores de operación del circuito. [32]	214
Ilustración 130: Gráficas WEBENCH. [32].....	215
Ilustración 131: PCB generado por WEBENCH. [32].....	215
Ilustración 132: Lista de materiales generada por WEBENCH. [32].....	216
Ilustración 133: Opciones simulación. [32]	216
Ilustración 134: Gráfica de inicio. [32]	216
Ilustración 135: Resumen simulación. [32]	217
Ilustración 136: Respuesta ante una carga transitoria. [32].....	217
Ilustración 137: Resumen simulación. [32]	217
Ilustración 138: Gráfica transitorio de entrada y resumen. [32]	218
Ilustración 139: Gráfica en estado permanente y resumen de simulación. [32]	219
Ilustración 140: Tensiones del circuito con un led.	221
Ilustración 141: Intensidades circuito con un led.	221
Ilustración 142: Tensión de alimentación frente a la intensidad del led.	222
Ilustración 143: Intensidades del circuito con 3 led.	222
Ilustración 144: Tensiones del circuito con 3 led.	223
Ilustración 145: Tensión de alimentación frente la intensidad.	223
Ilustración 146: Tensiones con 2 leds.	226
Ilustración 147: Intensidades con 2 leds.	227
Ilustración 148: Intensidad en los leds frente tensión de alimentación.	228
Ilustración 149: Intensidades (5 leds).	229
Ilustración 150: Tensiones (5 leds).	229
Ilustración 151: Intensidad por los leds frente tensión de alimentación.	230
Ilustración 152: Esquema regulador de tensión. [40]	231
Ilustración 153: Circuito PSPICE.....	233
Ilustración 154: Voltajes e intensidades del circuito.	233
Ilustración 155: Tensión de entrada frente intensidad que circula por el led.	233
Ilustración 156: Voltaje de entrada frente voltaje en la resistencia limitadora.....	234
Ilustración 157: Regulador de corriente. [40].....	235
Ilustración 158: Esquema PSPICE regulador de corriente.	237
Ilustración 159: Voltajes e intensidades del circuito.	237
Ilustración 160: Tensión de entrada frente intensidad por el led.....	237
Ilustración 161: Tensión de entrada frente a voltaje en la resistencia limitadora.	238

Ilustración 162: Esquema en PSPICE como fuente de corriente.....	241
Ilustración 163: Voltajes e intensidades del circuito.....	241
Ilustración 164: Tensión de alimentación frente intensidad por el led.....	242
Ilustración 165: Tensión de alimentación frente voltaje en la resistencia limitadora.....	242
Ilustración 166: Voltaje de salida e intensidad por la bobina.....	244
Ilustración 167: Ciclo de trabajo.....	244

Índice de tablas.

Tabla 1: Contenido de la asignatura.....	21
Tabla 2: Objetivos generales.	23
Tabla 3: Objetivos específicos.....	23
Tabla 4: Contenidos teóricos.	30
Tabla 5: Componentes led y color.	37
Tabla 6: Comparativa led.	45
Tabla 7: Datos ejemplo.	103
Tabla 8: Comparativa software de fabricantes.....	117
Tabla 9: Distribución de prácticas.	133
Tabla 10: Voltajes led.	137
Tabla 11: Valores máximos LM317.	142
Tabla 12: Valores recomendados LM317.	142
Tabla 13: Valores máximos LM2596.	147
Tabla 14: Valores máximos y mínimos del LM2596.....	147
Tabla 15: Tensión de realimentación y eficiencia para D=0,25.....	148
Tabla 16: Datos LM2596.	150
Tabla 17: Rango de funcionamiento XL6009.	153
Tabla 18: Valores máximos XL6009.....	154
Tabla 19: Características eléctricas del XL6009.....	155
Tabla 20: Comprobación del rango de funcionamiento.	157
Tabla 21: Resultados obtenidos XL6009.	158
Tabla 22: Valores máximos LM2575.	161
Tabla 23: Características eléctricas del LM2575.	161
Tabla 24: Resultados obtenidos LM2575.....	165
Tabla 25: Valores máximos CL2N3-G.....	170
Tabla 26: Especificaciones eléctricas CL2N3-G.....	171
Tabla 27: Resultados obtenidos CL2N3-G.	171
Tabla 28: Parámetros transistores.....	175
Tabla 29: Medidas con diferentes voltajes de alimentación.....	175
Tabla 30: Parámetros transistores.	175
Tabla 31: Medidas con diferentes voltajes de alimentación.....	176
Tabla 32: Medidas en los transistores con PSPICE.....	176
Tabla 33: Medidas con diferentes voltajes de alimentación en PSPICE.	177
Tabla 34: Comparación de resultados.	177
Tabla 35: Medidas.	180
Tabla 36: Medidas con diferentes tensiones de alimentación.	180
Tabla 37: Medidas 5 led.	180
Tabla 38: Medidas con diferentes voltajes de alimentación.....	181
Tabla 39: Medidas.	181
Tabla 40: Comparación de resultados 2 led.....	182
Tabla 41: Comparación de resultados 5 led.....	182
Tabla 42: Modelos LM78XX.....	183
Tabla 43: Tabla de medidas con led de 3 W.	185
Tabla 44: Medidas con led de 1 W.	187
Tabla 45: Parámetros del circuito.	190
Tabla 46: Resumen de voltaje led.....	191
Tabla 47: Medidas laboratorio con 5 V de alimentación.....	192
Tabla 48: Medidas laboratorio con 12 V de alimentación.	193
Tabla 49: Rangos máximos led 1 W (LW_G6SP-TYP). [42].....	193
Tabla 50: Medidas led de 1 W.	196
Tabla 51: Medidas led de 3 W.	197
Tabla 52: Intensidad de salida frente tensión de entrada.	200
Tabla 53: Potencia de salida frente tensión de salida.	201
Tabla 54: Rendimiento frente tensión de salida.....	201
Tabla 55: Comprobación del rango de funcionamiento.	204

Tabla 56: Resultados obtenidos	205
Tabla 57: Intensidad de salida vs tensión de salida	206
Tabla 58: Potencia de salida vs tensión de salida	207
Tabla 59: Rendimiento vs tensión de salida	207
Tabla 60: Valores teóricos.....	213
Tabla 61: Medidas simulación.	221
Tabla 62: Medidas laboratorio con alimentación a 9 V para 2 leds.	224
Tabla 63: Medidas laboratorio con diferentes tensiones de alimentación para 2 leds.	225
Tabla 64: Medidas laboratorio con alimentación a 15 V para 5 leds.	225
Tabla 65: Medidas laboratorio con diferentes tensiones de alimentación para 5 leds.	226
Tabla 66: Medidas simulación de alimentación 9 V para 2 leds.	227
Tabla 67: Comparación de resultado 9V.....	227
Tabla 68: Comparación de resultados con alimentación a 15 V.	230
Tabla 69: Resumen simulación.	238
Tabla 70: Resultados simulación.	241
Tabla 71: Datos de la simulación.	243

MOTIVACIÓN, OBJETIVOS Y DESCRIPCIÓN

I. CONTEXTO DOCENTE

Este trabajo que se presenta se implementará dentro del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial que se imparte en la Escuela Politécnica Superior de Jaén; habilitado para profesiones reguladas de acuerdo con la Orden CIN/311/2009, de 9 de febrero, BOE de 18 febrero de 2009.

El plan de estudios mencionado consta de 240 créditos ECTS, que se estructuran en materias obligatorias con un total de 210 créditos, Trabajo Fin de Grado con 12 créditos y 30 más de materias optativas (complementos de formación). Las materias obligatorias se dividen a su vez en tres módulos: (1) Formación básica (60 ECTS), (2) Asignaturas comunes a otras ramas (60 ECTS) y (3) Tecnología específica (78 ECTS)

Del total de 33 asignaturas que conforman el módulo de materias obligatorias, no hay una asignatura en la que se imparten contenidos relacionados con el área de conocimientos de Tecnología en iluminación.

A la asignatura de Electrónica en Sistemas de iluminación en el Automóvil, acceden alumnos de Ingeniería Electrónica Industrial. Esta asignatura pertenece al primer cuatrimestre siendo una optativa para el alumnado, que selecciona 5 asignaturas (30 ECTS) entre las ofertadas por la Escuela Politécnica. El conjunto de las asignaturas optativas conforma 3 menciones, Sistemas Electrónicos, Automática y Sistemas Fotovoltaicos, el alumno deberá seleccionar 5 asignaturas pertenecientes a la mención para obtener la misma.

Entre las competencias básicas se encuentran: Aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional, demostrando por medio de la elaboración y defensa de argumentos, la capacidad para solucionar problemas dentro del área de trabajo. Desarrollar la habilidad para transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado. Obtener o mejorar la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.

El alumno obtendrá conocimientos de los fundamentos de la electrónica; fundamentos de automatismos y métodos de control, desarrollando unas competencias generales. También dan como resultado competencias específicas como: Conocimiento de los fundamentos y aplicaciones de la electrónica analógica, capacidad para diseñar sistemas electrónicos analógicos, conocimiento aplicado de electrónica de potencia, capacidad para diseñar

sistemas electrónicos de potencia y conocimientos aplicados a la instrumentación electrónica.

Este trabajo que presentamos, se enmarca dentro de la asignatura optativa “Electrónica en Sistemas de Iluminación en el Automóvil”. En la actualidad se trata de dar conceptos relacionados con la electrónica que se consideran de interés para el futuro titulado y que deberá de ejercer la profesión de ingeniero electrónico industrial. A esta asignatura le corresponden 6 créditos ECTS de los cuales 3 créditos serán destinados a clases prácticas en el laboratorio (realización de los montajes con carácter didáctico).

Cada crédito ECTS son 25 horas de trabajo del alumno (10 horas presenciales de clase + 15 horas de trabajo personal) en esta asignatura que es de 6 créditos totales, serán 2,5 créditos de teoría y 3 créditos de prácticas + 0,5 de tutorías colectivas.

En la siguiente tabla podemos observar un pequeño resumen con los principales temas que se desarrollaran en este trabajo.

Temas de la asignatura	
Tema 1	Tecnología de la iluminación en automoción y electrónica utilizada
Tema 2	Tecnología de la luz I (Fundamentos Y aplicaciones)
Tema 3	Tipos de lámparas en iluminación. Automoción evolución (pasado, presente y futuro)
Tema 4	Tecnología Led y elementos de protección. Tipos de Led
Tema 5	Tecnologías ópticas de la iluminación en automóviles
Tema 6	Driver de alimentación de diodos led y Driver lineales de corriente
Tema 7	Fuentes de alimentación reguladas discretas
Tema 8	Fuentes de alimentación reguladas con circuitos integrados
Tema 9	Driver PWM. Driver de alimentación conmutados. Configuraciones
Tema 10	Estabilidad y lazos de realimentación
Tema 11	Aplicación circuitos integrados fabricantes y herramientas de diseño

Tabla 1: Contenido de la asignatura

II. MOTIVACIÓN

El presente trabajo surge por la necesidad de disponer de un material básico para impartir la docencia de una asignatura optativa “Electrónica en sistemas de Iluminación en Automoción”. El contenido está relacionado con la electrónica utilizada en sistemas de iluminación, el cual no está presente en otra asignatura del grado, de ahí la necesidad de búsqueda de información y desarrollar un contenido para la asignatura.

El trabajo se realiza en el departamento de Ingeniería Electrónica y Automática de la Escuela Politécnica Superior en la Universidad de Jaén en calidad de Trabajo Fin de Grado en el plan de estudios de grado en Ingeniería Electrónica Industrial.

Este trabajo fue propuesto y supervisado por Juan Domingo Aguilar Peña y Gabino Jiménez Castillo profesores del área de tecnología de este mismo departamento y realizado por Sergio Peinado Martínez.

III. OBJETIVOS

Como se ha comentado anteriormente es necesario disponer de un material básico para poder conocer los diodos led de potencia aplicados a iluminación en automoción. Con este trabajo conoceremos la evolución que han tenido los sistemas de iluminación, y las distintas tecnologías que se han ido empleado, en concreto nos centraremos en la iluminación led en automoción y los drivers utilizados para la excitación del mismo.

En la automoción y en concreto en la parte de iluminación se necesitan desarrollar e investigar en nuevos sistemas lumínicos, que permitan mejorar el rendimiento a nivel energético, funcionalidad y sobre todo en seguridad para el vehículo y los ocupantes.

Entre los objetivos, se pueden distinguir dos tipos, los objetivos generales, que tiene como función resumir y presentar la idea central de un trabajo académico, y los objetivos específicos, los cuales presentan de forma detallada los resultados que se pretenden alcanzar a través de la investigación.

Los objetivos generales que se desarrollaran con este trabajo son:

Objetivos generales
Capacidad de analizar los distintos tipos de tecnologías utilizados en automoción.
Comprender la importancia que tiene el uso de la tecnología led en la iluminación actualmente.
Familiarizarse con los distintos tipos de drivers utilizados en la iluminación de led en automoción.
Conocer la evolución que han tenido los sistemas de iluminación, y las distintas tecnologías que se han ido empleado, en concreto nos centraremos en la iluminación led en automoción.

Tabla 2: Objetivos generales.

Los objetivos específicos que se desarrollaran con este trabajo son:

Objetivos específicos
Conocer la evolución que han tenido los sistemas de iluminación, y las distintas tecnologías que se han ido empleado, en concreto nos centraremos en la iluminación led en automoción.
Se estudiará los tipos de led aplicados en los sistemas de iluminación.
Se analizará circuitos electrónicos aplicados a los drivers lineales para el control de led.
Se analizará las tipologías de convertidores dc-dc, conmutadas aplicadas en automoción.
Analizar la alimentación led con driver lineales, sus circuitos principales, ventajas e inconvenientes.
Se realizarán unos circuitos prácticos de aplicación que muestren los principales conceptos de iluminación en led.
Búsqueda y análisis de circuitos integrados utilizados de distintos fabricantes.
Se diseñará un conjunto de prácticas de laboratorio para experimentar o conocer los leds y sus drivers.

Tabla 3: Objetivos específicos.

Además del uso en vehículos, los diodos led de potencia tienen muchas más aplicaciones, como circuitos de laboratorio que sirven para ver su funcionamiento, aprender a configurarlos y desarrollar práctica manual con los mismos, los montajes se desarrollaran y explicaran más adelante. Entre los circuitos se verán ejemplos de los distintos tipos de excitación y control de los leds, como driver lineales o conmutados. Además de ver como su varia su luminosidad según la intensidad y asegurar la temperatura de funcionamiento mediante el cálculo de resistencias térmicas que se ajusten a distintos drivers, los cuales determinan la intensidad que circula.

Se presenta un conjunto de montajes experimentales con carácter didáctico que formaran parte de una asignatura optativa de cuarto curso: “Electrónica Aplicada a la Iluminación del Automóvil”, la cual formaría parte de la mención en sistemas electrónicos con las modificaciones del plan de estudios de 2020/21.

IV. DESCRIPCIÓN

Dentro de la automoción, la parte de iluminación en sus distintas vertientes es fundamental para el correcto funcionamiento y seguridad de los vehículos. Durante los últimos años la utilización de los leds ha aumentado de forma muy importante, siendo hoy en día una alternativa real a los sistemas de iluminación tradicionales en automoción. El funcionamiento y la duración de una luminaria led depende en gran medida del driver que estabiliza la corriente y proporciona protección térmica.

Con este trabajo se pretende realizar un informe técnico, con distintos montajes prácticos de laboratorio, sobre los conceptos básicos de la iluminación en el automóvil, haciendo énfasis a las últimas tecnologías como la tecnología led y tipos, comentando las topologías de circuitos electrónicos empleados en los drivers de ataque y estos dispositivos, y circuitos integrados específicos de distintos fabricantes.

El trabajo se desarrollará en dos partes distintas. Una primera teórica y con conceptos técnicos, y una segunda con el montaje de circuitos en el laboratorio, ambas estarán centradas en circuitos electrónicos de excitación y control (Driver) de los leds.

En la primera parte se explicará los antecedentes y toda la parte teórica relacionada con la electrónica led, así como los distintos tipos de led, aplicaciones, evolución, control, etc.

Se estudiarán todas las tecnologías de iluminación en automoción, algunos circuitos integrados utilizados en el control de led en automoción. Tecnologías que están en desarrollo e investigación para el futuro de la iluminación en automoción.

Se estudiará la evolución que han tenido los sistemas de iluminación en automoción, analizando las ventajas que presenta cada sistema e inconvenientes, así como su viabilidad frente las tecnologías actuales.

El segundo bloque está formado por tres partes: la primera, donde se describe de la distribución de las prácticas (créditos y horas dedicadas), la segunda que se compone de una explicación teórica de los montajes

experimentales con carácter didáctico que se van a desarrollar (guion para el alumno). Compuesta por el montaje de drivers de control, y montajes básicos sobre conceptos relacionados con los leds, tales como conexionado, tensión característica, alimentación, etc.

Y para finalizar, se concluye con la tercera parte, donde se encuentran los montajes experimentales y medidas en la que se realizarán los cálculos teóricos y simulaciones. Se pondrán a prueba los montajes estudiados para analizar los resultados, esta parte correspondería con el guion del profesor, es decir, la resolución de los montajes propuestos.

También se incluirán simulaciones en PSPICE y otros softwares gratuitos que ofrecen algunos fabricantes, con el objetivo de compararlos y ver cual ofrece más herramientas y versatilidad para su uso en docencia.

V. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la realización de este trabajo, se basa en la búsqueda de información en diversas fuentes, como libros, artículos, hojas de características y páginas web, pero todas con un tema común la tecnología led y la iluminación en automoción. Toda la información utilizada será citada en la biografía al final del trabajo.

Los pasos y partes a tratar se detallan a continuación:

1. Búsqueda de información relacionada con el tema de iluminación en automoción.
2. Historia de la iluminación en automoción.
3. Tecnología actual de la iluminación en automoción y electrónica utilizada.
4. Tecnología Led y elementos de protección.
5. Driver de alimentación de corriente lineales
6. Driver PWM.
7. Driver de alimentación conmutados.
8. Estabilidad y lazos de realimentación.
9. Aplicación circuitos integrados fabricantes y herramientas de diseño.
10. Futuro de los sistemas de iluminación en automoción.

Además, el trabajo consta de unas prácticas experimentales con carácter docente, las cuales están compuestas por un guion para el alumno y un manual para el profesor.

Referente al contenido práctico, parte se ha desarrollado en el laboratorio 454, situado en el edificio A3 de la Escuela Politécnica Superior de Jaén. Sin embargo, no todas se han podido realizar presencialmente debido al COVID-19, por lo que algunas se realizaron de manera telemática.

BLOQUE 1

CONCEPTOS EN DIODOS LED DE POTENCIA Y SU USO EN AUTOMOCIÓN

DISTRIBUCIÓN DE LA PARTE TEORICA

La asignatura “Electrónica Aplicada a la Iluminación del Automóvil” formará parte del grado de Ingeniería Electrónica Industrial en el curso 2020/21.

La asignatura en conjunto tendrá 6 créditos ECTS, de los cuales 2,5 créditos serán destinados a clases de teoría.

En la siguiente tabla vemos un resumen con los principales puntos que trataremos en la parte de teoría.

Parte Teórica
Antecedentes de los diodos led
Evolución de los sistemas de iluminación en automoción
Tecnología led. Tipos de diodos led
Fundamentos lumínicos
Luces en automoción
Percepción óptica
Drivers led
Drivers led en automoción

Tabla 4: Contenidos teóricos.

Dando como resultado unos conocimientos generales sobre los sistemas de iluminación, aplicaciones de led en sistemas de automoción; dispositivos led de potencia, sus limitaciones y saber protegerlos.

Saber analizar, calcular, simular y montar un driver lineal. Saber analizar, calcular, simular y montar un conmutado y su realimentación. Conocimientos sobre fabricantes de driver para automoción.

1. ANTECEDENTES DE LOS DIODOS LED

La electroluminiscencia lo observó por primera vez el capitán Henry Joseph Round (18818-1966) militar, ingeniero y asistente personal de Guillermo Marconi mientras trabajaba con cristales de carburo de silicio en 1907. Pero hasta 20 años después (1927) no se conoció la creación del primer led a manos del inventor ruso Oleg Losev, pero que en aquellos momentos parecía carecer de cualquier aplicación práctica por la baja eficiencia lumínica.

En 1960 se creó un led infrarrojo, aunque este trabajaba en condiciones experimentales muy severas, ya que tenía que ser colocado en nitrógeno líquido aumentado así el rendimiento.

Poco después en 1962 el científico Nick Holonyak (fue nombrado como el padre de led) desarrolló el primer led que radiaba dentro del espectro visible con luz de color rojo. En los siguientes diez años se inventó el led amarillo y la luminosidad de los leds rojos se incrementó. Ya en 1976 se inventaron los primeros leds enfocados para las telecomunicaciones a través de fibra óptica.

Los leds más antiguos estaban hechos de material semiconductor como el arseniuro de galio y se producían solo en unos pocos colores (principalmente rojo o verde).

Hasta 1994 no se presentó el primer led azul de alta luminosidad, desarrollado por Shuji Nakamura en combinación con el trabajo de Isamu Akasaki e Hiroshi Amano, con esto ganaron el premio nobel de física en 2014.

Poco después de conseguir leds azules de alta eficiencia llegó el primer led blanco, La combinación de luz roja, verde y azul se percibe como blanca por el ojo humano, esto se produjo en 1995.

La tecnología led sigue en desarrollo e investigación en busca de una mejora económica y eficiente, mejorando su brillo. Hasta ahora está disponible casi toda el área del espectro visible.

En la actualidad el uso de los leds (Light Emitting Diodes) ya ocupa un lugar importante en el sector de la iluminación, siendo una de las mejores opciones entre otros sistemas de iluminación. Los leds están siendo utilizados en automoción, domótica, señalización, entre otras aplicaciones, debido a su alta fiabilidad y bajo consumo, aunque alto coste.

En el sector del automóvil está teniendo un gran éxito, pues las principales marcas cada vez montan más esta tecnología que ofrece una gran visión y luminosidad con un consumo muy por debajo del resto de opciones. Estas

características son ideales para los coches que eléctricos los cuales están teniendo un gran desarrollo en la última década por su baja contaminación en contra posición de los coches de combustión. La tecnología led permite a los coches eléctricos tener mayor autonomía de batería proporcionando una gran iluminación.

Los grandes avances de la tecnología led se han producido principalmente en los últimos años (siglo XXI), los cuales se explicarán en detalle más adelante.

En la siguiente imagen podemos observar algunos de los leds más utilizados en laboratorios, con algunos de ellos se realizarán las practicas que veremos más adelante.

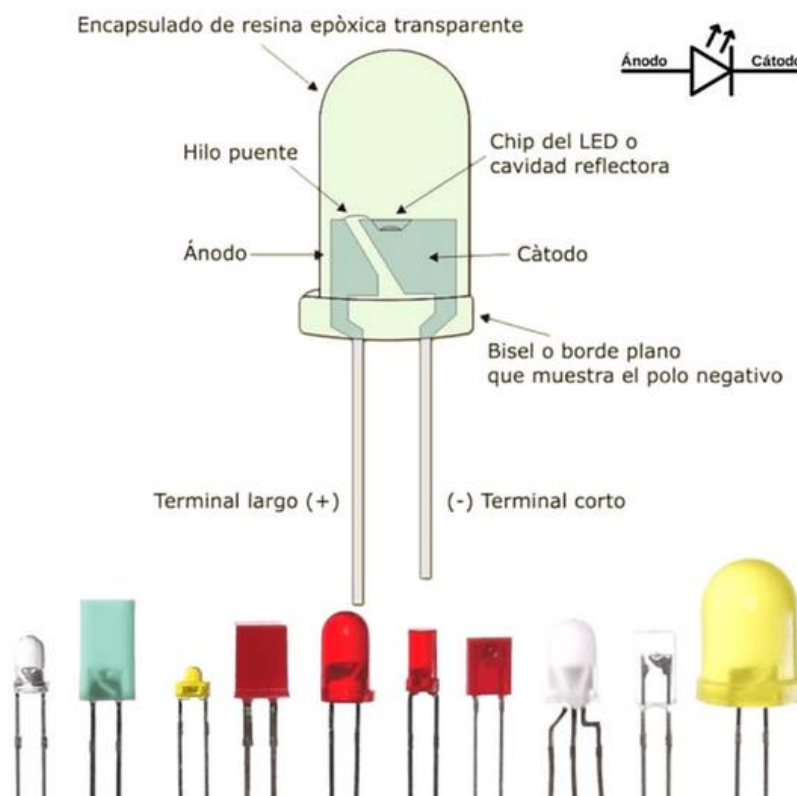


Ilustración 1: Tipos de diodos leds de laboratorio. [1]

1.1. DIODO EMISOR DE LUZ

Un diodo emisor de luz es una fuente de luz que emite fotones cuando es atravesado por una corriente eléctrica de baja intensidad.

1.1.1. FUNCIONAMIENTO

Un diodo tiene dos posiciones. Un polarizado inverso, donde no puede circular la corriente, ya que tiene una tensión inversa muy elevada y se destruiría en caso de que ocurra, y polarizado directo, este modo es el que nos interesa, ya que tiene una baja tensión de funcionamiento y nos permite el paso de corriente a través de él.

Cuando se encuentra polarizado directamente y aplicamos una caída de tensión en los extremos del led, comienza a circular corriente por el led. Cada vez que un electrón con demasiada carga negativa está en la región N adquiere energía para poder sobrepasar la resistencia que le ofrece la diferencia de potencial eléctrico, la atraviesa y se combina con un hueco positivo de los sobrantes en la región P. En el mismo instante que ocurre esa combinación, la energía de sobra que adquirió el electrón para poder atravesar la diferencia de potencial, se transforma en energía electromagnética, que se libera en forma de fotón y a su vez de luz visible.

El efecto por el cual se desprenden fotones se conoce como, efecto de electroluminiscencia (un fenómeno óptico y eléctrico en el cual un material emite luz en respuesta a una corriente eléctrica que fluye a través de él, se puede observar en la siguiente ilustración).

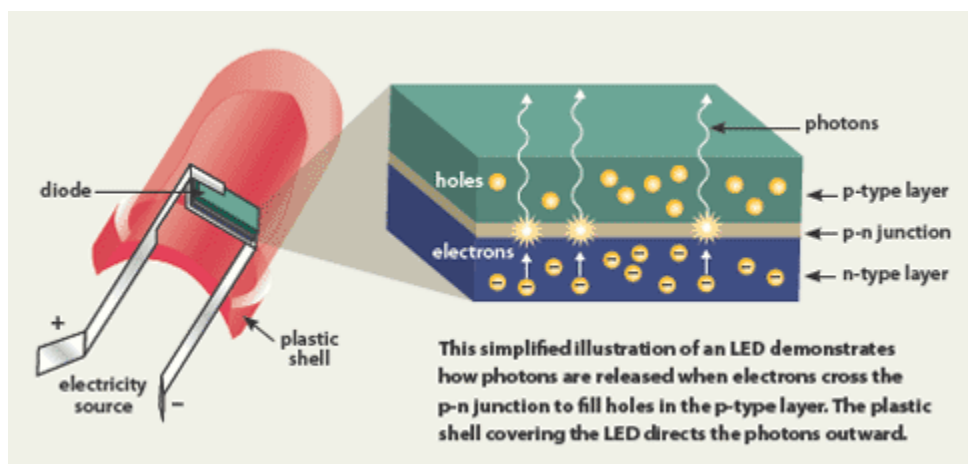


Ilustración 2: Efecto de electroluminiscencia. [1]

El voltaje directo y la corriente del LED están relacionados por:

$$I_F = I_S \left(e^{\frac{V_F}{KT}} - 1 \right) \quad (1.1)$$

I_S es la corriente de saturación inversa

I_F es la corriente del led

T es la temperatura de unión absoluta

K denota Constante de Boltzmann

e representa carga de electrones

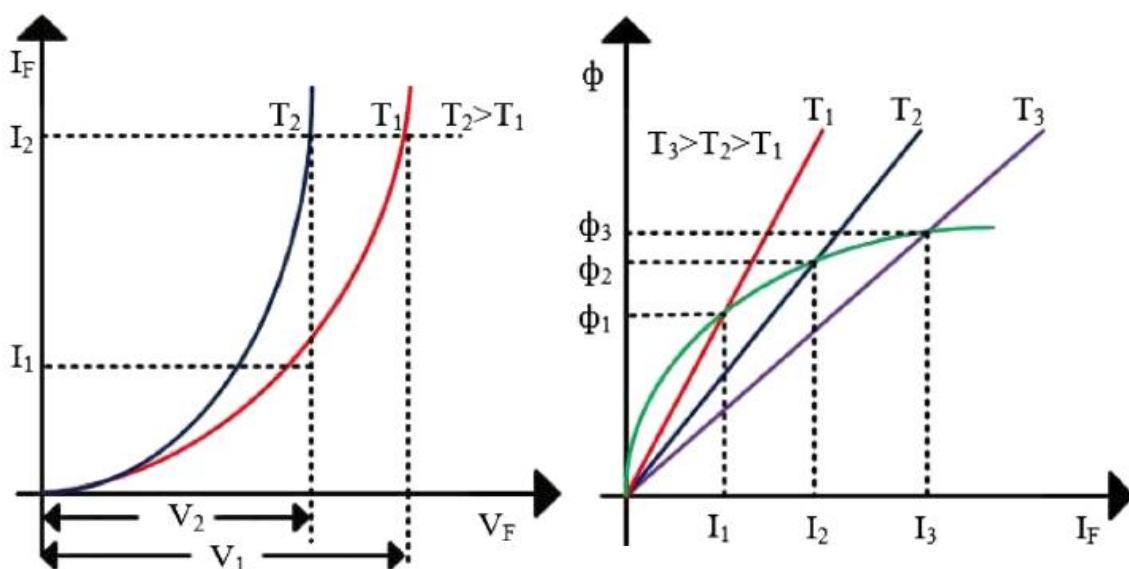


Ilustración 3: a) Voltaje frente a intensidad directa en un led. b) Temperatura en el led frente la eficacia luminosa. [4]

La grafica izquierda anterior se muestra V-I de un led. Se puede observar que el voltaje del led disminuye con el aumento en temperatura. Por lo tanto, si hay una fuente de voltaje conectada a led, la corriente crece rápidamente y de este modo se incrementa la temperatura de unión sin control. Los leds deberían estar conectado a una fuente de corriente para funcionar de forma segura y confiable.

La grafica derecha anterior nos muestra el efecto de la temperatura en la eficiencia luminosa. A temperatura de unión constante, la eficiencia luminosa es directamente proporcional al corriente led. Sin embargo, debido a la no

irradiación de recombinación, recombinación de superficie y pérdida de portador sobre barreras de hetero estructura, la temperatura de la unión aumenta. Por lo tanto, la tasa de crecimiento de luminosa la eficiencia se vuelve pobre cuando la corriente del led aumenta en cierta medida. Además, es importante predecir la vida útil y confiabilidad de los controladores led que utilizan mejoras de método de análisis de estrés parcial. Este método considera las variaciones de los parámetros al evaluar la fiabilidad en tanto los niveles de estrés, como en el modelo de la vida del electrolítico.

Para el funcionamiento de dicho led se suele aplicar una tensión entre 1 y 3V, y entre 0.1 y 3 A. La temperatura a la que se encuentra depende de la potencia aplicada; a mayor temperatura disminuye la eficiencia energética, operando mejor a temperaturas bajas, por lo cual, es necesario un diseño que permita la disipación térmica del dispositivo, asegurando su correcto funcionamiento.

1.1.2. COMPOSICIÓN

Un diodo led es una fuente de luz formada principalmente por un material semiconductor y dos terminales. Se trata de una unión P-N que dependiendo del semiconductor del que este compuesto emite una longitud de onda distinta. (MecatronicaLATAM, 2019)

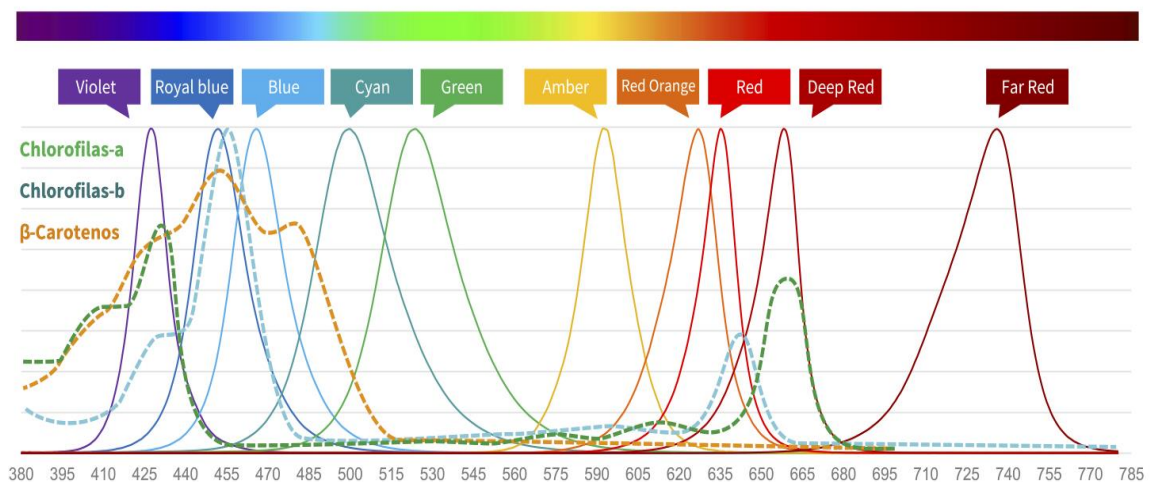


Ilustración 4: Espectro de longitudes de onda. [6]

En la ilustración anterior podemos ver la frecuencia de onda que emite cada diodo led según el color que elijamos. A continuación, veremos cómo afecta el material de fabricación al color del led, su longitud de onda, y su respectiva caída de tensión.

Arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo
Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo
Arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	Rojo, anaranjado y amarillo
Fosfuro de galio (GaP)	Verde
Nitruro de galio (GaN)	Verde
Seleniuro de zinc (ZnSe)	Azul
itruro de galio e indio (InGaN)	Azul
Carburo de silicio (SiC)	Azul
Diamante (C)	Ultravioleta

Tabla 5: Componentes led y color.

Características LED	
Semiconductor Material	Tensión (V) a 20mA
GaAs	1.2
GaAsP	1.8
GaAsP	2.0
GaAsP:N	2.2
AlGaP	3.5
SiC	3.6
GaN	4.0
Voltaje LED	
Color	Tensión (V)
Rojo	1.8 a 2.2
Anaranjado	2.0 a 2.2
Amarillo	2.0 a 2.4
Verde	2.0 a 3.5
Azul	3.5 a 3.8
Blanco	3.6 a 4.0

Ilustración 5: Materiales led. [7]

1.1.3. PERDIDA DE EFICIENCIA LED

Cuando la corriente eléctrica suministrada a un led sobrepasa el límite del led, esta electricidad no es utilizada, disminuyese la eficiencia luminosa a causa de un efecto denominado pérdida de eficiencia.

El descenso de eficacia se atribuyó a la recombinación Auger. Por eso los leds que trabajan con corrientes eléctricas superiores tienen menor eficiencia además de comprometer la vida útil por las altas temperaturas.

Para aumentar la luminosidad en un led, la única alternativa posible es instalar varios leds en una lámpara, pues aumentar la corriente no sirve. En la ilustración 3.b podemos ver cómo afecta la temperatura y la intensidad al flujo luminoso.

1.1.4. DISIPADORES DE CALOR

Además de los datos mostrados anteriormente los leds de potencia que trabajan con intensidades superiores a las asignadas en sus hojas de características también bajan de rendimiento por el exceso de temperatura y pueden sufrir daños hasta el punto de quedar inservibles.

Para evitar que el calor emitido pueda ocasionar problemas a los leds, así como al resto de componentes electrónicos se dispone de disipadores de calor, los cuales transmiten el calor generado por el led y los componentes electrónicos al ambiente. El disipador pretende mantener el led en un rango de temperatura adecuado para su funcionamiento. Un parámetro importante en los disipadores de calor es la resistencia térmica del disipador, el valor de esta debe ser bajo para una buena conducción térmica y óptima disipación del calor.

Para que el calor se transmita del led al ambiente es necesario que el led esté perfectamente unido al disipador, ya sea por un contacto directo o por medio de otros medios como pegamentos o pastas térmicas las cuales facilitan el paso del calor desde el led hasta el disipador. También si tenemos un PCB con diversos leds y para mejorar el rendimiento de la disipación de calor se puede forzar una ventilación mediante ventiladores.

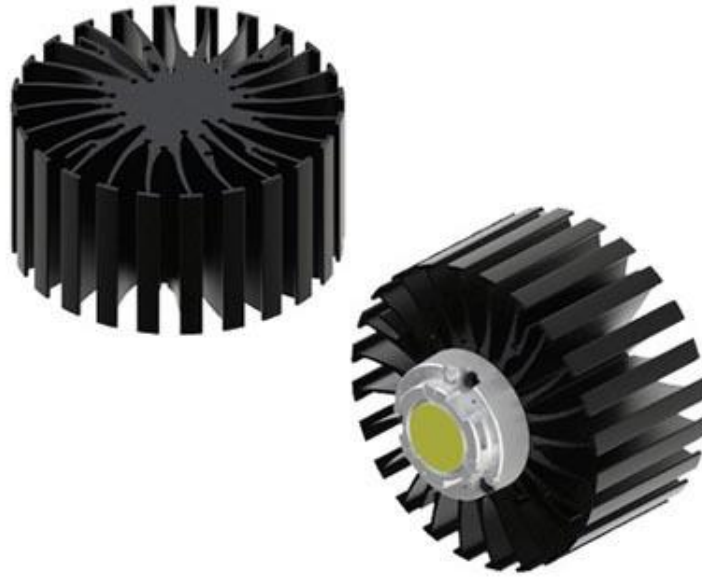


Ilustración 6: Disipador led. [8]

En la ilustración anterior se puede observar un led y su disipador de calor al que está unido. Para garantizar el mejor rendimiento se necesita una buena conducción térmica entre ambos, los leds de potencia suelen utilizar un conductor térmico entre el disipador y el led como pueden ser: espuma acrílica conductora, adhesivos epoxis conductores, pasta térmica, material de cambio de fase, etc.

2. EVOLUCION EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACION EN AUTOMOCION

Los faros en los vehículos tienen como función iluminar la vía por la noche de forma eficiente, pero sin deslumbrar el resto vehículos de la vía y que el vehículo sea visible por el resto de vehículos. Los faros y pilotos tienen un gran peso en la seguridad activa del vehículo.

2.1. HISTORIA

Los primeros usos de iluminación en automoción se produjeron en 1900, a continuación, mostrare los principales acontecimientos en la historia.

- En 1908 se instalaron las primeras luces eléctricas en vehículos motorizados.
- En 1915 introducción de luces traseras rojas y luces de freno amarillas.
- En 1925 llegaron las primeras bombillas de doble filamento.
- En 1936 lanzamiento de lámparas incandescentes.
- En 1940 surgieron las intermitentes en la parte delante y trasera con cancelación automática.
- En 1945 se introdujeron los faros dentro de la carrocería del vehículo.
- En 1960 llegaron las primeras lámparas halógenas a Europa.
- En 1979 aparecieron las primeras lámparas de haz sellado halógenas en Estados Unidos.
- En 1983 las lámparas ya son reemplazables.
- En 1991 llegó el xenón a Europa.
- En 1993 se presentan las luces led trasera en coches como Ford.
- En 1996 obligación de una nivelación obligatoria en los faros en Europa.
- En 2003 aparecen los primeros faros orientables en coches.

Entre los hechos más importantes que han acontecido se podría destacar más el primer uso del xenón en un vehículo para su iluminación, esto se produjo en el BMW serie 7 en 1991. Este vehículo contaba solo con la luz de cruce en xenón el resto de iluminación seguía siendo halógena.

No fue hasta 2001 donde se vieron los primeros faros bixenón, que fue montado en varios modelos diferentes.

En 2007 se montó iluminación led delantera por primera vez en un vehículo, en concreto en el Lexus LS600h, montado iluminación led en luces de posición y de cruce, pero manteniendo las halógenas para las luces de largo alcance.

El primer coche en montar faros led completos fue el Audi R8, después otros fabricantes siguieron su sistema, pero debido a su precio solo en coches más premium. Actualmente la mayoría de fabricante dan opción de montar faros led en sus modelos, pero como un extra y con un precio añadido.

Otro recurso utilizado por los fabricantes son los **intermitentes dinámicos**, que se encienden desde el interior hacia el exterior durante un corto tiempo, aproximadamente unos 150 ms, después permanece encendido por 250 ms y se repite el ciclo. Su función es como los normales, persiguiendo mejorar la comprensión de la información que se proporciona a los usuarios de la vía, así como aspectos subjetivos como una mejora de la estética del vehículo. Se pueden descartar diferentes mejoras frente los clásicos, como pueden ser su mayor tamaño al tratarse una tira de led y no una sola bombilla, esto aporta una mejor visualización por el resto conductores o peatones.

En la siguiente ilustración se observa el funcionamiento de un intermitente adaptativo izquierdo, empezando a iluminarse desde la derecha y continuando progresivamente hacia la izquierda, quedando encendido por completo.



Ilustración 8: Intermitentes dinámicos. [9]

En seguridad también se han incorporado más funciones como los **pilotos adaptativos** que en caso de frenada de emergencia (superior a $0,7g$) se activan automáticamente los warning, parpadeando varias veces para avisar al resto de usuarios que se está efectuando una frenada muy pronunciada.

Entre los más actual destacar los faros matrix led y matrix laser, son los más actuales su función es algo similar a los adaptativos pero muy por encima.

Los **faros matrix led** funcionan automáticamente regulando el brillo de cada led del faro en diferentes niveles (hasta 64), esto les permite contar con luz diurna, cruce, carretera, alumbrar en curva y proyectar una sombra sobre los vehículos que circulan por delante para evitar deslumbrarlos. Para detectar el entorno y otros vehículos el coche también necesita de cámaras y un software que controle todo el sistema. Las luces de cruce y carretera pasarían a estar obsoletas pues el coche controlaría totalmente la iluminación según las necesidades de la vía. En contra tiene su precio sobre 3000 euros al montarlos.

Los **faros matrix laser** tiene las funciones que los anteriores pero su funcionamiento es diferente, el faro se compone de miles de micro espejos, que cambian de posición para dirigir la luz con total precisión. Esto se similar a un proyector permitiendo hacer hasta marcas en carreteras. Tienen más potencia que las matrix led, pero el control de la luz es más difícil, por lo que solo se usan en luces de largo alcance, además su costo es muy elevado. Esta tecnología se consigue con diodos OSRAM que emiten una luz azul de 450 nm, con la ayuda de convertidor se transforma en luz blanca.

También se pueden hacer otras funciones con los diodos laser anteriores como el **antiniebla trasero**, que podrían ser capaces de dibujar una línea roja a 30 m de distancia del vehículo (distancia mínima a otro coche) que sería perfectamente visible para el resto de usuarios de la vía.

Podemos ver un ejemplo de antiniebla con tecnología de diodo laser en la siguiente ilustración a la izquierda. En la ilustración de la derecha se puede ver un ejemplo de funcionamiento de tecnología matrix led, apagando solo los leds que deslumbran al coche que viene en dirección opuesta.

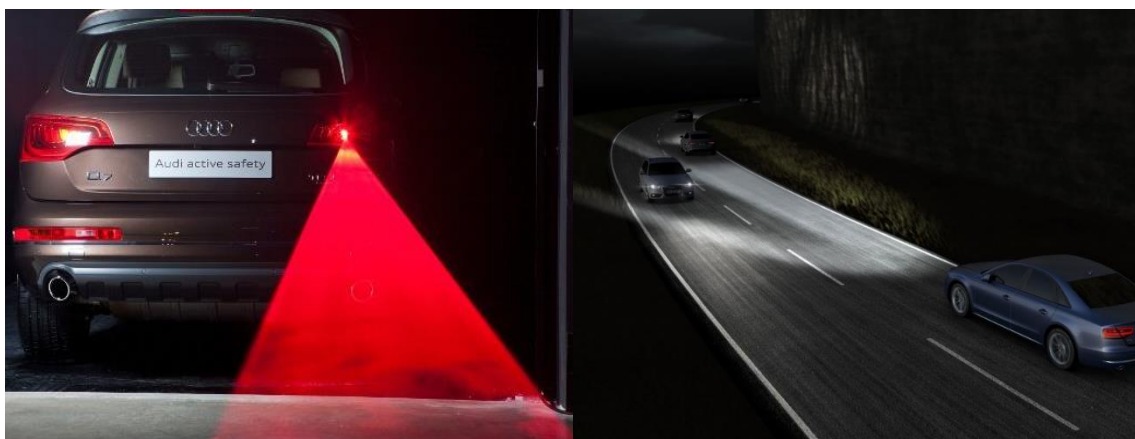


Ilustración 9: Sistemas de iluminación matrix y laser. [12]

3. TIPOS DE DIODOS LED

Los leds se pueden clasificar de diferentes formas según sus características, según tecnología de fabricación, por su potencia, la longitud de onda o por algunas características específicas.

3.1. CLASIFICACION SEGÚN TIPO

Esta clasificación distingue los leds según sus características físicas y por el uso al que están destinados por las mismas. Pues cada uno aporta soluciones a necesidades específicas.

3.1.1. LED DIP o DUAL IN-LINE PACKAGE

Su diseño se basa en un diodo led dentro de una carcasa de plástico duro transparente, en la que sobresalen dos pines de conexión en paralelo, estos leds pueden tener distintos colores según el color de la carcasa que será el emitido.

Son los primeros que existieron y los más básicos. Su uso está destinado a pilotos luminosos de electrodomésticos, señales viales, etc.

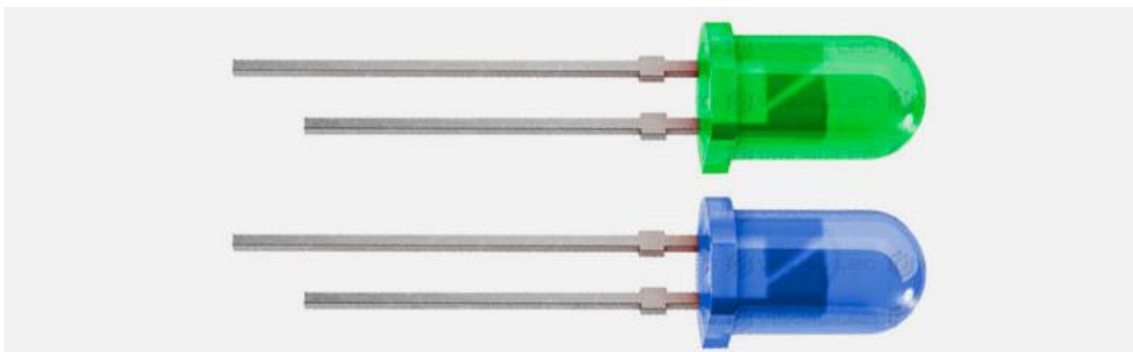


Ilustración 10: LED DIP o Dual In-Line Package. [13]

3.1.2. LED SMD o SURFACE MOUNTED DIODE

Su nombre hace referencia a la forma en que van instalados (led de montaje superficial), son diodos encapsulados en una resina semirrígida aportándole gran resistencia golpes.

Se puede destacar que producen gran cantidad de luz unidireccional, entre 60 a 100 lm por vatio. Son mucho más pequeños que los anteriores y con mayor rendimiento. En contra partida generan más calor y necesitan de disipadores para un buen funcionamiento, pero son de alta fiabilidad trabajando en

condiciones óptimas.



Ilustración 11: LED SMD o Surface Mounted Diode. [5]

3.1.3. LED COB o CHIP ON BOARD

Es una tecnología led nueva con pocos antecedentes, consiste en un conjunto de led en serie o paralelo dentro de un mismo encapsulado. En comparación con los anteriores no producen tanto calor y producen mayor intensidad lumínica, pudiendo alcanzar los 120 lm por vatio.

3.1.4. MICRO LED

Como su nombre indica son led de tamaño microscópico, su principal uso es en pantallas, por su fácil agrupación formando paneles ópticos (cada micro LED actúa como un pixel) y por las mejoras que tiene respecto los anteriores. Entre ellas se destaca el mejor tiempo de respuesta (latencia), mejor contraste y mayor eficacia eficiencia energética.

No están fabricados de elementos orgánicos como la tecnología OLED, esto alarga su vida útil y evitan ser quemados. Son actuales y todavía hay pocas marcas que los utilicen en televisores, siendo una alternativa a la tecnología OLED.

3.1.5. OLED

El OLED (Organic Light-Emitting Diode: diodo orgánico de emisión de luz) es un diodo que remplace el silicio por carbono (material inorgánico por un material orgánico) esto forma una capa orgánica y electroluminiscente. (de ahí la “O” de OLED).

Estos diodos dan su propia luz, imagen y color, pudiéndose activar o desactivar individualmente, así como atenuarse. El mayor inconveniente que presenta esta tecnología es su degradación en el tiempo y que son susceptibles a quemarse.



Ilustración 12: Tecnología OLED y Micro LED.[15]

Tecnología	LED DIP	LED COB	OLED	Micro LED
Iluminación	Propia	Propia	Propia	Propia
Nivel de brillo	Medio	Muy alto	Medio	Muy alto
Rendimiento	70 lm por W	120 lm por W	80 lm por W	120 lm por W
Tiempo de respuesta	ms	ms	us	ns
Temperatura máxima (°C)	-30 a 60	-40 a 80	-30 a 70	-100 a 120
Vida útil (horas)	20.000	25.000	15.000	60.000

Tabla 6: Comparativa led.

3.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN POTENCIA

La potencia que consume un led es igual al producto de la corriente por el voltaje. La luminosidad de un led es mayor a mayor potencia, pero eso no significa más rendimiento. Se pueden clasificar en 2 grupos:

Leds indicadores: son pequeños (3 mm a 5 mm) tanto de tamaño como de potencia, no superan los 30 mW. La corriente es inferior a los 20 mA y el calor generado es muy bajo por lo que no necesita de disipador. Su principal uso en los indicadores.

Led de media potencia: su potencia es superior a los anteriores (30 mW), hasta un vatio de potencia.

Led de potencia: son aquellos que su potencia es 1 W o superior, su aplicación esta desinada a la iluminación.

Tipo	Indicadores	Potencia media	Potencia
Potencia	Inferior a 0,03 W	De 0,03 W a 1 W	Superior a 1 W

3.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN ENCAPSULADO

Entre los leds, la característica que más fácil se aprecia es su encapsulado o forma.

La cual puede variar según los modelos o usos. Los principales que se pueden distinguir son:

Leds básicos: tienen un encapsulado transparente, que permite la salida de la luz y dos patillas paralelas. El encapsulado protege al led frente la humedad, golpes y productos químicos, fabricado con resina epóxica.

Encapsulado de led de potencia: estos leds al tener una potencia superior a 1 W, también proporcionan más cantidad de luz y poseen un chip más grande. Su encapsulado están fabricados con plástico que soporta mejor las temperaturas llegando a los 80 °C y evita sufrir modificaciones indeseadas. Debido a la potencia del led traen incorporado un disipador de aluminio.

3.4. CLASIFICACIÓN POR LONGITUD DE ONDA

Según la luz requerida en cada uso se pueden clasificar los leds.

Luz monocromática: es aquella que es visible por el hombre, se utiliza en los casos en que queremos mostrar un color concreto, algunos usos destacados pueden ser para indicar o simplemente decorativo.

Luz blanca: su principal uso es la iluminación y se consigue con led azules más un proceso de adición de fósforo, consiguiendo la luz blanca.

Radiación no visible: es aquella que no es perceptible por el ojo humano, su principal uso es enviar información como por ejemplo un mando a distancia.

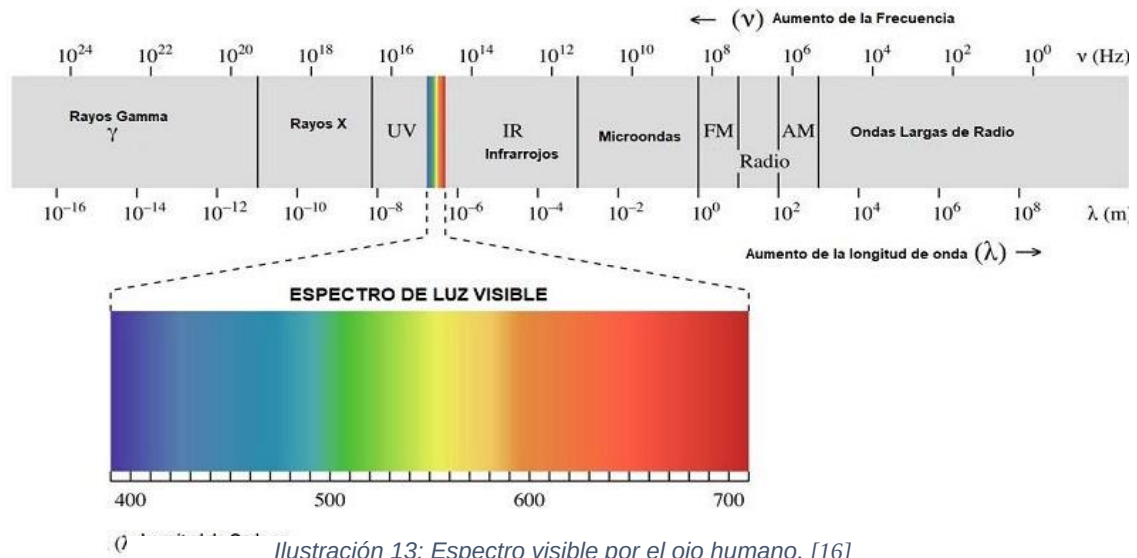


Ilustración 13: Espectro visible por el ojo humano. [16]

4. FUNDAMENTOS LUMÍNICOS

La principal propiedad de los leds es su producción de luz a través del efecto de luminiscencia. Para poder medir o cuantificar la luz producida necesitamos tomar unos patrones, que nos definirán unas unidades siendo estas equivalentes a la cantidad contenida en un patrón.

Flujo luminoso Φ (Unidad: Lumen (lm)): Describe la producción o salida de luz que irradia una fuente luminosa.

Lumen lm: Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente. El flujo luminoso se diferencia del flujo radiante en que el primero contempla la sensibilidad variable del ojo humano a las diferentes longitudes de onda de la luz y el último involucra toda la radiación electromagnética emitida por la fuente de luz según las leyes.

Intensidad luminosa I (Unidad: Candela (cd)): Flujo luminoso que irradia en una cierta dirección.

Iluminancia E (Unidad: Lux (lx)): Proporción de flujo luminoso que impacta una determinada superficie, es decir, 1 lx es cuando 1 lm se proyecta o impacta en una superficie de 1 m².

Luminancia L (Unidad: Candela por metro cuadrado (cd/m²)): Impresión de brillo que el ojo tiene de una superficie iluminada.

Rendimiento lumínico η (Unidad: Lumen por Watt (lm/W)): Especifica la velocidad de eficiencia con la cual la energía eléctrica se transforma en luz.

Fuentes de luz: La luz proviene de los radiadores de temperatura quienes por medio del calentamiento de energía emiten luz. Esto significa que mientras más se calienta una fuente luminosa, es decir, un filamento al vacío o un arco de gas xenón, mayor es la intensidad luminosa.

Temperatura de color K : (Unidad: Kelvin [K]): El kelvin es la unidad de la temperatura del color. Cuanto más elevada es la temperatura de una fuente luminosa, tanto mayor es la proporción de azul y menor la proporción de rojo en el espectro cromático. Un foco de incandescencia con luz cálida blanca posee una temperatura de color de aprox. 2.700 K. En cambio, un foco de descarga gaseosa (D2S) tiene, con 4.250 K una luz fría blanca.

En la siguiente ilustración podemos observar un esquema con el color que toma la luz según su temperatura, así como la temperatura que tiene los principales focos automotrices.

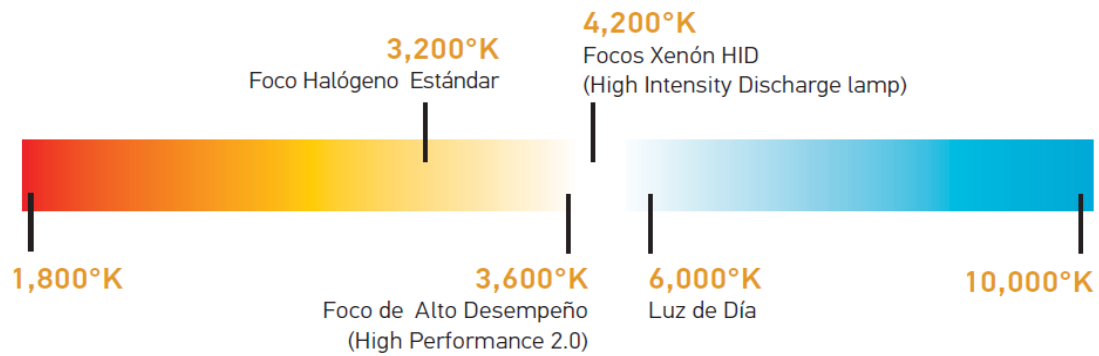


Ilustración 14: Esquema cromático. [16]

5. LUCES EN AUTOMOCIÓN

Los vehículos a lo largo de su desarrollo han tenido diferentes sistemas de iluminación exterior, además los fabricantes permiten configurar la iluminación en algunos de sus modelos. A continuación, se mostrarán las principales ventajas e inconvenientes de cada uno.

5.1. TIPOS DE ILUMINACION EN AUTOMOVILES

Luces halógenas e incandescentes: Son un sistema de iluminación básico, común y barato, tuvo gran éxito, de ahí que todavía se sigan utilizando todavía. Su estructura interna se compone de un sistema estándar que consta de una bombilla extraíble y una estructura compuesta por un material reflectante que potencia la luminosidad del faro.

El funcionamiento se basa en llevar un filamento de wolframio a la incandescencia mediante corriente eléctrica, esto es posible por la ley de joule, la cual produce el calentamiento de un conductor al circular electricidad a través del mismo. De esta forma se desprende luz (fotones) por la alta temperatura del filamento, el cual se encuentra en una ampolla al vacío para evitar que se produzca una combustión ya que trabajan con temperaturas de 2500°C.

Debido a la alta temperatura se pierde mucha energía en forma de calor por lo que solo el 8% es aprovechado en forma de luz, dando unos rendimientos muy bajos. Además, su vida útil es corta pues la alta temperatura provoca la evaporación paulatina del wolframio.

Su consumo está en 45 W para luces de cruce y 55 W para luz de carretera y un sistema de 12 V.

Las lámparas halógenas no están al vacío, se introduce un gas halógeno, que evita la evaporación del wolframio alargando así su vida útil y mejorando su rendimiento respecto las anteriores pues desprenden más luz con el mismo consumo además es más blanca ya que pueden alcanzar temperaturas de trabajo mayores, entre los 2750°C a 3000°C.

Al alcanzar mayor temperatura el vidrio también es más resistente y delicado, por lo que no debe tocarse con los dedos. El filamento usado es de tungsteno y cada bombilla puede tener uno o varios.

La bombillas halógenas tienen ciertas ventajas respecto las incandescentes al vacío entre ellas podemos destacar la mayor temperatura de la luz llegando a los 3200 K, menor consumo con mayor luminosidad, mayor vida útil (hasta 1500h más respecto a las de incandescencia), un brillo un 30% superior si se compara con las incandescentes, en luz de carretera se pueden

aportar hasta 1200 lm (700 lm las incandescentes al vacío), en luz de cruce 750 lm (450 lm las incandescentes al vacío), mayor profundidad en luz de carretera y un haz luminoso más ancho.

En la siguiente ilustración se puede ver unos ejemplos de lámparas incandescentes, un modelo utilizado en luces de posición o intermitentes situado a la izquierda, y un modelo H4 utilizado en luces de cruce y carretera al tener doble filamento.

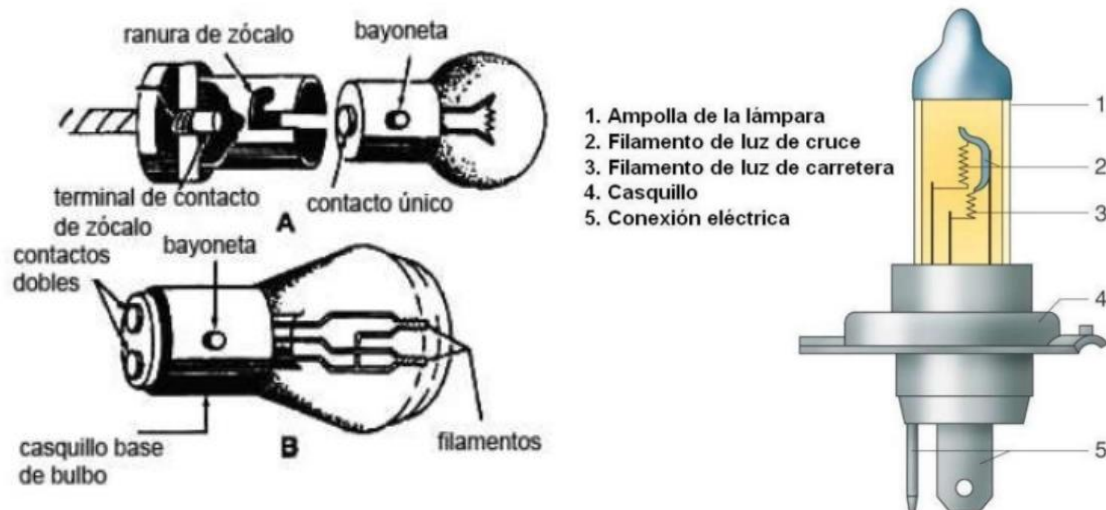


Ilustración 15: Lámparas de incandescencia. [17]

Luces Xenón: Continuando la evolución tecnológica surge esta iluminación. La mayor diferencia con las anteriores se encuentra en su funcionamiento, un arco eléctrico (produce el flujo luminoso) que arde entre dos electrodos encerrados en una ampolla de cuarzo, en un medio contenido de gas xenón a alta presión, así como mercurio y sales metálicas. Tiene una vida útil que está por encima de las luces halógenas y de incandescencia al no tener filamento, pero para su inicio necesita un impulso de alta tensión (hasta 24kV). Se distinguen distintos tipos de lámparas en función del gas que contienen y la presión de trabajo.

Las más usuales son en faros son las D2S para faros elipsoidales (sin pantalla) y D2R para faros parabólicos (sin pantalla), usadas en sistemas de proyección y sistemas de reflexión respectivamente. Para el inicio de la lámpara utiliza un balastro (unidad electrónica de alta potencia) que aporta una tensión entre electrodos de 24kV, provocando la chispa inicial que permite un flujo de corriente constante entre los electrodos y con un consumo contenido entre 30 W y 40 W. El balastro también aporta protección al sistema frente sobretensiones.

Su uso se inició en luces de cruce, pero más tarde se añadió a las luces de largo alcance, surgiendo los faros bixenón. Cada lámpara xenón necesita su

propia lente, reflectores y balastro. También existe una modalidad que utiliza una sola lámpara para luz de cruce y de carretera, que varía el alcance de la luz con una cubierta metálica conmutada.

Estos faros debido a su alta potencia luminosa deben tener de forma obligatoria un sistema de regulación automática de altura en todos los modelos y lavafaros en aquellos que superan los 2000 lúmenes. La temperatura de funcionamiento está en 700° pero la temperatura de luz que emite esta entre 4100° y 4500°, frente a los 3200° de la luz halógena dando una luz más blanca.

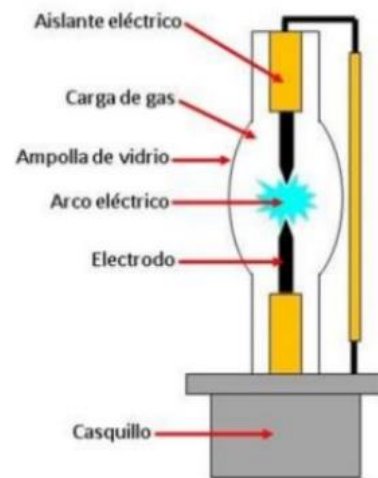


Ilustración 16: Esquema lámpara de xenón.
[17]

En la ilustración anterior podemos ver un esquema típico de funcionamiento de una lámpara de xenón y la posición de sus partes (aislante eléctrico, ampolla de vidrio, carga de gas, arco eléctrico, electrodo y el casquillo). En la siguiente ilustración se observan dos modelos industriales, el D2S fabricado para faros con lupa y D2R para faros de reflexión. Se puede observar sus partes y estructuras.

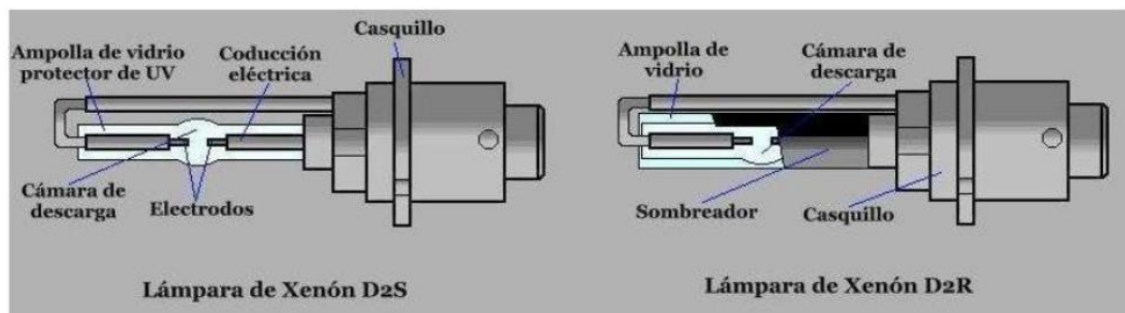


Ilustración 17: Lámparas Xenón D2S y D2R. [17]

Entre las ventajas del xenón respecto a los sistemas anteriores podemos destacar la emisión de una luz blanca más parecida a la luz natural, mayor nitidez visual, mayor distancia de alumbrado (mayor profundidad), haz de luz más ancho (mejor percepción lateral), el rendimiento luminoso es hasta tres veces superior al de sus predecesoras y la vida útil la cual puede ser superior incluso a la vida del vehículo en el que se instala, con un flujo luminoso durante toda su vida.

Luces Led: Son muy recientes a partir del 2000 y se empezaron a usar como luz de freno trasera. Debido a su alto costo se empezó a montar en vehículos premium, pero a día de hoy con el gran desarrollo que ha tenido este campo se monta en más variedad de vehículos. Además, proporcionan nuevas funciones gracias al control sobre cada led, como una iluminación característica de arranque o unos diseños de faros con una mejor estética y más atractivos para el público.

Proporcionan un alcance de visión superior, una mayor duración y además permiten mejor control sobre ellos para manipularlos. Su mayor inconveniente es controlar la temperatura del led, que es inferior a los sistemas anteriormente vistos, pero es muy importante que se mantenga en un rango de funcionamiento adecuado (entre -40°C y 80°C).



Ilustración 18: Faro matrix led. [12]

Luces laser: Son las más recientes, los primeros se montaron en 2016, se basan en diodos laser y son los que más alcance proporcionan. Tienen el tono blanco más parecido a la luz del día y se están introduciendo con combinados con otros sistemas de iluminación, puede alcanzar los 600 m de distancia.

Uno de los primeros vehículos en montar este sistema fue el Audi R8, el cual equipa 4 diodos laser de 0,3 mm para luces de carretera, que emiten luz azul. Después atraviesa compuestos de fosforo que como resultado da luz blanca, de temperatura 5500°K color muy similar a la luz diurna.



Ilustración 19: Faro de tecnología láser. [19]

La siguiente imagen es una pequeña comparativa del alcance y potencia luminosa de los distintos tipos de iluminación en vehículo vistos anteriormente, se puede ver claramente como las tecnologías más actuales e innovadoras nos ofrecen una gran mejora frente lo iluminación típica.

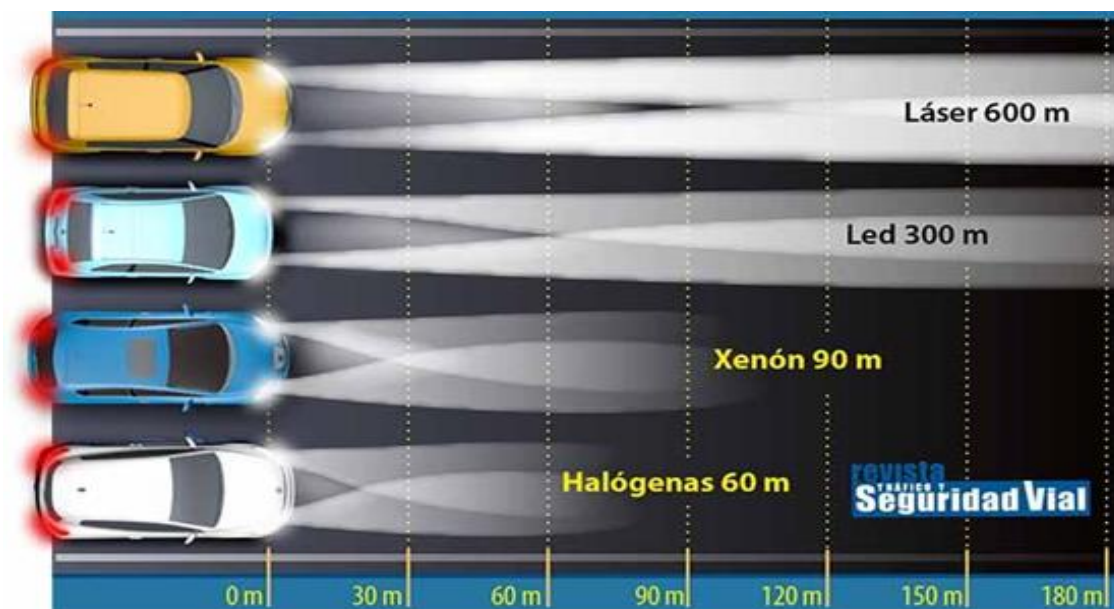


Ilustración 20: Comparativa de sistemas de iluminación. [19]

En la siguiente tabla podemos ver una comparativa con algunas características, iluminancia producida por energía necesaria (rendimiento) y vida útil.

		Incandescent	Halogen	LED
Features	Efficiency	Very low	Low	Very High
	Dimmability	Full Range	Full Range	Partial Range (Special dimming LEDs available)
	Temperature	Warm	Warm	Options range from warm to cool
Light output (in Lumens)	400-500	40 W	28-29 W	5 W
	800-1000	60 W	41-43 W	10 W
	1100-1300	75 W	51-53 W	15 W
	1600-1300	100 W	70-72 W	20 W
Life span and Estimated cost per lamp	Life Span	1000 hours	3000 hours	25000 hours
	Annual Energy cost	Approx. \$5.75	Approx. \$4.25	Approx. \$1.25

Ilustración 21: Tabla comparativa.

5.2. FAROS

Los faros de un coche son los proyectores que se encargan de iluminar el camino del coche por la noche o en condiciones de baja visibilidad para que el conductor pueda ver. También sirven para que el vehículo sea visible cuando hay poca visibilidad. Son un sistema de seguridad activa por eso tienen una legislación que controla su tipo, lugar de montaje, así como sus fuentes luminosas, estructura y color, además de sus valores luminotécnicos reglamentarios. Después de su fabricación tampoco pueden ser modificados para variar sus características.

5.2.1. COMPOSICIÓN DE UN FARO

Los faros están compuestos de distintos componentes que se unen y encajan perfectamente para formarlo. Podemos distinguir:

La carcasa, que sería donde se van uniendo el resto de elementos y que está unido a la carrocería del coche. En ella se encuentra alojado el reflectante, las lámparas, cables, etc.

Al ser la parte más externa también se encarga de proteger el resto de componentes de las adversidades climáticas del exterior, están fabricados con termoplástico.

El reflector, tiene la función de recibir la mayor parte de luz proporcionada por las lámparas y dirigirla hacia la carretera. Se pueden distinguir distintos tipos de reflectores, se fabrican en con termoplásticos con un baño de varias capas superficiales de aluminio para mejorar el reflejo de la luz y de silicio para su protección. Al ser plástico es muy fácil darle la forma deseada con un coste y producción muy buenos. Antiguamente se hacían en acero dando resultó muy bajos y precios muy elevados, también se pueden ver algunos en aluminio.

Módulos de proyección, existen muchos tipos según las características y la tecnología empleada en ellos. Su función principal es dirigir el flujo lumínico hacia la carretera y delimitándolo con mucha precisión.



Ilustración 22: Módulo de proyección. [20]

Dispersores, hay dos tipos sin óptica de dispersión y con óptica, los que no tienen óptica de dispersión se limitan a proteger el faro y se fabrican lo más transparentes posibles, los que tienen óptica de dispersión concentran, desvían o dispersan la luz, dirigiendo el flujo luminoso procedente del reflector, dando así el haz de luz deseado. Se fabrican en plástico policarbonato, ya que tiene buena calidad y es fácil de trabajar.

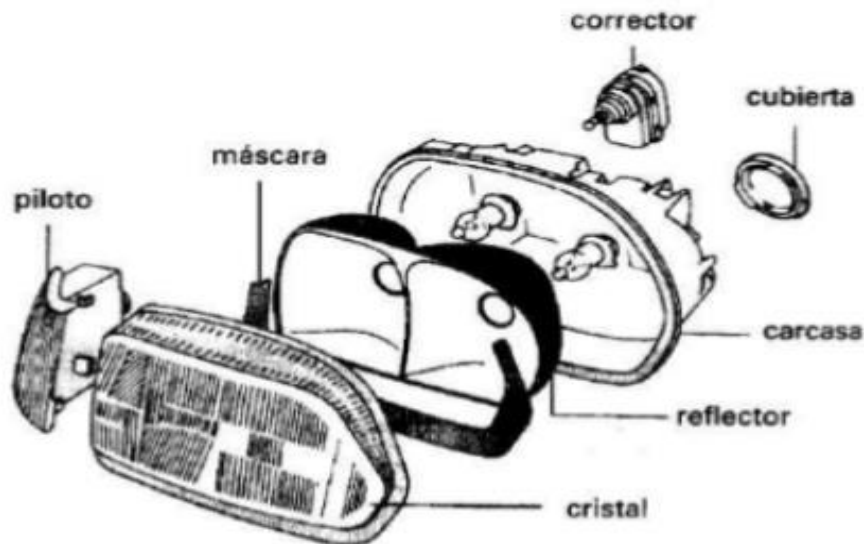


Ilustración 23: Despiece de un faro delantero. [20]

5.2.2. TIPOS DE FAROS

Se han fabricado muchos tipos de faros, pero hay tres han tenido más éxito que el resto.

Faros paraboloídes, la superficie del reflector tiene forma de paraboloíde, y la fuente luminosa en foco del mismo. Estos faros están obsoletos hoy en día y no se utilizan apenas.

En la luz de cruce el flujo luminoso se refleja en parte superior de la parábola y este es reflejado hacia abajo, porque la fuente está adelantada respecto al foco. En cambio, en la luz de carretera la fuente luminosa coincide con la posición del foco y la luz se refleja de forma paralela. Solo se aprovecha el 27% de la luz generada por el sistema.

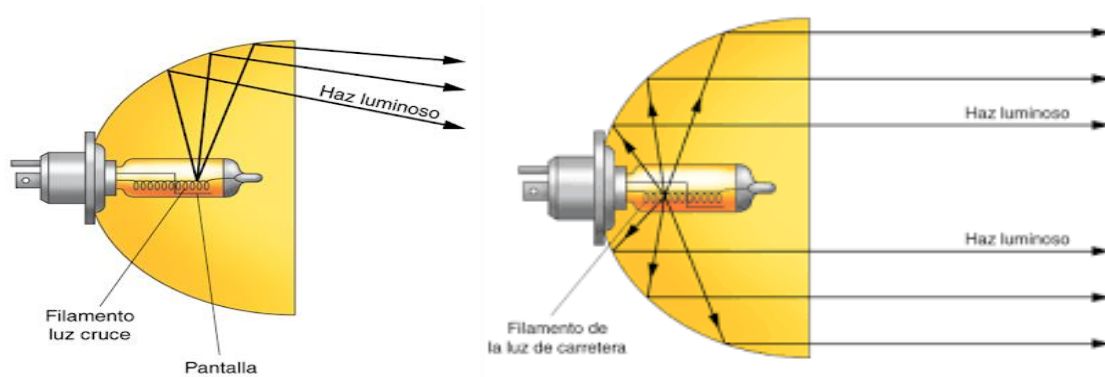


Ilustración 24: Faro parabólico para luces de cruce y carretera. [20]

Faros de geometría libre, este tiene un reflector similar al parabólico, pero con leves cambios de curvatura en la parábola para dirigir la luz hacia donde queremos de una forma más eficiente, cada modelo está diseñado y optimizado para cada coche con ayuda de ordenadores, esto mejoran el rendimiento notablemente, llegando al 45% de aprovechamiento de la luz.

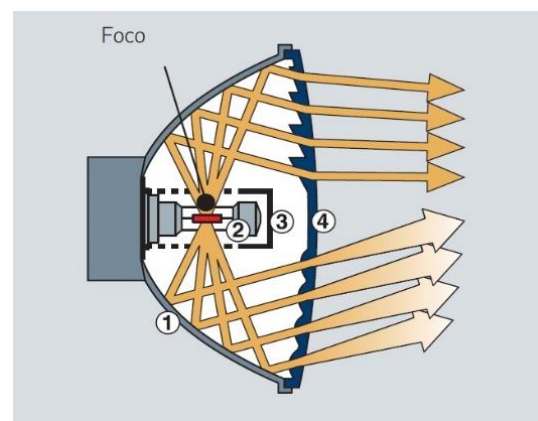


Ilustración 25: Faro de geometría variable. [20]

Faros super-DE, este sistema es el más reciente, se consigue con un adelanto de la fuente lumínica respecto al foco de la parábola provocando el cruce la luz en un punto. Esta luz se hace pasar por un cristal que la redirige según la forma del mismo, este sistema tiene rendimientos superiores a los anteriores llegando al 52%.

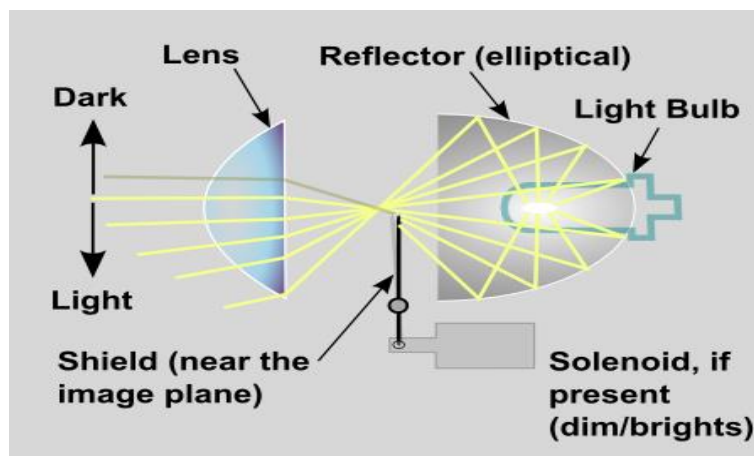


Ilustración 26: Esquema de faro super-DE. [20]

5.3. PILOTOS

Al igual que los faros los pilotos son otro elemento luminoso del vehículo, son un elemento de seguridad activa del mismo. Entre sus funciones se encuentra la visualización del vehículo por el resto de usuarios, advertencia de giro, aviso de frenada, aviso de marcha atrás, luz antiniebla y aviso de emergencia.

Un piloto se compone de 3 partes: carcasa (contiene los reflectores que, normalmente, tienen una forma fija), dispersor (se ocupa, gracias a estructuras ópticas adicionales, de la distribución de la luz) y portalámparas (se encarga de ubicar una o más fuentes lumínicas correctamente dentro del sistema óptico del piloto).

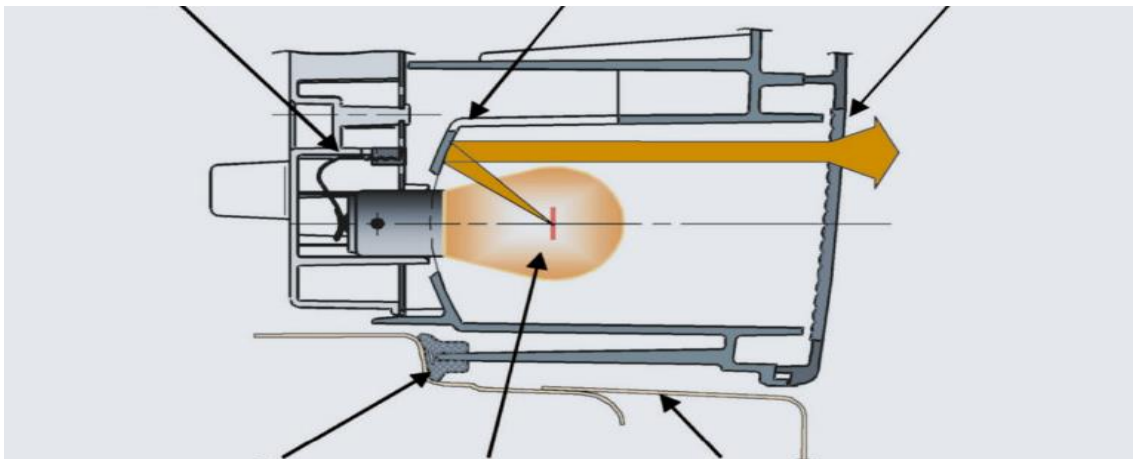


Ilustración 27: Esquema piloto trasero. [20]

Para cumplir con las exigencias luminotécnicas, la luz de las fuentes lumínicas debe captarse, y también debe dirigirse, desviarse y distribuirse.

Los pilotos actuales mantienen la luminosidad independientemente del estado climático, a excepción de la luz antiniebla. Se están desarrollando diversas mejoras como una luz de freno adaptada la intensidad de frenado (luz más intensa a mayor intensidad de frenado) o las condiciones meteorológicas o dependiendo de si es de día o de noche.

Otro parte importante es la falla de un piloto o su mantenimiento, el principal síntoma de un fallo en una luz, pero ya hay coche que indican al conductor en el cuadro de mando que una luz se ha estropeado. También existen fallos de encendido indebido.

Muchos utilizan un PWM para bajar el consumo de los pilotos y además alargar la vida útil de las lámparas.

5.4. TIPOS DE LUCES EN AUTOMOVILES

En un vehículo se pueden distinguir diferentes luces, a continuación, se mostrarán las principales:

Luz de carretera: Es la luz destinada a alumbrar la vía que se encuentra por delante del vehículo.

Luz de cruce: Alumbra la vía delante del vehículo, sin ocasionar deslumbramiento o molestias injustificadas a los conductores y otros usuarios de la vía que tengan en sentido contrario o delante de mismo.

Luz de posición: Esta destinada a indicar la presencia del y anchura del vehículo visto de frente y por detrás.

Luz de frenado: Esta destinada a indicar a los demás usuarios de la vía, que se hallen detrás del vehículo, que el conductor está aplicado el freno de servicio.

Luz de niebla: Es la luz del vehículo destinada a mejorar la iluminación de la vía o presencia del vehículo en caso de niebla o nubes de polvo.

Luz de marcha atrás: Tiene la misión de alumbrar la vía detrás del vehículo y advertir a los demás usuarios de la vía que el vehículo está efectuando o a punto de efectuar maniobra de marcha atrás.

Luz indicadora de dirección (intermitentes): Esta destina a indicar a los demás usuarios de la vía que el conductor tiene el propósito de cambiar de dirección hacia la derecha o hacia la izquierda.

Dispositivo reflectante (catadióptrico): Es el dispositivo destinado a indicar la presencia de un vehículo por el reflejo de la luz emanada de una fuente luminosa ajena a dicho vehículo cuando el observador se halla cerca de dicha fuente.



Ilustración 28: Esquema luces de un vehículo. [22]

5.5. ILUMINACION INTERIOR DE VEHICULOS

La iluminación interior en los vehículos al principio solo era funcional y se utilizaban luces incandescentes. Pero en los últimos años han dado un gran salto en tema estético y con uso de tecnologías led.

Aunque no es de las más importantes (en seguridad) también repercuten con gran importancia a nivel visual, dando multitud de opciones (diseños, colores, etc.) a los desarrolladores para la personalización del vehículo.

La más característica es la iluminación de ambiente, maletero y puertas, ya sea la parte inferior o pomos. Los principales diseños suelen ser líneas en el salpicadero que cambian de color según si arrancamos o paramos el coche, o incluso al escuchar música donde el color se adapta a la canción entrando en concordancia. Al abrir el coche otros fabricantes han añadido una pequeña luz que ilumina el pomo, para así encontrarlo fácilmente en caso de ser de noche. En el maletero la luz sirve para encontrar objetos en situaciones de poca luz y con la instalación led también tiene un cambio de color. Por último, quedaría la luz debajo de las puertas la cual alumbró el suelo al salir del coche, esta suele ser blanca y puede tener el logo de la marca dando un aspecto muy sport al vehículo.

Todo esto es actual, aunque para el futuro seguirán apareciendo cosas nuevas donde la tecnología led será la base para su realización y desarrollo.



Ilustración 29: Iluminación interior. [12]

5.6. NORMATIVA EN ILUMINACION

La normativa de iluminación en automoción viene registrada en el real decreto de vehículos (Real Decreto 2822/1998), en concreto del artículo 15 al 18. En los cuales se encuentran las principales normas y obligaciones que los fabricantes de iluminación deben adoptar a la hora de fabricar sus piezas o componentes, para que cumplan con la homologación necesaria y su posterior venta al público.

Artículo 15. Condiciones técnicas de los dispositivos de alumbrado y señalización óptica

1. Las luces y dispositivos reflectantes que, siendo dobles, tengan la misma finalidad, se corresponderán en color e intensidad y estarán situadas simétricamente, a ser posible, a la misma distancia de los bordes del vehículo.

2. Ninguna luz instalada en un vehículo será intermitente o de intensidad variable, a excepción de las indicadas en la reglamentación que se recoge en el anexo I.

3. Las luces posteriores de posición deberán encenderse automáticamente siempre que el vehículo tenga encendidas cualquiera de las de carretera, cruce, delanteras de posición, placa posterior de matrícula o las antiniebla.

Las luces antiniebla traseras sólo podrán encenderse cuando lo estén también las de carretera, las de cruce o las antiniebla delanteras.

Las luces de posición delanteras deben estar encendidas siempre que lo estén las de cruce, las de carretera o las antiniebla delanteras.

Estas condiciones no se imponen para las luces de cruce o las de carretera cuando se utilizan para dar avisos luminosos.

4. Todos los dispositivos de alumbrado y de señalización óptica de los vehículos de motor y remolcados deberán cumplir las exigencias especificadas en la reglamentación que se recoge en el anexo I.

5. No se instalarán en los vehículos más luces que las autorizadas en el presente Reglamento, prohibiéndose expresamente el uso de pinturas o dispositivos luminosos o reflectantes no autorizados, salvo en los supuestos y condiciones previstos en la reglamentación que se recoge en los anexos I y XI.

La Jefatura Central de Tráfico podrá autorizar temporalmente, para la circulación dentro del territorio nacional y previo informe del órgano competente en materia de homologación de vehículos, la instalación de dispositivos o materiales retrorreflectantes en los vehículos ya matriculados con la finalidad de experimentar mejoras en la seguridad vial. Dicho informe tendrá por objeto comprobar su adecuación a la normativa nacional e internacional en la materia y amparará todas las autorizaciones que se concedan sobre dispositivos.

Artículo 16. Dispositivos obligatorios de alumbrado y señalización óptica

Los dispositivos obligatorios de alumbrado y señalización óptica que se regulan en la reglamentación que se recoge en los anexos I y X para los vehículos de motor y remolcados son los que se especifican a continuación:

1. Todo automóvil, con excepción de los que se reseñan en los apartados siguientes, deberá estar provisto de:

Luz de cruce.

Luz de carretera.

Luz de marcha atrás.

Luces indicadoras de dirección con señal de emergencia.

Luz de frenado.

Luz de la placa posterior de matrícula.

Luz de posición delantera.

Luz de posición trasera.

Luz antiniebla trasera.

Luz de gálibo para vehículos de más de 2,10 metros de anchura.

Catadióptricos laterales no triangulares para vehículos de más de 6 metros de longitud.

Luz de posición lateral en vehículos cuya longitud supere los 6 metros, excepto en las cabinas con bastidor.

Además, los destinados al servicio público de viajeros y los de alquiler con conductor, deberán estar dotados de alumbrado interior del habitáculo.

Artículo 17. Dispositivos facultativos de alumbrado y señalización óptica

Con las excepciones que se señalan en el artículo 18, los únicos dispositivos facultativos de alumbrado y señalización óptica que se regulan en la reglamentación que se recoge en los anexos I y X para los distintos tipos de vehículos de motor y remolcados, son los que se especifican a continuación:

1. Todo automóvil, con excepción de los que se reseñan en los apartados siguientes, puede llevar:

Luz antiniebla delantera.

Luz de estacionamiento, si la longitud del vehículo no es mayor de 6 metros y su anchura no es mayor de 2 metros. En los de vehículos que no reúnan ambas condiciones estará prohibida.

Luz de alumbrado interior del habitáculo.

Catadióptricos no triangulares o luces de posición laterales, si la longitud del vehículo no es mayor de 6 metros.

Dispositivos luminosos o reflectantes de señalización de apertura de puerta, sólo visible en esta circunstancia.

Luz de gálibo para vehículos comprendidos entre 1,80 y 2,10 metros de anchura.

Luz de gálibo trasera en las cabinas con bastidor.

Catadióptricos delanteros no triangulares.

Tercera luz de freno.

Artículo 18. Señales en los vehículos

Las señales en los vehículos que tengan por objeto dar a conocer a los usuarios de la vía determinadas circunstancias o características del vehículo en

que están colocadas, del servicio que presta, de la carga que transporta o de su propio conductor, se ajustarán en cuanto a sus características y colocación a lo dispuesto en el anexo XI.

OTRAS NORMAS DE REGULACION

Reglamento nº 113 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE). Homologación y regulación de faros en vehículos. Tanto para luz de cruce como de carretera e independientemente de su tecnología.

Reglamento nº 7 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE). Homologación y regulación de luces de freno, de posición delanteras y traseras, y las de luces de gálibo.

Reglamento nº 23 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE). Homologación y regulación de las luces de marcha atrás y las luces auxiliares de maniobra para vehículos de motor y sus remolques.

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

Reglamento nº 38 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU). Homologación y regulación de las luces antiniebla traseras de los vehículos de motor.

Norma ISO TS 16949, elaborada por IATF (International Automotive Task Force). Mantiene unos mínimos de calidad a la hora de la fabricación y regula el sector.

La ECE (Economic Commission for Europe), es la normativa que regula las funciones de luz y los detalles fotométricos en Europa, y en los EE. UU está regulado por el FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard).

ECE R37 se prohíbe montar iluminación led en faros que no estén homologados para ello, por ejemplo, luces halógenas. Sin embargo, en el caso de iluminación interior si podemos instalar led independientemente de la óptica.

6. PERCEPCION OPTICA

A continuación, veremos la necesidad de una buena iluminación en automoción respecto a la pérdida de visión humana, pues un 50% de los accidentes están relacionados directamente con la visión del conductor o la visibilidad del vehículo para otros conductores, sobre todo cuando las condiciones meteorológicas de la vía no son favorables como puede ser la presencia de niebla en la carretera o un día lluvioso.

6.1. PERDIDA VISUAL DEL OJO

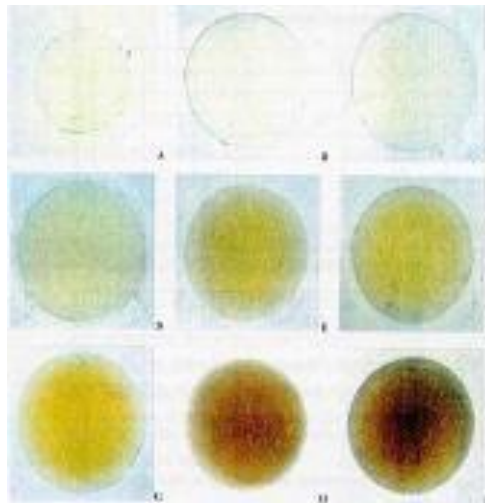


Ilustración 30: Envejecimiento de la lente humana cada 10 años. (10 a 90)

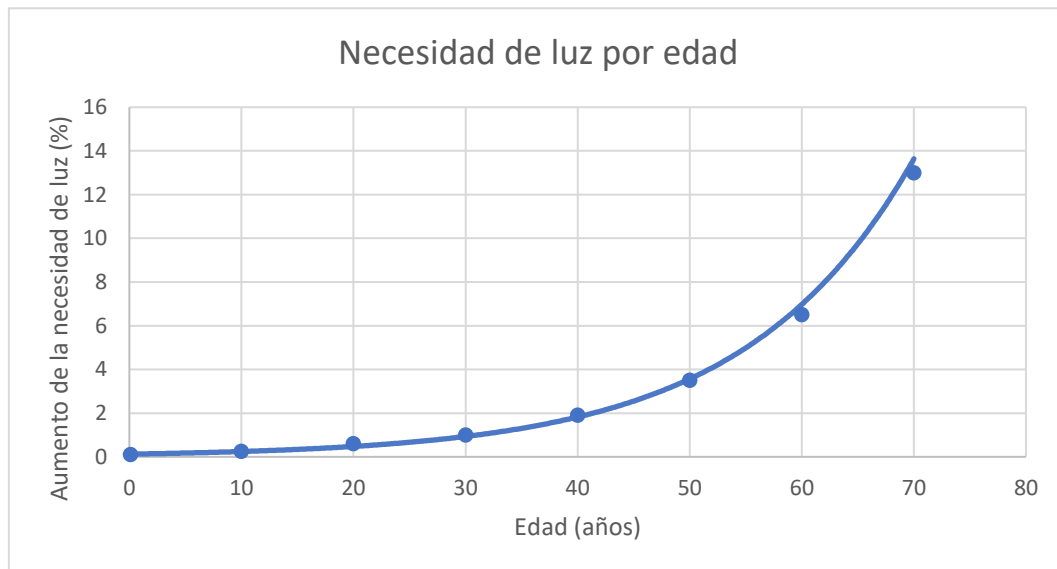
A lo largo de nuestra vida el cerebro crea mecanismos de aprendizaje para que la pérdida de agudeza visual afecte en lo menos posible nuestra vida diaria, pero resulta evidente que según ganamos edad tenemos una mayor necesidad de luz.

Si además tenemos en cuenta el efecto de la edad, que mediante diferentes estudios se ha comprobado que cada 13 años de envejecimiento de un individuo, es necesario el doble de iluminación para provocar la misma sensación luminosa.

Las estadísticas de los oftalmólogos demuestran que la capacidad visual se reduce como media un 30% entre los 30 y los 65 años.

Esto es otro gran motivo que justifica la necesidad de una buena iluminación en el automóvil por seguridad, ya que muchos conductores tienen una edad superior a los 50 años y algunos llegan a superar los 70 años.

A continuación, se muestra una gráfica donde se puede fácilmente la necesidad de luz frente a los años del conductor, hay que tener en cuenta que son datos promedio y no se ajusta a cada persona.



El ojo se adapta a las condiciones lumínicas exigentes modificando la sensibilidad de la retina, pero es evidente la necesidad de una buena luz con una intensidad conforme nuestra edad avanza.

7. DRIVERS LED

A continuación, veremos fundamentos en los que se basan los controladores led, los tipos que hay, las características físicas, el comportamiento transitorio que tienen y sus esquemas.

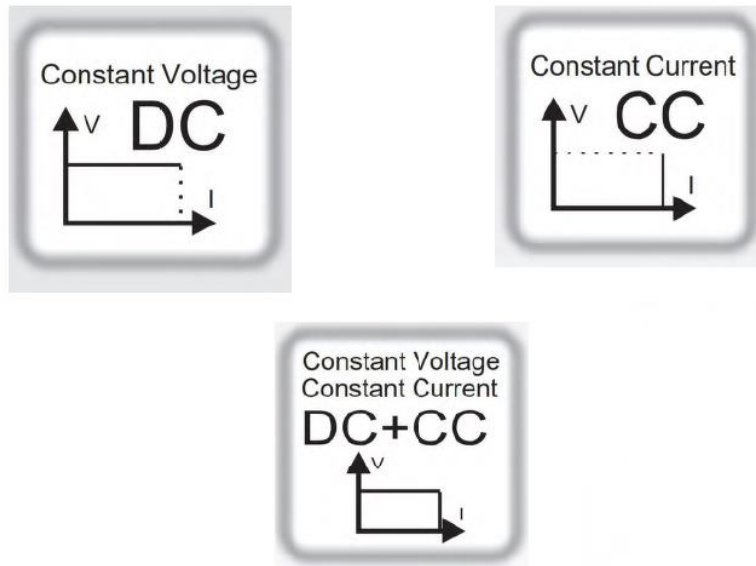


Ilustración 31: Características driver led. [24]

En los leds es muy importante la fuente de alimentación o drivers que estabilizan la corriente y ofrecen protección térmica. Según el tipo de led o control que necesitemos podemos distinguir varios tipos de drivers según su salida.

Los drivers de voltaje constante convierten la tensión a la tensión de trabajo de los leds. Los leds utilizan corriente continua para su funcionamiento para eso hay que adaptar la corriente alterna a continua.

Los drivers de corriente constante convierten la tensión de entrada, ofreciendo una corriente constante a la salida, son los más utilizados en el control led.

Los drivers de corriente y voltaje constante, son una mezcla de los anteriores y los más completos, dando la mayor seguridad al led y protección. También tiene un precio superior y se usa en trabajos más específicos.

El proceso se compone de varias partes: Transformación, rectificación, filtrado y regulación.

La transformación es el proceso por el cual un voltaje en alterna se convierte en más adecuado también en alterna.

La rectificación convierte la onda alterna ya adaptada, en una onda pulsante solo positiva y del doble de frecuencia.

El filtrado es un conjunto de condensadores a la salida de la etapa anterior que consigue una salida continua con un bajo rizado.

La regulación termina el proceso manteniendo la salida a una tensión constante y fija independiente mente de la entrada. Se destacan dos tipos, reguladores lineales y reguladores lineales.

7.1. CCR o REGULADOR DE CORRIENTE CONSTANTE

Los regulador de corriente constante (CCR, Constant Current Regulators en inglés), la corriente fluye continuamente a una cantidad determinada para un nivel de luz determinado. Dado que la cantidad de brillo es proporcional a la corriente que fluye a través del LED, la corriente se reduce para reducir el brillo del LED. A veces, este tipo de atenuación se denomina "atenuación analógica".

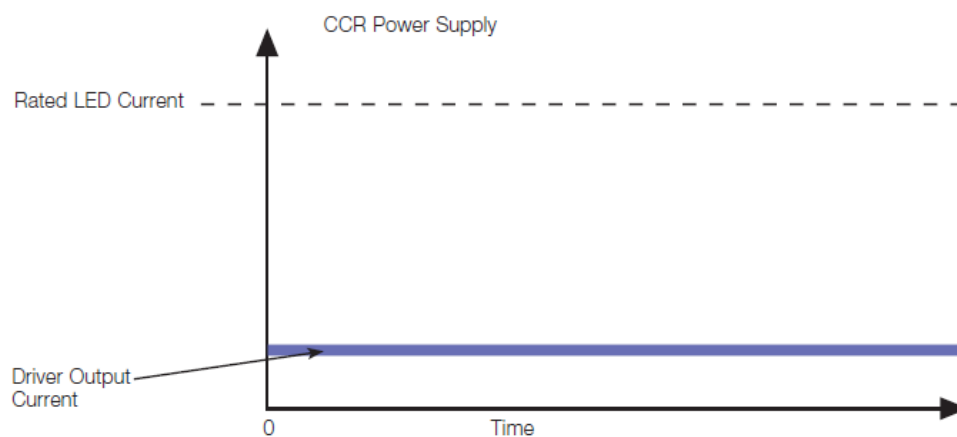


Ilustración 32: Onda CCR al 25 %. [25]

En la ilustración anterior se puede ver un ejemplo de un LED que se reduce a aproximadamente 25% usando CCR.

Entre las ventajas que ofrece el CCR podemos destacar:

Para dispositivos que necesitan ser clasificados como UL Clase 2, ya que los dispositivos PWM tienen un voltaje de salida inferior. Por lo tanto, una fuente de alimentación de UL Clase 2 que utilice PWM no podrá proporcionar tanto voltaje como uno que usa CCR.

Las fuentes de alimentación CCR, al producir una corriente constante no tienen ningún parpadeo que sea observable por el ojo humano, en cambio los PWM deben funcionar a frecuencias altas para ser imperceptibles para el ojo humano. Cuanto mayor sea la frecuencia, es menos probable que alguien observe el parpadeo. Las frecuencias por debajo de 200 Hz pueden ser observables. Se requieren frecuencias aún más altas para eliminar los efectos estroboscópicos en entornos de movimiento rápido. Por ejemplo, Audi utiliza una frecuencia de 150 Hz en luces de freno.

Las fuentes de alimentación CCR, son generalmente menos complejas y baratas de fabricar, especialmente cuando se desean niveles bajos de luz.

Los controladores CCR, tienen un mejor funcionamiento si se montan de forma remota a la fuente de luz. En cambio, los controladores PWM, debido a alta frecuencia, pueden experimentar problemas de rendimiento. Esto se debe a las características eléctricas (capacitancia e inductancia) de los cables, las cuales interfieren con los rápidos tiempos de subida y bajada necesarios para obtener niveles de luz precisos.

En un controlador CCR, no se producen rápidos cambios de nivel en la tensión, como en un PWM (los flancos más rápidos permiten frecuencias más altas y niveles de luz más bajos), donde se pueden generar interferencias electromagnéticas (EMI). Este EMI puede no ser adecuado para ciertas aplicaciones.

Con las características anteriores los principales usos del CCR son:

1. Dispositivos que requieren una salida nominal UL Clase 2 con un voltaje de salida superior al nivel de voltaje UL Clase 2 PWM.
2. Aplicaciones donde pueden existir largos tramos de cable entre el conductor y los motores ligeros, y además se requiera un alto rendimiento atenuación.
3. Aplicaciones que pueden tener estrictos requisitos de EMI, como aplicaciones médicas.
4. Aplicaciones con alta actividad de movimiento o maquinaria rotativa.

7.2. PWM o MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO

La modulación por ancho de pulso (PWM, pulse-width modulation en inglés) es una técnica o herramienta para modificar el ciclo de trabajo de una señal periódica (normalmente cuadrada). Se utiliza para transmitir información o controlar la energía de una fuente, en este caso se estudiará el control de energía.

$$D = \frac{t_{ON}}{T} \qquad V_O = V_{IN} * D \qquad (7.1)$$

Se compone de un circuito comparador de 2 entradas y una salida, por una de ellas se introduce una señal de diente de sierra y por la otra una señal de referencia que determina el valor de salida.

La frecuencia de la onda de salida suele ser la misma que la onda de sierra.

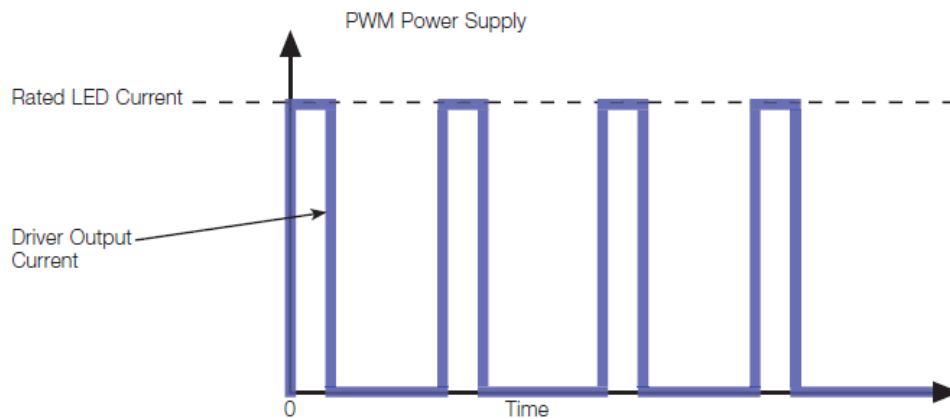


Ilustración 33: Onda PWM al 25 %. [25]

En la ilustración anterior, se puede ver un ejemplo de un led que se atenúa aproximadamente al 25% utilizando PWM. El nivel del 25% es el resultado de que la corriente fluye durante el 25% del tiempo y luego se apaga restante 75% del tiempo.

Cada led tiene una corriente nominal (rated led current), que es la cantidad de corriente que necesita fluir para obtener la máxima luz de salida. En un controlador PWM, la tensión se conmuta a alta frecuencia, entre 0 y la corriente de salida nominal.

El uso de controladores basados en CCR y PWM tendrá el efecto deseado de atenuar las luces led. Sin embargo, existen otros factores que influyen en la elección del método de atenuación.

Entre las ventajas que ofrece el PWM podemos destacar:

Las hojas de especificaciones led proporcionan una característica particular, como el color o la eficiencia (en lúmenes por vatio), a una corriente directa. Estas características variarán según la corriente directa aplicada. Por ejemplo, la temperatura de color puede ser 3000 K a 700 mA de corriente, pero solo 2700 K a 350 mA. El controlador PWM solo ejecutará los LED al nivel de corriente nominal o cero, evitando que estas características cambien a medida que la carga se atenúa. Prácticamente, esto significa que se mantiene la misma temperatura de color independientemente de la atenuación.

Los controladores basados en PWM pueden proporcionar un nivel de salida muy preciso, ya que los LED siempre están encendidos Al mismo nivel de corriente. Cambiar la corriente de operación de forma lineal, como se hace con CCR, puede no resultar en un cambio lineal en la luz salida.

Con las características anteriores los principales usos del PWM se encuentran en luminarias que deben atenuarse por debajo del 40% y aún mantener un color uniforme, y aplicaciones de mezcla de colores, debido a su necesidad de niveles precisos de cada color.

Como conclusión entre CCR y PWM podemos destacar que tanto los controladores PWM como los CCR se pueden usar para atenuar adecuadamente las cargas de LED. Sin embargo, cada método tiene ventajas que pueden hacerla más adecuada para una aplicación particular.

7.3. DIMMING

Dimmer es un aparato eléctrico o electrónico que nos permite regular el nivel de luz de uno o varios puntos de luz al regular la corriente que circula por el mismo.

En corriente alterna funcionan con un TRIAC, que nos permite variar el ángulo de conducción, con un potenciómetro y un diac que nos permite variar el voltaje que cae en el condensador.

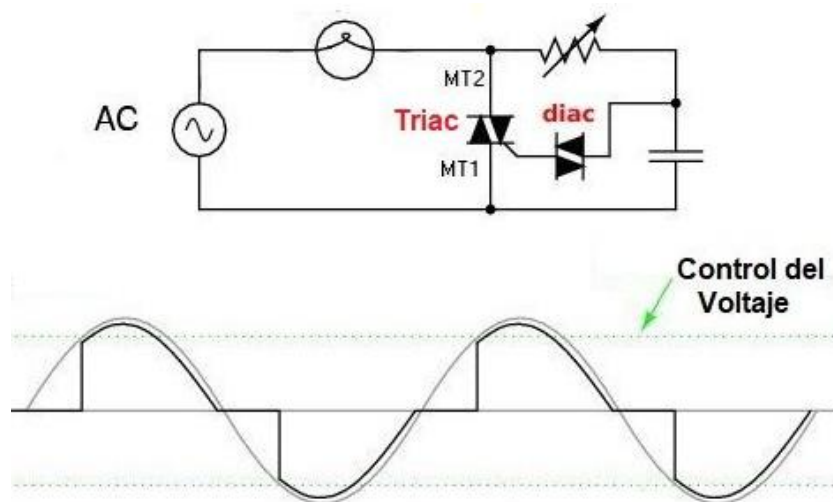


Ilustración 34: DIMMER corriente AC. [25]

En los leds que es donde nos centraremos el funcionamiento es algo diferente ya que funcionan con corriente continua, el cual se basa en PWM que nos permite regular el voltaje de salida modificando su ciclo trabajo (D).

Esto significa que la carga del led está apagada o funcionando a su corriente nominal. La relación entre el tiempo de encendido y el tiempo de apagado determina el brillo del led. Un ejemplo de un led que se atenúa aproximadamente al 25% usando PWM. El nivel del 25% es el resultado de la corriente que fluye durante el 25% del tiempo y luego se apaga 75% restante del tiempo.

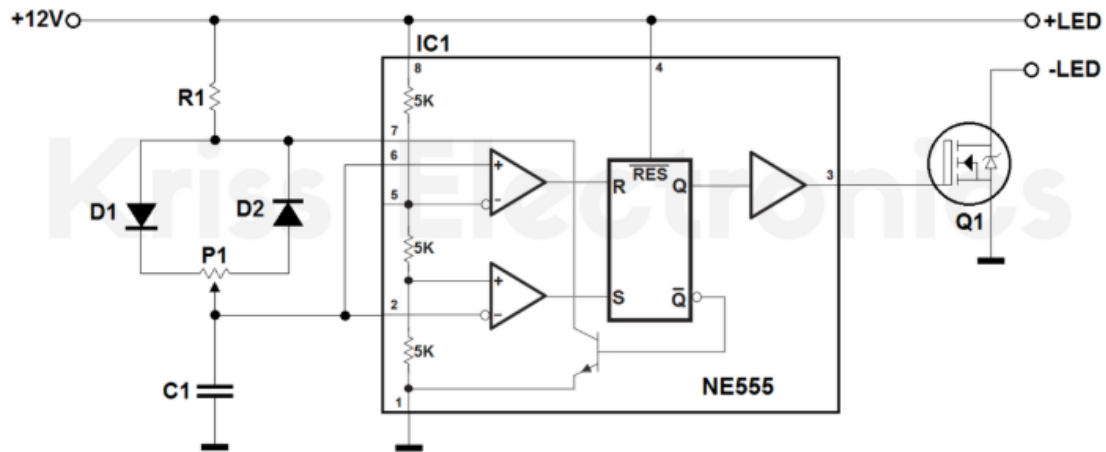


Ilustración 35: DIMMER LED. [24]

En el ejemplo de la ilustración anterior se ha realizado un dimmer con un NE555 y un mosfets, el PWM se controla con R1, C1 y P1.

Cuando nuestro condensador se carga tendremos V_{IN} en nuestra carga y cuando se descarga el voltaje será 0. Con las siguientes formulas podemos regular ton, toff y T.

$$ton = (R1 + P1 * \alpha)C1 * LN(2) \quad (7.2)$$

$$toff = [P1(1 - \alpha)]C1 * LN(2) \quad (7.3)$$

$$T = ton + toff \quad (7.4)$$

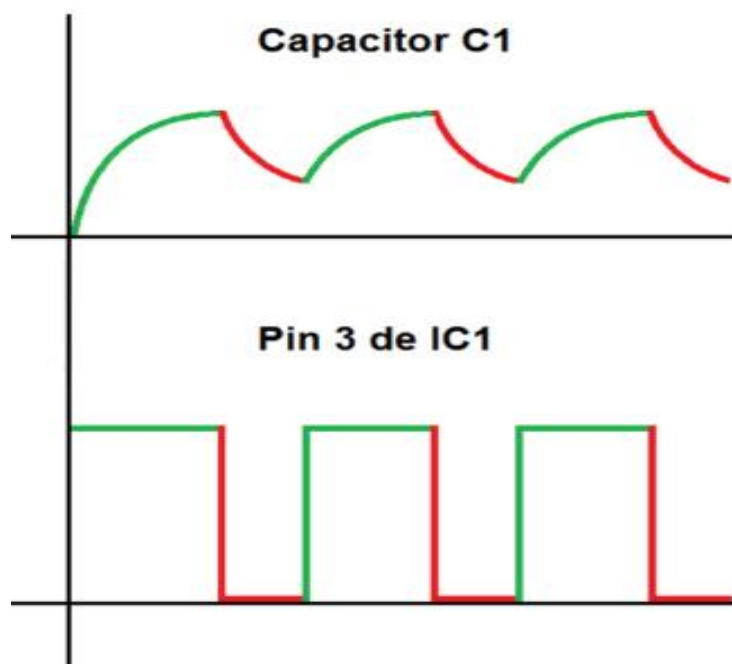


Ilustración 36: Onda de carga y descarga del condensador; Onda de salida. [24]

7.4. REGULADORES LINEALES

Los drivers lineales son los más básicos y aportan al led una corriente constante independientemente del voltaje de entrada. El voltaje de salida se encontrará entre 0 y V_s , pero nunca podrá ser superior a V_s .

Una manera muy sencilla es con una resistencia o un transistor que igualmente actúa como una resistencia y su regulación es más sencilla introduciendo una corriente por la patilla de base, además evita cambios en la corriente producidos por variaciones de voltaje en la entrada.

Se denomina regulador lineal porque el transistor opera en la región lineal, en lugar de la región de saturación o corte.

Se puede observar que es una forma muy sencilla de convertir un voltaje a otro menor, pero tiene un inconveniente y su rendimiento, muy bajo pues toda la potencia que no cae en la carga es consumida por el regulador.

Los peores casos se producen cuando la carga absorbe muy poca potencia, por ejemplo 10% de la fuente, en este caso el 90% restante lo consume el transistor.

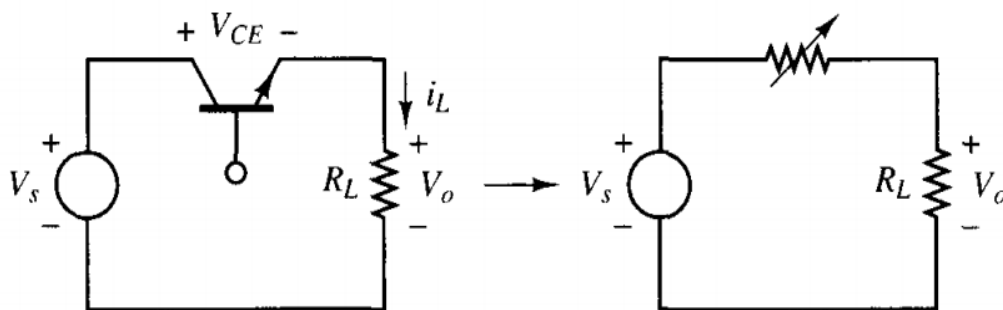


Ilustración 37: Regulador lineal básico. [26]

Se pueden clasificar según la salida que aportan:

Voltaje constante o reguladores de tensión: El diseño del sistema le permite mantener un voltaje constante a la salida, aunque se produzcan variaciones en la tensión de alimentación.

Corriente constante o reguladores de corriente: Este sistema nos permite controlar o mantener una intensidad constante a la salida y eliminar las variaciones de la entrada.

La corriente del led está controlada por la fuente corriente lineal. La corriente de salida es constante y casi independiente de la fuente de alimentación. La corriente que circula por el led se ajusta muy fácil mediante resistencias.

Los drivers lineales de corriente constante son los más utilizados por los ingenieros en la industria automotriz al cumplir fácilmente las necesidades tanto técnicas como económicas que se les exige.

Entre las necesidades técnicas podemos destacar la temperatura, la necesidad de un amplio rango, pues un coche debe pasar pruebas térmicas muy duras, ya que un coche se comercializa en países muy cálidos como Arabia Saudita que puede alcanzar los 54°C en verano o tan fríos como Noruega con una temperatura media en invierno de -4,7°C, eso hace una diferencia térmica de más de 58°C.

Entre las ventajas de los drivers lineales podemos destacar:

1. El LED se puede utilizar en la condición de funcionamiento nominal, brillo total.
2. El brillo es estable incluso durante el inicio y la parada.
3. Tienen varias topologías disponibles.
4. Disponen de protección intrínseca contra sobretensión.
5. El led no sufre degradación.
6. Es posible la protección de los LED contra altas temperaturas.
7. Funciones de diagnóstico integradas (opcional).

En contra los drivers lineales tienen un menor número de componentes y el diseño de la PCB no debe optimizarse con respecto al rendimiento de EMC.

Además, en los vehículos que funcionan de 12 V a 14 V se le puede obtener un buen rendimiento con los drivers lineales, pues el voltaje de entrada y el necesario en la salida son muy cercanos, dando rendimientos muy buenos, del 60% al 70%, aunque siempre por debajo de los drivers conmutados que como veremos después son más complejos, pero aportan un mayor rendimiento.

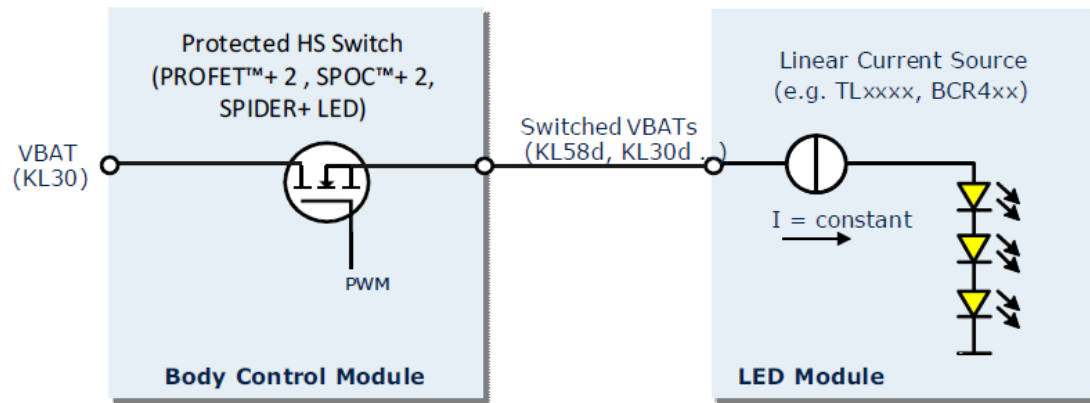


Ilustración 38: Módulo de protección, driver lineal y módulo led. [25]

En la ilustración anterior se puede ver una simplificación de un driver lineal empleado para el control led, entre sus partes destacan el módulo de protección, el driver lineal que genera la corriente constante y el módulo de los leds.

7.5. REGULADORES CONMUTADOS

Una alternativa más eficiente sería el convertidor conmutado. Como el anterior se basaría en un transistor, pero en vez de operar la región lineal, se alterna entre corte y saturación, como si de un interruptor se tratase. Esto produce que la energía disipada por el regulador sea menor que en los reguladores lineales, proporcionando un mejor rendimiento.

La salida es una señal periódica de pulsos entre 0 y V_s , la componente continua de la señal calcula:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt = V_s D \quad (7.5)$$

Como se puede observar la componente continua viene de terminada por el ciclo de trabajo (D), que a su vez se calcula:

$$D = \frac{t_{conduccion}}{t_{conduccion} + t_{corte}} = \frac{t_{conduccion}}{T} \quad (7.6)$$

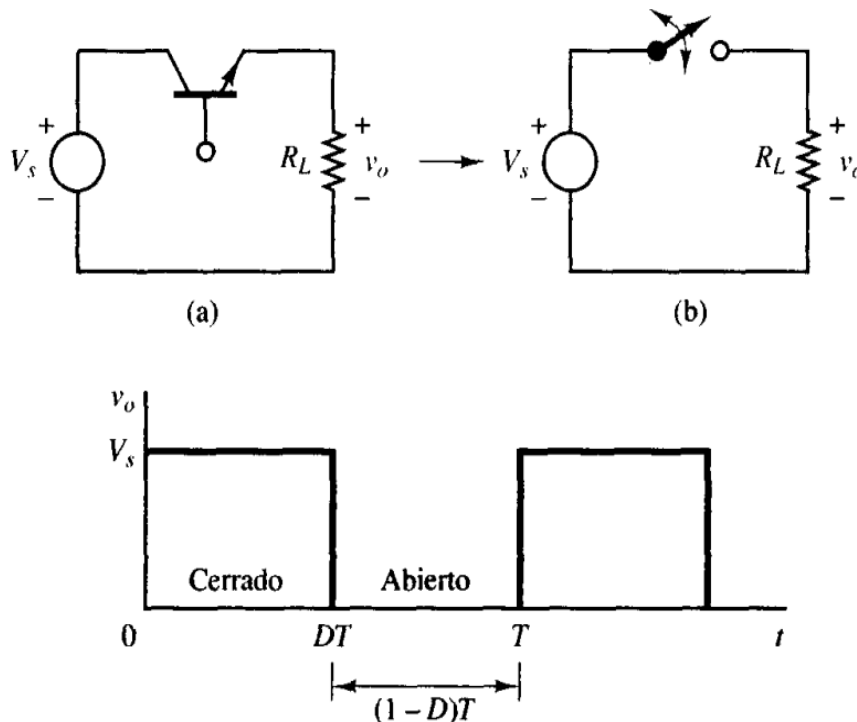


Ilustración 39: Esquema de adaptación eléctrica. [26]

En este circuito la salida no puede tener un voltaje superior a la entrada, siendo 0 cuando el transistor está en corte y V_s cuando el transistor está en saturación. El consumo del regulador en un uso ideal sería 0 y toda la potencia caería en la carga pues estando en corte no circula corriente y en saturación no cae voltaje en el regulador, pero en un uso real si hay pérdidas, siendo imposible un rendimiento del 100%, aunque si hay rendimientos cercanos.

7.5.1. REGULADOR REDUCTOR O BUCK

En algunos casos además de controlar el voltaje de salida medio, es necesario tener una corriente continua pura. Para ello se añade un filtro pasa baja (bobina y condensador) y un diodo después del interruptor. Tiene el siguiente esquema:

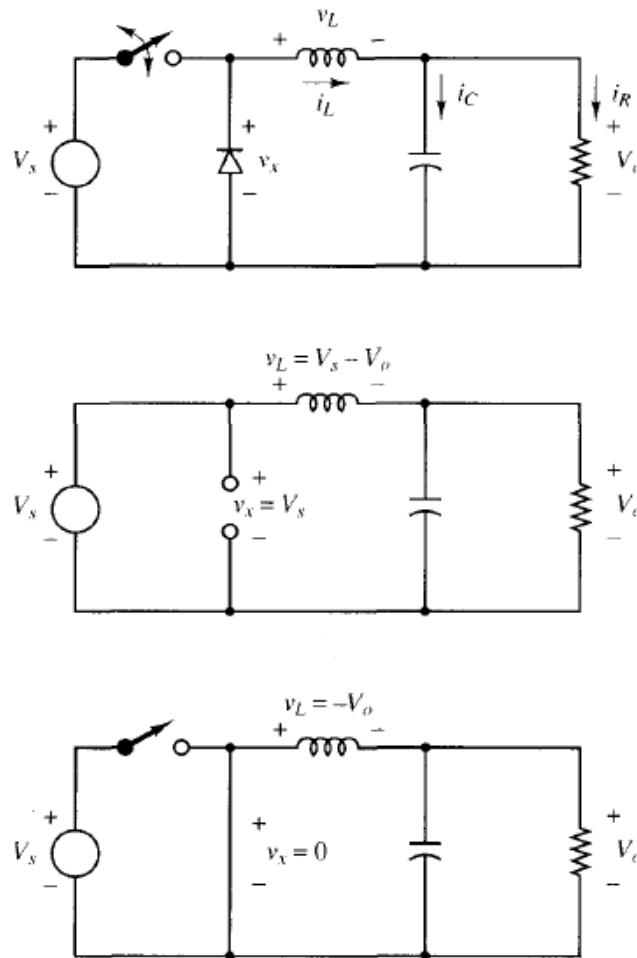


Ilustración 40: a) Convertidor DC/DC reductor. b) Equivalente con interruptor cerrado. c) Equivalente con interruptor abierto. [26]

En este caso se distinguen dos circuitos, en el primero el diodo está polarizado en inversa y el transistor en saturación, y en el segundo el diodo se polariza de forma directa y el transistor está en corte. Para su estudio se tomarán los elementos como ideales.

Interruptor cerrado: El transistor se encuentra en saturación (ilustración 30.b), la corriente atraviesa la bobina y el diodo queda polarizado inversamente. La corriente que pasa la bobina se incrementa linealmente y describe el comportamiento de la ilustración 30.b

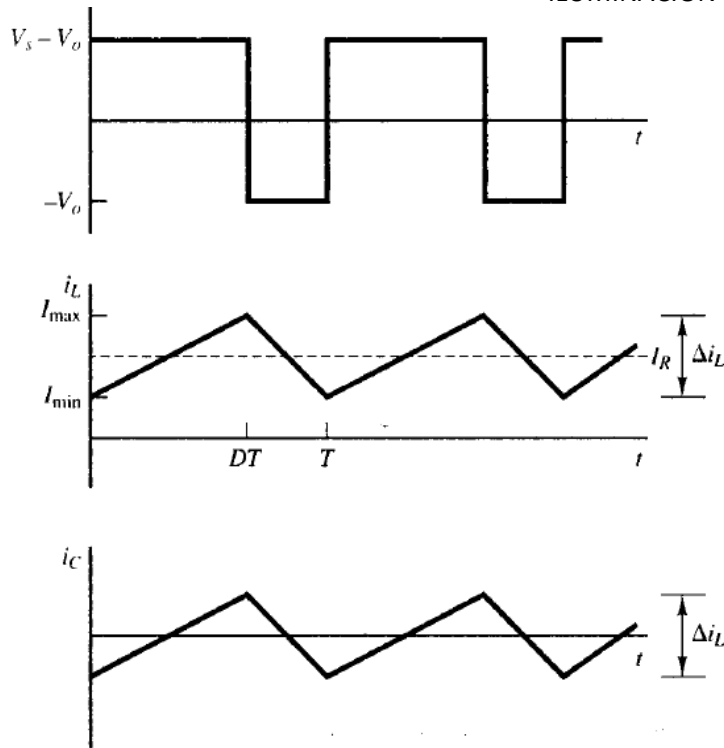


Ilustración 41: a) Tensión en extremos de la bobina. b) Corriente de la bobina. c) Corriente del condensador. [26]

La **tensión** en la bobina con el interruptor cerrado se puede calcular como:

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_S}{L} \quad (7.7)$$

La **intensidad** en la bobina con el interruptor cerrado se puede calcular como:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \rightarrow (\Delta i_L)_{\text{cerado}} = \frac{V_S DT}{L} \quad (7.8)$$

Interruptor abierto: El transistor se encuentra en corte (ilustración 6.4.c), la corriente que atravesaba la bobina disminuye linealmente y el diodo queda polarizado directamente. La corriente describe el comportamiento de la ilustración 6.5.b.

La **tensión** en la bobina con el interruptor abierto se puede calcular como:

$$V_L = V_O = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_O}{L} \quad (7.9)$$

La **intensidad** en la bobina con el interruptor abierto se puede calcular como:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_O}{L} \rightarrow (\Delta i_L)_{abierto} = \frac{-V_O(1-D)T}{L} \quad (7.10)$$

En régimen permanente la corriente en la bobina debe ser 0, por ello la corriente con el transistor cerrado es igual a la corriente con el transistor abierto.

$$(\Delta i_L)_{abierto} + (\Delta i_L)_{cerrado} = 0; \frac{V_O(1-D)T}{L} + \frac{V_S DT}{L} = 0 \quad (7.11)$$

La intensidad que circula por el condensador es cero, por consecuente toda la intensidad que circula por la bobina también circula por la carga.

$$i_L = I_R = \frac{V_O}{R} \quad (7.12)$$

$$V_O = V_S D \quad (7.13)$$

La **intensidad en régimen permanente** viene definida por:

$$i_L(t + T) = i_L(t) \quad (7.14)$$

La tensión media en la bobina y la corriente media en el condensador son nulas, por hecho no consumen ninguna energía.

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} V_L(\lambda) d\lambda = 0 \quad (7.15)$$

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_C(\lambda) d\lambda = 0 \quad (7.16)$$

Intensidad máxima en la bobina:

$$I_{MAX} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = V_O \left(\frac{1}{R} + \frac{1-D}{2Lf} \right) \quad (7.17)$$

Intensidad mínima en la bobina:

$$I_{MIN} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = V_O \left(\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right) \quad (7.18)$$

También puede ocurrir que la corriente no sea continua, para ello hay que comprobar que existe corriente permanente en la bobina. La **continuidad de la corriente** depende de la inductancia y la frecuencia, para realizar los cálculos igualamos la ecuación anterior (7.18) a cero, se despeja la inductancia y se aplica la siguiente ecuación ya despojada.

$$L_{MIN} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (7.19)$$

La tensión de salida tendrá un **rizado**, pues el condensador usado en la vida real no es ideal, y se puede calcular con la siguiente formula:

$$\frac{\Delta V_O}{V_O} = \frac{(1-D)}{8LCf^2} \quad (7.20)$$

Consideraciones de diseño: Como se ha visto anteriormente el rizado depende la bobina, la frecuencia y el condensador, el ingeniero tiene una gran importancia a la hora de seleccionar estos valores. Pues con una frecuencia más elevada se podrían usar condensadores y bobinas de menor tamaño, pero en contra partida se producirían más pérdidas de potencia por conmutación, además del uso de un disipador de calor. Por eso hay que seleccionar estos valores de la forma más adecuada para mantener la corriente continua por la bobina.

7.5.2. REGULADOR ELEVADOR O BOOST

Este es otro convertidor muy similar al anterior, pero con un diseño algo distinto y obteniendo una salida con un voltaje superior a la entrada.

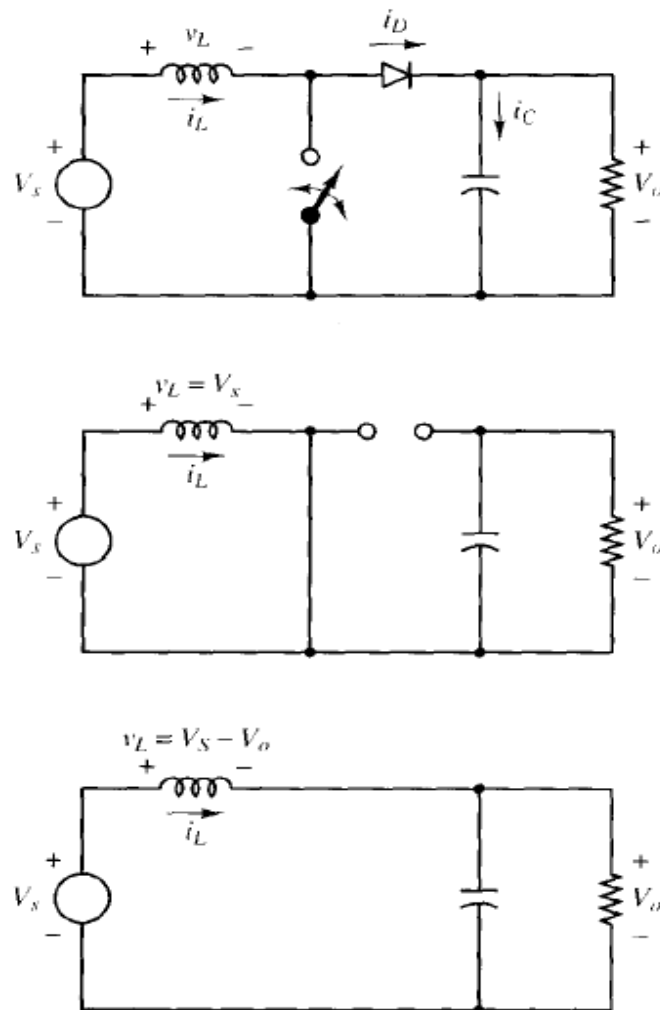


Ilustración 42: a) Convertidor DC/DC reductor. b) Equivalente con interruptor cerrado. c) Equivalente con interruptor abierto. [26]

Para su análisis se tendrá en cuenta unas suposiciones.

- El circuito opera en régimen permanente.
- El periodo de conmutación es T y el interruptor está cerrado un tiempo DT y está abierto el resto del tiempo, $(1-D) T$.
- La corriente por la bobina es permanente.
- El condensador es muy grande y la tensión de salida se mantiene constante y su valor es V_o .
- Los componentes son ideales.

Análisis con el interruptor cerrado: Con el interruptor cerrado el diodo queda polarizado inversamente, y toda la tensión de la fuente cae en la bobina por lo que:

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (7.21)$$

La corriente igual que en el convertidor anterior tiene un rizado que varía de forma lineal como se observa en la ilustración 43.b

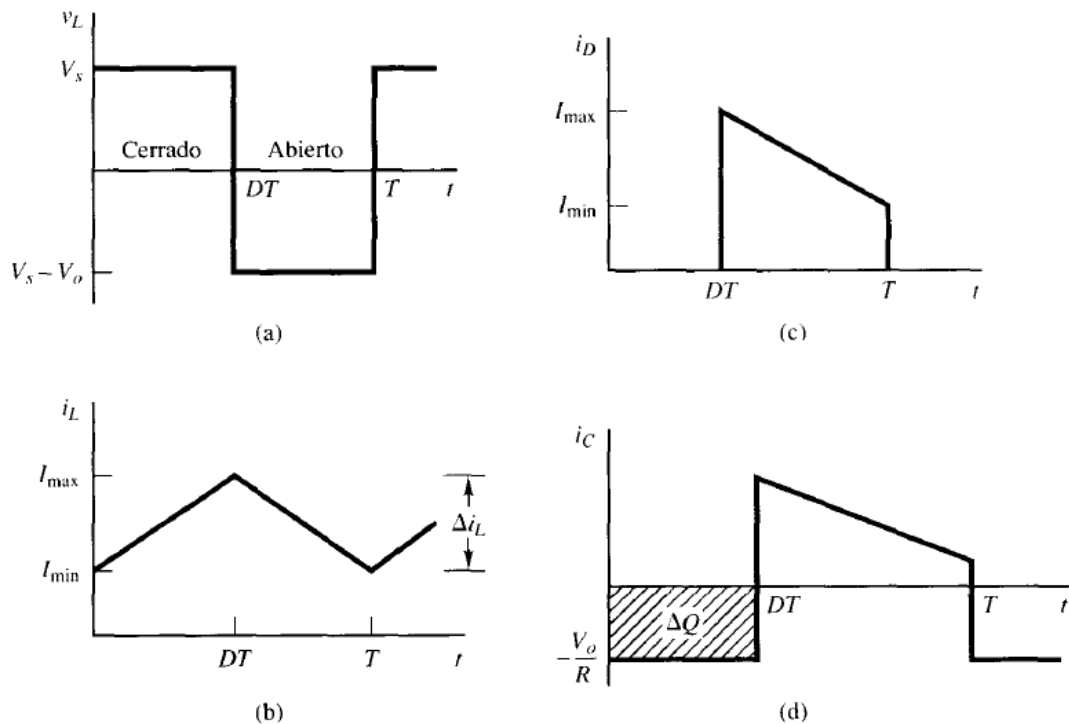


Ilustración 43: Formas de onda en el convertidor elevador. a) Tensión en la bobina. b) Corriente en la bobina. c) Corriente en el diodo. d) Corriente en el condensador. [26]

El incremento en la intensidad (Δi_L) se puede calcular con la siguiente expresión:

$$(\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = \frac{V_s T D}{L} \quad (7.22)$$

Análisis con el interruptor abierto: Con el interruptor abierto la corriente que circula por la bobina disminuye linealmente y queda el diodo polarizado directamente. La tensión en la bobina se puede calcular como:

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (7.23)$$

$$\frac{V_s - V_o}{L} = \frac{di_L}{dt} \quad (7.24)$$

La variación en la corriente con el interruptor abierto se puede calcular como:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_S - V_O}{L} \quad (7.25)$$

$$\Delta i_L = \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L} \quad (7.26)$$

En régimen permanente la corriente en la bobina debe ser 0, por ello la corriente con el transistor cerrado es igual a la corriente con el transistor abierto.

$$(\Delta i_L)_{abierto} + (\Delta i_L)_{cerrado} = 0; \quad \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L} + \frac{V_S DT}{L} = 0$$

Despejando V_O :

$$V_O = \frac{V_S}{1-D} \quad (7.27)$$

Aunque el voltaje en la salida sea mayor, la potencia en la entrada debe de ser igual a la de entrada, por ello se cumple la siguiente ecuación:

$$V_S I_S = V_S I_L \quad (7.28)$$

$$V_S I_L = \frac{V_O^2}{R} = \frac{V_S^2}{(1-D)^2 R}$$

$$I_L = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} \quad (7.29)$$

Intensidad máxima en la bobina:

$$I_{MAX} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} + \frac{V_S DT}{2L} \quad (7.30)$$

Intensidad mínima en la bobina:

$$I_{MIN} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} - \frac{V_S T D}{2L} \quad (7.31)$$

Para saber si la corriente es continua o discontinua se iguala la ecuación de intensidad mínima (7.31) a cero, si despejamos la inductancia podemos calcular su valor para que la corriente sea continua o discontinua según necesitemos.

$$I_{MIN} = 0 = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} - \frac{V_S T D}{2L}$$

$$L_{MIN} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (7.32)$$

La tensión de salida tendrá un **rizado**, pues el condensador usado en la vida real no es ideal, y se puede calcular con la siguiente formula:

$$\frac{\Delta V_O}{V_O} = \frac{D}{RCf} \quad (7.33)$$

7.5.3. CONVERTIDOR REDUCTOR-ELEVADOR O BUCK-BOOST

Este convertidor al igual que los anteriores, transforma un voltaje de entrada a uno diferente, pero puede ser superior o inferior, es decir, funciona como cualquiera de los anteriores. Tiene el esquema de la siguiente ilustración.

Según el estado del transistor, se distinguen dos circuitos, el primero con el transistor en saturación y el diodo polarizado inversamente, esto permite la circulación de corriente por la bobina.

En el segundo circuito el transistor se encuentra en corte, pero la corriente que antes circulaba por la bobina no desaparece instantáneamente, polarizando el diodo de forma directa y circulando la corriente por la carga.

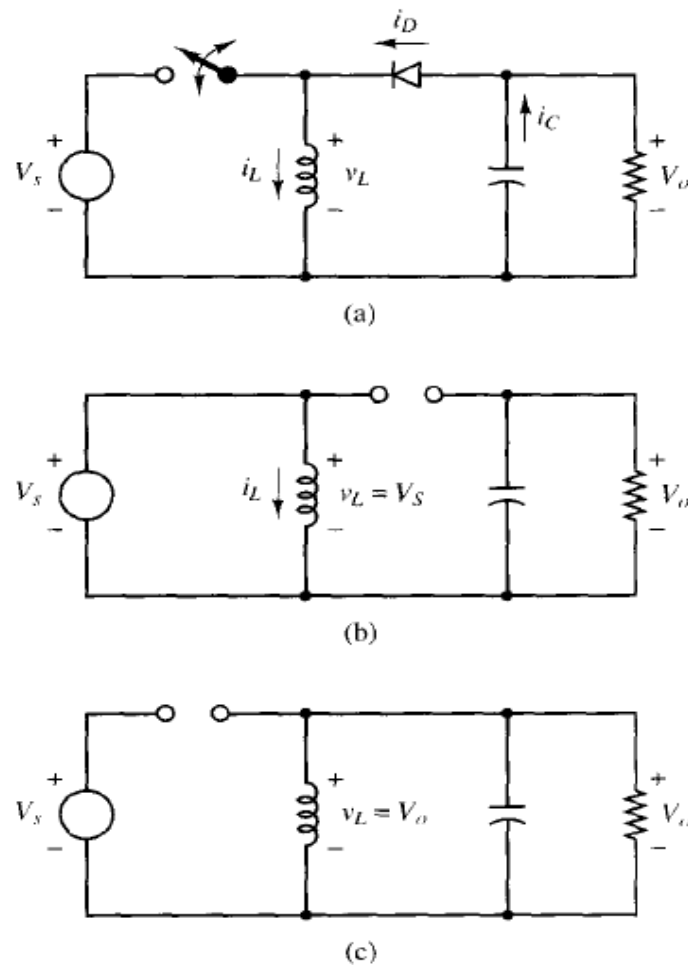


Ilustración 44: a) Convertidor DC/DC reductor-elevador. b) Equivalente con interruptor cerrado. c) Equivalente con interruptor abierto. [26]

Para su análisis se tendrá en cuenta unas suposiciones.

- El circuito opera en régimen permanente.
- El periodo de conmutación es T y el interruptor está cerrado un tiempo DT y está abierto el resto del tiempo, $(1-D)T$.
- La corriente por la bobina es permanente.
- El condensador es muy grande y la tensión de salida se mantiene constante y su valor es V_o .
- Los componentes son ideales.

Análisis con el interruptor cerrado: La tensión en la bobina se puede calcular como:

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{V_S}{L} = \frac{di_L}{dt} \quad (7.34)$$

La variación en la bobina como en los casos anteriores se produce de forma lineal y se puede calcular con la siguiente formula:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \quad (7.35)$$

Despejando se puede calcular Δi_L y queda la siguiente expresión:

$$(\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = \frac{V_S DT}{L}$$

Análisis con el interruptor abierto: La corriente en la bobina empieza a disminuir linealmente y el diodo queda polarizado de forma directa, circulando la corriente por la resistencia y el condensador. La tensión en la bobina se puede calcular como:

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{V_O}{L} = \frac{di_L}{dt}$$

La variación en la bobina como en los casos anteriores se produce de forma lineal y se puede calcular con la siguiente formula:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_O}{L}$$

Despejando se puede calcular Δi_L y queda la siguiente expresión:

$$(\Delta i_L)_{\text{abierto}} = \frac{V_O(1-D)T}{L} \quad (7.36)$$

En régimen permanente la corriente en la bobina debe ser 0, por ello la corriente con el transistor cerrado es igual a la corriente con el transistor abierto.

$$(\Delta i_L)_{\text{abierto}} + (\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = 0; \quad \frac{V_O(1-D)T}{L} + \frac{V_S DT}{L} = 0$$

Resolviendo la ecuación anterior obtenemos y despejando obtenemos V_O :

$$V_O = -V_S \left[\frac{D}{1-D} \right] \quad (7.37)$$

Se puede deducir de esta fórmula que el voltaje de salida, tiene polaridad inversa a la tensión de entrada, una diferencia respecto los convertidores anteriores.

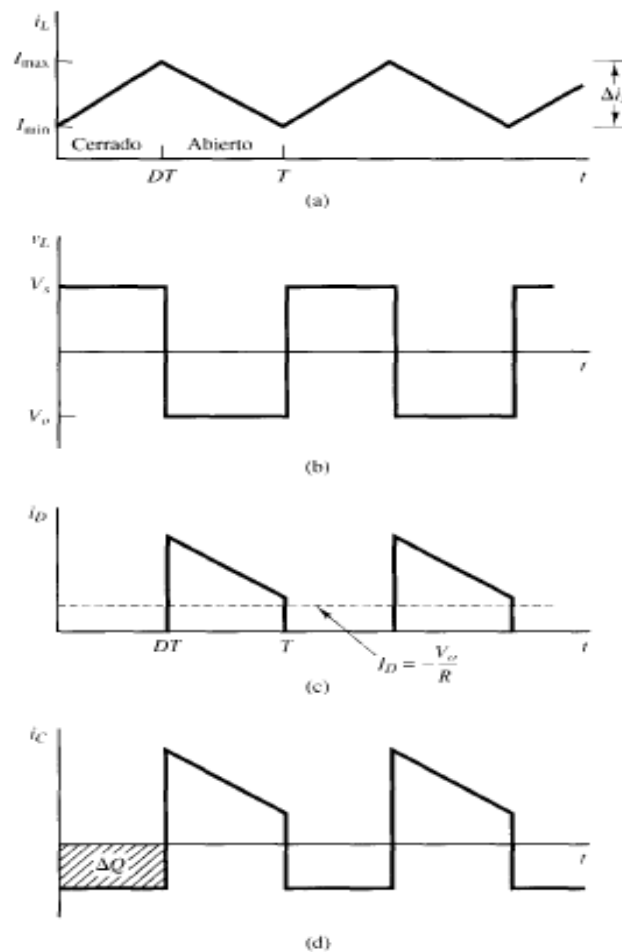


Ilustración 45: Formas de onda en el convertidor elevador. a) Corriente en la bobina. b) Tensión en la bobina. c) Corriente en el diodo. d) Corriente en el condensador. [26]

La tensión de salida tendrá un **rizado**, pues el condensador usado en la vida real no es ideal, y se puede calcular con la siguiente formula:

$$\frac{\Delta V_O}{V_O} = \frac{D}{RCf} \quad (7.38)$$

7.6. CONTROL DE DRIVERS CONMUTADOS

En los convertidores DC/DC, la tensión de salida depende de la tensión de entrada y el ciclo de trabajo. Para mantener una señal constante en la salida, se

modula el ciclo de trabajo compensado las variaciones en la entrada o en la carga.

Los sistemas realimentados comparan el valor de la salida con una referencia y adaptan el error a un ciclo de trabajo que corrija el error.

7.6.1. ESTABILIDAD DEL BUCLE DE CONTROL

A partir de las características en bucle abierto se determinan las características y estabilidad del bucle.

- La ganancia en frecuencias bajas debe ser grande para que el error en régimen permanente entre referencia y la salida sea pequeño.
- La ganancia a la frecuencia de conmutación debe ser pequeña.
- El margen de fase debe de ser positivo y mayor a 45° como margen de seguridad, es decir, un retardo menor a 180° para que sea positivo y menor 135° para cumplir el margen. Si fuese el margen menor de 0° se produciría un desfase adicional de 180° , un total de 360° que con una ganancia igual a la unidad provoca que sea inestable.

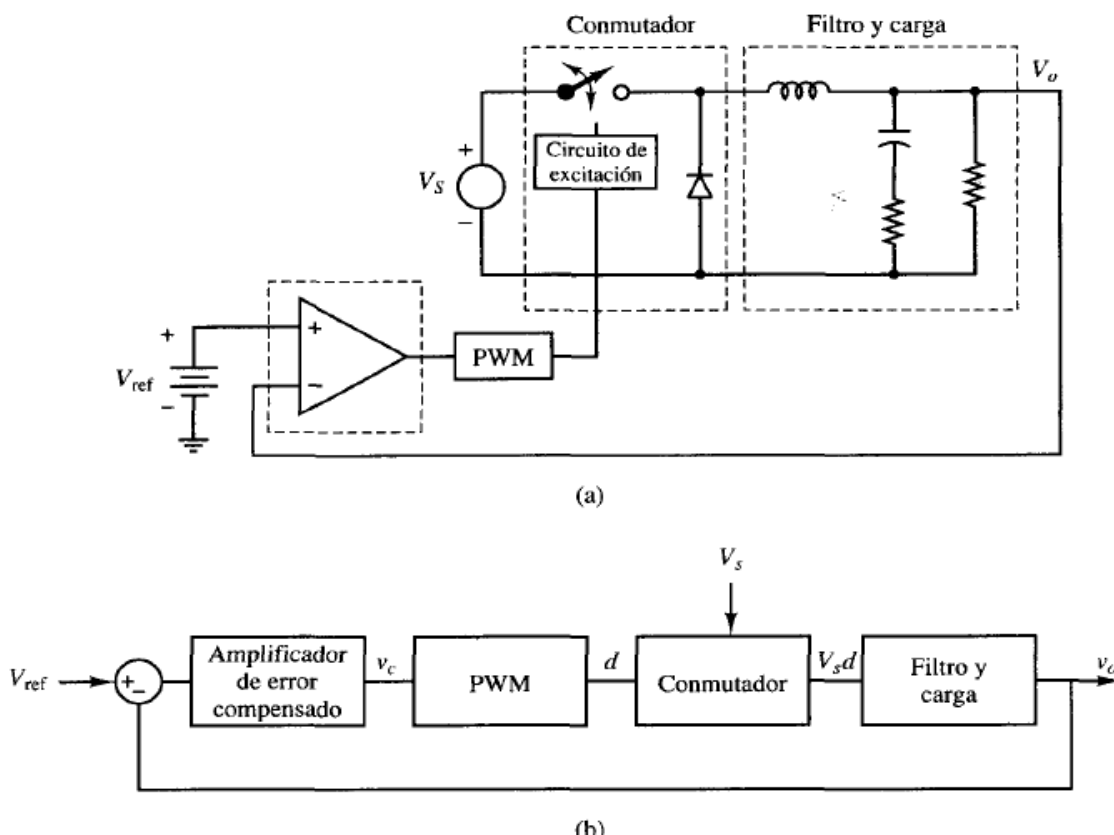


Ilustración 46: a) Convertidor en oposición con realimentación. b) Representación de control. [26]

7.6.2. ANALISIS EN PEQUEÑA SEÑAL

La corriente en la bobina, la tensión de salida, la tensión de alimentación, el ciclo de trabajo y otras magnitudes se representa de la siguiente forma:

$$v_o = V_o + \widetilde{v}_o \quad (7.39)$$

$$d = D + \widetilde{d} \quad (7.40)$$

$$i_L = I_L + \widetilde{i}_L \quad (7.41)$$

$$v_s = V_s + \widetilde{v}_s \quad (7.42)$$

Los términos en mayúsculas representan la componente continua, los términos con la tilde la componente alterna y la suma se representa en minúscula.

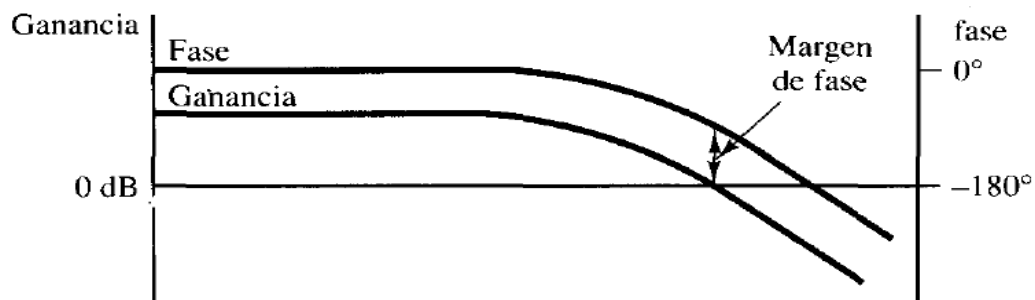


Ilustración 47: Margen de fase. [26]

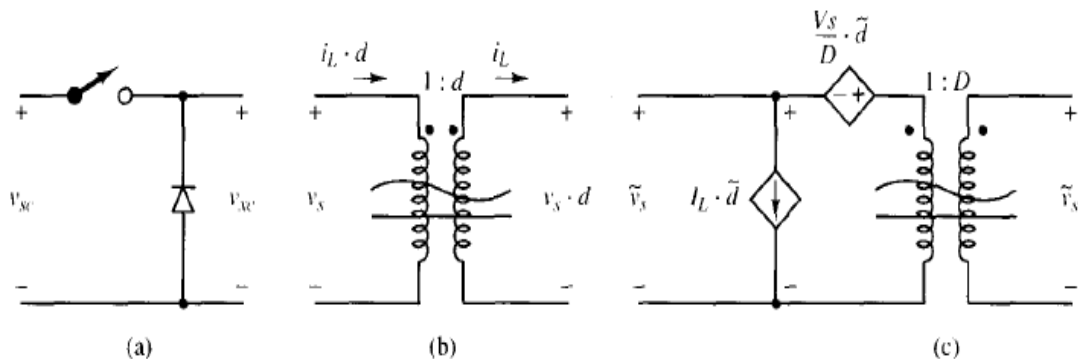
7.6.3. FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL INTERRUPTOR

Ilustración 48: Modelos de interruptor. a) Interruptor y diodo. b) Modelo promediado. c) Modelo pequeña señal. [26]

La relación entre la tensión en la fuente y la tensión en el secundario es:

$$v_x = V_S * D = (V_S + \widetilde{v}_S)(D + \widetilde{d}) = V_S D + V_S \widetilde{d} + \widetilde{v}_S D + \widetilde{v}_S \widetilde{d} \quad (7.43)$$

Despreciando los términos de pequeña señal nos queda:

$$v_x = V_S D + V_S \widetilde{d} + \widetilde{v}_S D$$

$$\widetilde{v}_x = V_S \widetilde{d} + \widetilde{v}_S D \quad (7.44)$$

La relación entre la corriente del principal y del secundario es:

$$i_s = i_L d = (I_L + \widetilde{i}_L)(D + \widetilde{d})$$

$$\widetilde{i}_s = \widetilde{i}_L D + I_L \widetilde{d} \quad (7.45)$$

7.6.4. FUNCION DE TRANSFERENCIA DE FILTRO

La función del filtro R-L-C del convertidor en oposición se obtiene analizando directamente el circuito en el dominio de la place.

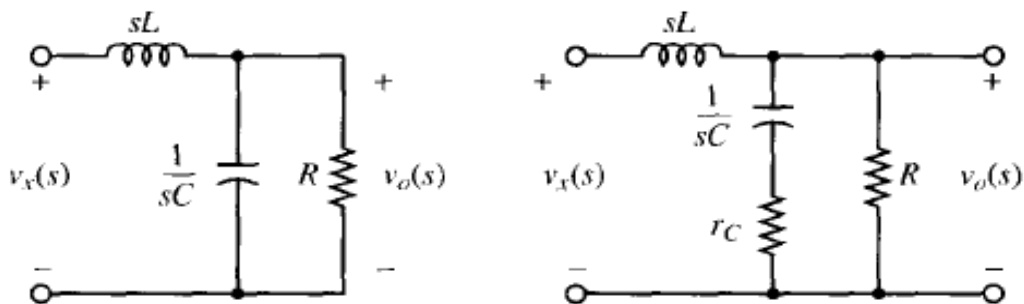


Ilustración 49: Circuito empleado para deducir la función de transferencia del filtro. a) Con un condensador ideal. b) Condensador ideal y resistencia en serie. [26]

A partir del circuito anterior se puede deducir la siguiente ecuación de transferencia del filtro:

$$\frac{V_O(s)}{V_X(s)} = \frac{V_O(s)}{V_S d(s)} = \frac{1}{LC \left(s^2 + s \left(\frac{1}{RC} \right) + \frac{1}{LC} \right)} \quad (7.46)$$

$$\frac{V_O(s)}{d(s)} = \frac{V_S}{LC \left(s^2 + s \left(\frac{1}{RC} \right) + \frac{1}{LC} \right)} \quad (7.47)$$

La función de transferencia anterior es con componente ideales adaptándola a componente reales quedaría así:

$$\frac{V_O(s)}{d(s)} = \frac{V_S}{LC} \left[\frac{1 + s r_c R}{s^2 \left(1 + \frac{r_c}{R} \right) + s \left(\frac{1}{RC} + \frac{r_c}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \right] \quad (7.48)$$

Como $r_c \ll R$ en los circuitos reales, se puede simplificar la ecuación:

$$\frac{V_O(s)}{d(s)} \approx \frac{V_S}{LC} \left[\frac{1 + s r_c R}{s^2 + s \left(\frac{1}{RC} + \frac{r_c}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \right] \quad (7.49)$$

En la ecuación anterior se osera que la resistencia enserie añade un cero, que tiene gran importancia para determinar la estabilidad del sistema.

7.6.5. FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL PWM

EL PWM adapta la salida, convirtiendo el error compensado en un ciclo de trabajo. El error amplificado se compara con una señal de dientes de sierra de amplitud V_P , siendo un valor alto en el PWM cuando V_C es mayor que la señal de dientes de sierra. Si la señal de salida cae por debajo de la señal de referencia aumentare el error, provocando que aumente V_C y el ciclo de trabajo, compensando así el error. Si la salida fuese mayor, se reduciría el ciclo de trabajo de igual manera. La función de transferencia del PWM vendría determinada por la siguiente expresión lineal:

$$d = \frac{V_C}{V_P} \quad (7.50)$$

Y la función sería:

$$\frac{d(s)}{v_C} = \frac{1}{V_P} \quad (7.51)$$

7.6.6. AMPLICADOR DE ERROR CON COMPENSACION

El amplificador de error se encarga de comparar la tensión de salida con la tensión de referencia, que se utilizara para la generación de PWM con el ajuste necesario.

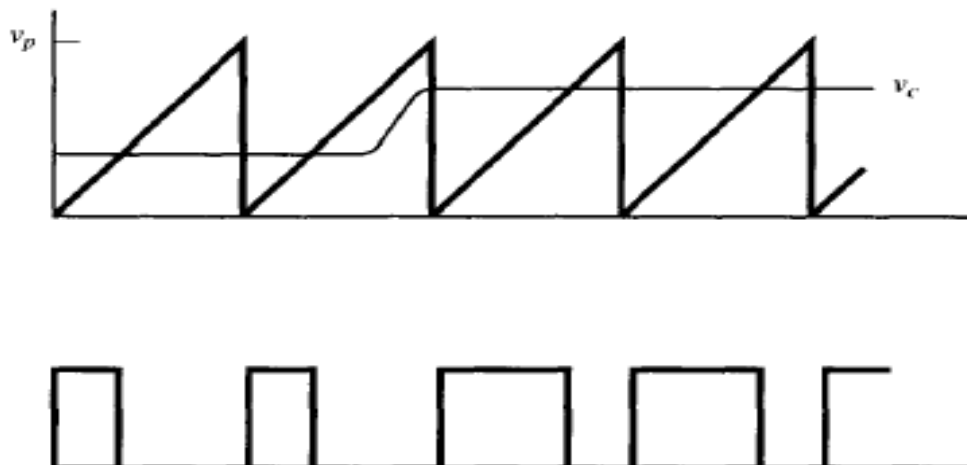


Ilustración 50: PWM, produce un nivel alto cuando la señal VC generada por el amplificador de error tiene un valor mayor que la señal de diente de sierra. [26]

Se utiliza un compensador de tipo 2, la compensación asociada al amplificador garantiza la estabilidad del sistema de control y su funcionamiento.

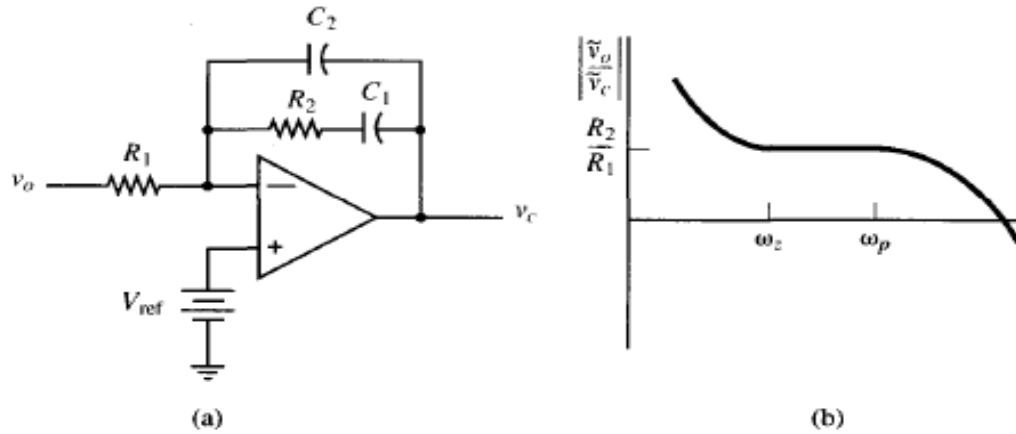


Ilustración 51: a) Amplificador de error compensado. b) Respuesta en frecuencia. [26]

La función en pequeña señal del amplificador, se expresa en función de las impedancias de entrada y realimentación, siendo $Z_i = R_1$:

$$Z_f = \left(1 + \frac{1}{sC_1}\right) \parallel \frac{1}{sC_2} \quad (7.52)$$

De aquí se obtiene y suponiendo $C_2 \ll C_1$:

$$\frac{\widetilde{v}_c(s)}{\widetilde{v}_o(s)} = - \frac{\left(s + \frac{1}{R_2 C_1}\right)}{R_1 C_2 s \left(s + \frac{1}{R_2 C_2}\right)} \quad (7.53)$$

Esta función de transferencia presenta un polo en el origen y un cero, y un polo en:

$$\omega_z = \frac{1}{R_2 C_1} \quad (7.54)$$

$$\omega_p = \frac{C_1 + C_2}{R_2 C_1 C_2} \approx \frac{1}{R_2 C_2} \quad (7.55)$$

Los valores C_1 , C_2 , R_1 y R_2 se seleccionan de manera que el sistema de control tenga las características deseadas. En la siguiente ilustración (6.16) se muestra de forma combinada las funciones de transferencia del filtro del circuito PWM, el filtro de salida forward y el interruptor.

La resistencia en serie con el filtro provoca un cero en $\omega = 1/r_c C$. También se puede evaluar la función de transferencia haciendo $S = j\omega$.

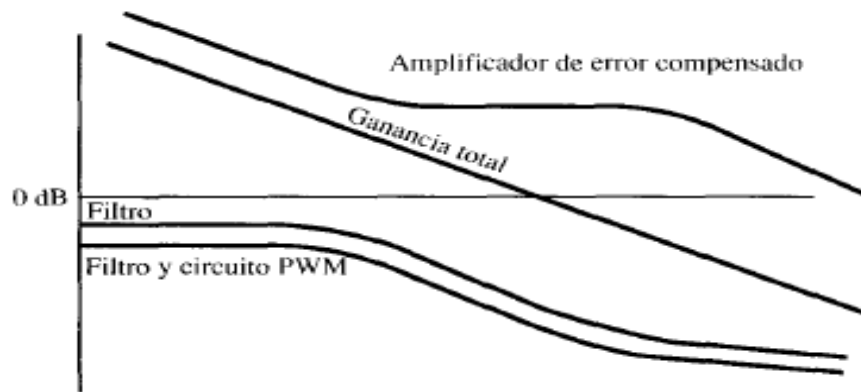


Ilustración 52: Respuesta en frecuencia de la función de transferencia del bucle del control. [26]

7.6.7. DISEÑO DE COMPENSACIÓN DE LAZO EN FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADAS.

La necesidad de usar fuentes conmutadas diferentes a las fuentes de alimentación comerciales nos lleva a realizar el diseño de un amplificador de lazo, una tarea difícil que requiere de numerosas iteraciones y modificaciones para ajustar los valores de los componentes de compensación.

Un sistema realimentado poco compensado puede dar fallo de inestabilidad. Al igual que un sistema sobre compensado será estable, pero con un ancho de banda pequeño y una velocidad de respuesta a transitorios baja, que además necesitará una gran capacitancia en la salida para cumplir el requisito de transitorios aumentado su tamaño y coste.

En las siguientes ilustraciones podemos ver un ejemplo de la respuesta de los sistemas definidos anteriormente. También se muestra un sistema bien compensado con una respuesta rápida y estable.

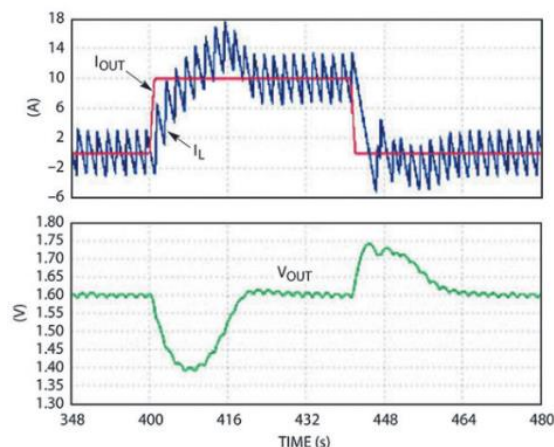


Ilustración 53: Sistema sobre-compensado.[27]

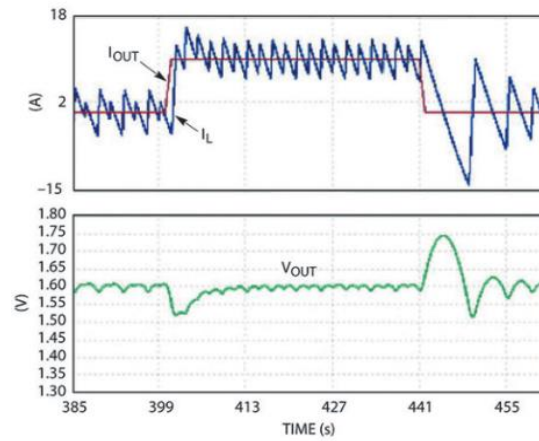


Ilustración 55: Sistema sub-compensado. [27]

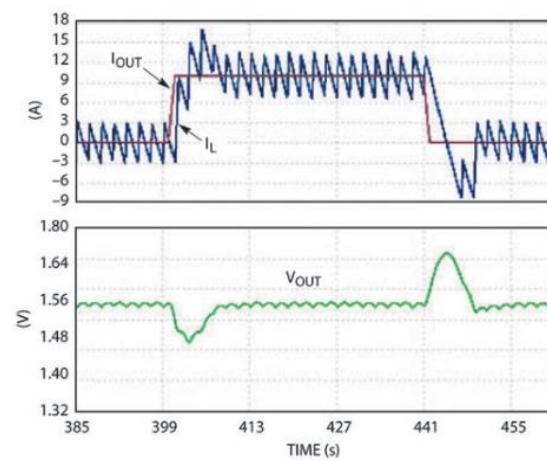


Ilustración 54: Sistema optimizado. [27]

7.6.8. MODELADO DEL SISTEMA Y MODO CONTROL DE CORRIENTE.

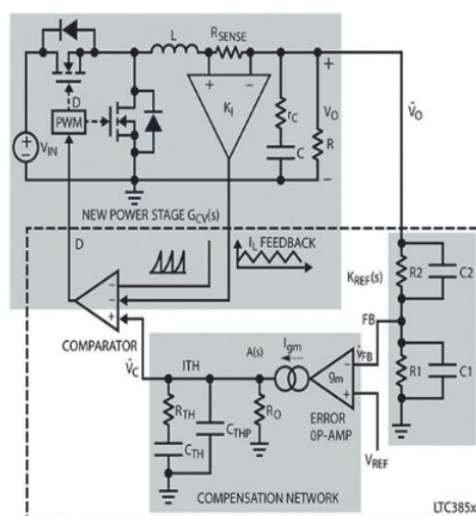


Ilustración 56: Diagrama de bloque del convertidor con lazo interior de corriente y exterior de tensión. [27]

En la ilustración anterior se observa un ejemplo del modelado de un convertidor reductor, el cual tiene un lazo de tensión exterior y un lazo de corriente interior que lo convierte en un convertidor controlado en modo corriente. El lazo de corriente ayuda a superar las limitaciones que tiene en modo tensión, aportando un menor retardo de fase facilita la compensación del lazo exterior de tensión y una mayor velocidad y precisión para limitar la corriente ante una sobrecarga o saturación del inductor.

7.6.9. MODELADO ETAPA DE POTENCIA

En la siguiente ilustración se muestra un modelo simplificado de la etapa de potencia con un lazo de corriente interno, es un convertidor reductor y es de primer orden.

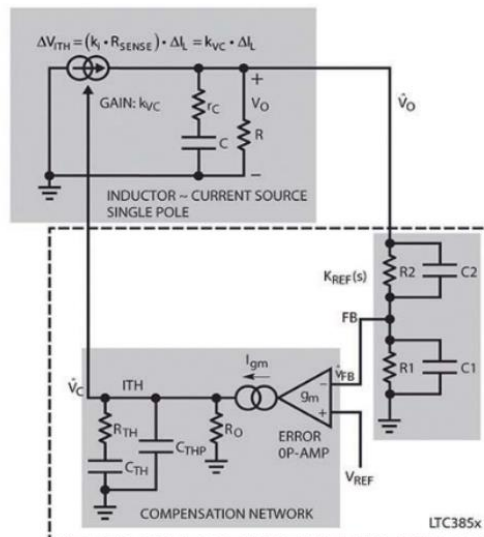


Ilustración 57: Modelado sencillo de 1º orden para un convertidor Buck en modo corriente. [27]

Tiene una frecuencia de conmutación de 500 kHz, pero en este caso al ser un modelo más simple es preciso solo hasta 10 kHz, al sobrepasar esa frecuencia deja de ser preciso. Es muy complicado hacer un modelo para convertidores en modo corriente para todo el rango de frecuencias.

Para diseñar el lazo de control se comenzará a través de la ganancia del lazo exterior de tensión $T(s)$:

$$T(s) = K_{REF}(s) * G_{CV}(s) * A(s) \quad (7.56)$$

Siendo:

- G_{CV} corresponde con la ganancia de la etapa de potencia.
- K_{REF} es la etapa de realimentación de tensión.
- $A(s)$ es la etapa de compensación.

El diseño de la etapa K_{REF} y $A(s)$ definirán la respuesta ante transitorios y estabilidad de la fuente.

Para evaluar el rendimiento del lazo cerrado de tensión $T(s)$ se utiliza el ancho de banda o la frecuencia de corte y el margen de estabilidad con el margen de fase o ganancia. Para conseguir la atenuación del ruido de la placa y un margen de fase suficiente se selecciona una frecuencia de corte inferior a 1/10-1/6 de la frecuencia de conmutación.

7.6.10. MODELADO ETAPA DE TENSIÓN

A continuación, se diseña la etapa K_{REF} , como se puede ver en la siguiente ilustración está compuesta por $R1$, $R2$, $C1$ y $C2$.

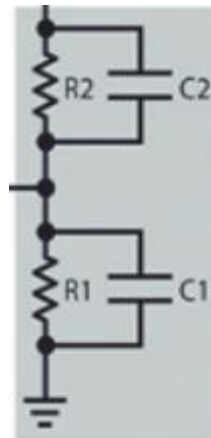


Ilustración 58: Etapa K_{REF} . [27]

La etapa K_{REF} viene definida por la ecuación:

$$K_{REF}(s) = \frac{V_{REF}}{V_O} = V_{REF} * \left(\frac{1 + \frac{s}{2\pi f_z}}{1 + \frac{s}{2\pi f_p}} \right) \quad (7.57)$$

Siendo:

$$f_z = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 \cdot C_2} \quad (7.58)$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot (C_1 + C_2)} \quad (7.59)$$

Se cumple que f_p es mayor que f_z .

7.6.11. MODELADO ETAPA DE COMPENSACIÓN

Por último, se modela la etapa de compensación $A(s)$.

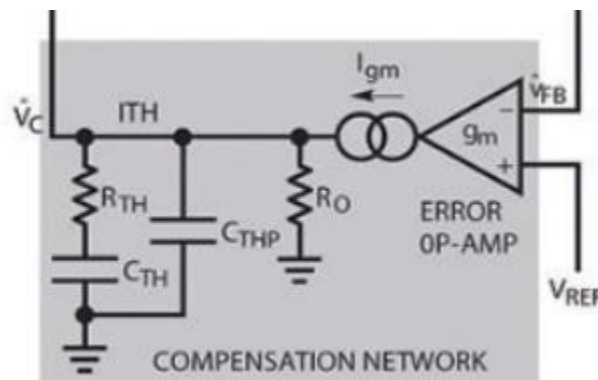


Ilustración 59: Etapa de compensación $A(s)$. [27]

Esta parte del circuito tiene una gran importancia para que la fuente este correctamente optimizada. Pues determina la frecuencia de corte, la ganancia en continua y los márgenes de fase y ganancia del lazo de tensión de alimentación.

$A(s)$ viene definido por la ecuación:

$$A(s) = \frac{V_{ith}}{V_{FB}} = G_m * Z_{ith} \quad (9.60)$$

Siendo:

- g_m es la ganancia del amplificador de error en transconductancia.
- Z_{ith} es impedancia en la patilla de ith .

Continuamos analizando el sistema, pero de manera global. Para ello nos ayudamos del siguiente esquema de bloques.

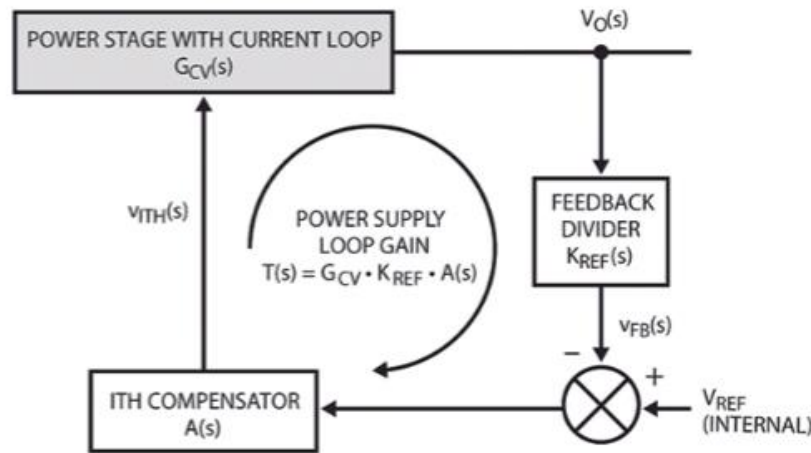


Ilustración 60: Diagrama de bloques del sistema. [27]

El error viene definido por la ecuación:

$$\frac{ERROR}{V_O} = \frac{V_{REF} - V_{FB}}{V_{REF}} = \frac{1}{A(s) * G_{CV}(s)} \quad (7.61)$$

De la ecuación anterior se puede deducir que el error será menor a mayor sea la ganancia en continua de la etapa de compensación $A(s)$. Para maximizar la ganancia en continua de $A(s)$ se coloca un condensador (C_{TH}) en la patilla ITH, esto crea un integrador (polo en el origen), esto modifica Z_{ITH} y a su vez el comportamiento de $A(s)$.

La impedancia de salida g_m no tiene un valor infinito, añadiendo R_O modificamos el comportamiento de $A(s)$.

Esto en contrapartida provoca la aparición de ruido en la frecuencia de conmutación, debido al aumento de la ganancia en frecuencias elevadas. Añadiendo un condensador (C_{THP}) de menor tamaño que C_{ITH} se genera otro polo entre la frecuencia de corte y conmutación, que compensa el aumento de ganancia y atenúa el ruido de la placa.

$A(s)$ queda definido como:

$$A(s) = \frac{V_{ith}}{V_{FB}} = G_m * R_O * \frac{1 + \frac{s}{s_{THZ}}}{\left(1 + \frac{s}{s_{PO}}\right) * \left(1 + \frac{s}{s_{THP}}\right)} \quad (7.62)$$

$$s_{PO} = \frac{1}{R_O * C_{ITH}} \quad (7.63)$$

$$s_{THZ} = \frac{1}{R_{ITH} * C_{ITH}} \quad (7.64)$$

$$S_{THP} = \frac{1}{R_{ITH} * \left(\frac{C_{ITH} * C_{THP}}{C_{ITH} + C_{THP}} \right)} \quad (7.65)$$

En la siguiente ilustración podemos ver la función de transferencia de este compensador, la cual contiene un cero en f_{z1} y dos polos en f_{p0} y f_{p2} .

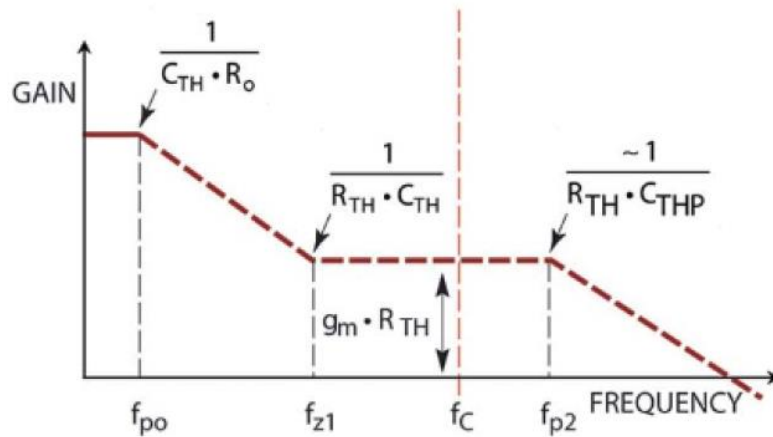


Ilustración 61: Función de transferencia de la red de compensación. [27]

EJEMPLO TEÓRICO

1. Calcule la frecuencia de cruce deseada para la función de transferencia en bucle abierto.
Esta frecuencia esta un orden de magnitud por debajo de la frecuencia de conmutación.
2. Determine la función de transferencia y la respuesta en frecuencia de todos los elementos del circuito de control, a excepción del amplificador de error compensado.
3. Determine la ganancia para frecuencias medias del amplificador de error compensado que será necesaria para obtener la frecuencia de cruce deseada.
4. Seleccione el margen de fase necesario para estabilidad. Calcule el polo y cero a partir de C1 y C2.

Parámetros del circuito	
V_s	20 V con una salida de 8 V.
Frecuencia	60 kHz
Inductancia	100 uH con una resistencia en serie de 0,5 Ω
Capacitancia	80 uF con una resistencia equivalente en serie de 0,6 Ω
Resistencia	5 Ω
V_P	3 V en el circuito PWM

Tabla 7: Datos ejemplo.

SOLUCION

1. La frecuencia de cruce de la función de transferencia en bucle abierto (frecuencia donde la ganancia es 1 o 0 dB), debe ser mucho menor que la frecuencia de conmutación, la estableceremos como $f_{co} = 10$ kHz.
2. El convertidor PWM presenta una ganancia de $1/V_P = 1/3 = -9,54$ dB, el filtro nos proporciona una ganancia de a 10 kHz de -20,84 dB, lo que nos da una ganancia total entre el filtro y el convertidor PWM de -20,84 dB -9,54 dB = -30,38 dB.
3. El amplificador de error compensado debe presentar una ganancia de +30,38 db a 10kHz para que la ganancia del bucle sea 0.

$$30,38 = 20 \log_{10} \left(\frac{V_o}{V_i} \right)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = 10^{\left(\frac{30,38}{20} \right)} = 33$$

El valor de la ganancia a frecuencias medias es de:

$$\frac{R_2}{R_1} = 33$$

Si $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, R_2 será igual a $33 \text{ k}\Omega$.

4. El margen de fase vendrá determinado por el valor de k y el ángulo de fase a la frecuencia de cruce, para $k=3$, tenemos un desfase de -217° en el amplificador de error compensado. Si el ángulo de margen del filtro es de -97° , el margen de fase será: $360^\circ - 97^\circ - 217^\circ = 46^\circ$, que es un valor óptimo.

8. DRIVERS LED EN AUTOMOCIÓN

En automoción se pueden distinguir diferentes fabricantes de circuitos integrados destinados al control led, entre ellos podemos destacar Linear Technology, Texas Instruments, Infineon, On semiconductor, etc.

La principal función de este bloque es conocer algunos circuitos utilizados en automoción y sus topologías, pero debido a que su dificultad que es algo mayor solo se estudiarán de forma teórica sus principales características y aplicaciones.

También se analizará los distintos softwares de los fabricantes para ver su funcionamiento y utilidad para las simulaciones de los propios circuitos.

8.1. CIRCUITO DE CONTROL LED LT3746-LINEAR TECHNOLOGY

El circuito LT3746 integra un controlador led de 32 canales con un conmutador de hasta 55V. El controlador ofrece hasta 30 mA / 13 V por canal, el Buck genera un voltaje adaptativo que alimenta las cadenas de led paralelas. Cada canal tiene un ajuste de corriente individual de 6bits y atenuación de PWM en escala de grises de 12 bits. Tanto la corrección como la escala de grises son accesibles a través de una interfaz de datos en serie lógica TTL / CMOS.

El LT3746 realiza un diagnóstico completo y de protección contra led abierto / corto y fallo por sobre temperatura. El estado del fallo se devuelve a través de la interfaz de datos en serie. La interfaz tiene una frecuencia 30 MHz totalmente amortiguada, asimétrica y en cascada.

Características LT3746

- Rango de voltaje de entrada de potencia de 6V a 55V.
- 32 salidas led independientes de hasta 30 mA / 13 V.
- Ajuste de corriente de corrección de punto de 6 bits.
- Atenuación PWM en escala de grises de 12 bits.
- Tiempo mínimo de encendido de led de 0.5 μ s.
- Voltaje de bus led adaptable para alta eficiencia
- Interfaz de datos en serie de 30 MHz en cascada
- Diagnóstico completo y protección: led individual abierto / corto y falla de sobre temperatura.

32-Channel LED Driver, 1MHz Buck, 3 LEDs 10mA to 30mA per Channel, 500Hz 12-Bit Dimming

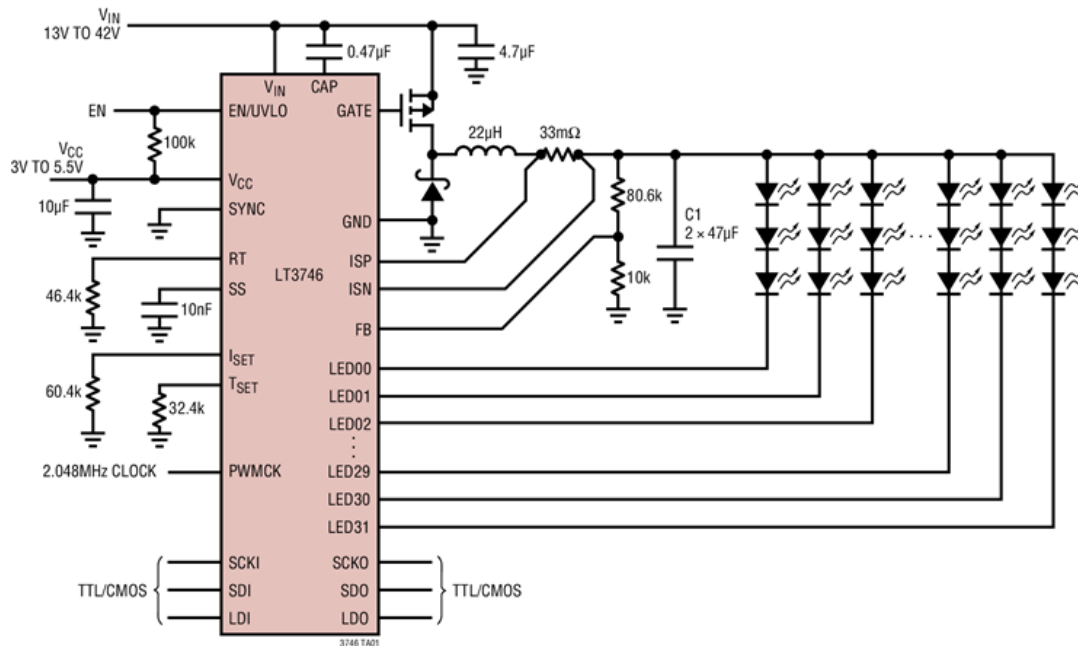


Ilustración 62: Circuito controlador led LT3746. [29]

Principales usos:

- Control led en automoción.
- Pantallas led mono, multicolores, a todo color.
- Vallas publicitarias.

8.2. CIRCUITO DE CONTROL LED MAX16834-Maxim Integrated

El MAX16834 es un controlador de led de alto brillo (HB led) utilizable en topologías boost, boost-buck, SEPIC y high-side buck. Además de accionar un interruptor MOSFET de potencia de n canales controlado por el controlador de conmutación, también acciona un interruptor de atenuación PWM de n canales para lograr la atenuación led PWM. El MAX16834 integra todos los componentes básicos necesarios para implementar un controlador de led HB de frecuencia fija con control de atenuación de amplio rango. El MAX16834 cuenta con control de modo de corriente pico de frecuencia constante con compensación de pendiente programable para controlar el ciclo de trabajo del controlador PWM.

Además de la atenuación PWM, el MAX16834 proporciona atenuación analógica utilizando una entrada de CC en REFI. La frecuencia de conmutación programable (100kHz a 1MHz) permite la optimización del diseño para la eficiencia y la reducción del espacio de la placa. Una sola resistencia de RT / SYNC a tierra establece la frecuencia de conmutación de 100kHz a 1MHz, mientras que una señal de reloj externo en RT / SYNC desactiva el oscilador interno y permite que el MAX16834 se sincronice con un reloj externo. El amplificador de detección de corriente de lado alto integrado del MAX16834 elimina la necesidad de un amplificador de detección de corriente led de lado alto separado en aplicaciones de refuerzo.

El MAX16834 opera en un amplio rango de suministro de 4.75V a 28V e incluye un controlador de puerta de sumidero / fuente de 3A para controlar un MOSFET de potencia en aplicaciones de controlador de led de alta potencia. También puede funcionar con voltajes de entrada mayores a 28 V en configuración de refuerzo con una abrazadera de voltaje externo. El MAX16834 también es adecuado para aplicaciones de convertidor DC-DC como boost o buck-boost. Las características adicionales incluyen entrada de activación / desactivación externa, un oscilador en chip, salida de indicador de falla (FLT activo-bajo) para led abierto / corto o sobre temperatura, y una entrada de detección de protección contra sobretensión (OVP +) para una verdadera protección contra sobretensión.

Características MAX16834

- Tensión de entrada entre 4,75 a 28V.
- Regulación PWM 3000:1.
- Controlador MOSFET de atenuación PWM integrado.
- Amplificador de detección de corriente de lado alto integrado para detección de corriente led en convertidor Boost-Buck.
- Frecuencia programable entre 100 kHz a 1MHz.
- Admite las topologías Boost, Buck-Boost, SEPIC y High-Side Buck
- Entrada de sincronización de reloj externo Posibilidad de programación UVLO.
- Regulador interno de baja caída de 7V.
- Salida de falla (FLT) para sobretensión, sobre corriente y fallas de advertencia térmica.
- Protección programable de sobretensión diferencial.

Principales usos:

- Iluminación arquitectónica y decorativa (MR16, MR111)
- Automotriz trasera e iluminación delantera en faros.
- Convertidores DC-DC / Buck Boost.
- Control de una cadena de led LCD con retroiluminación.
- Spot y luces ambientales.

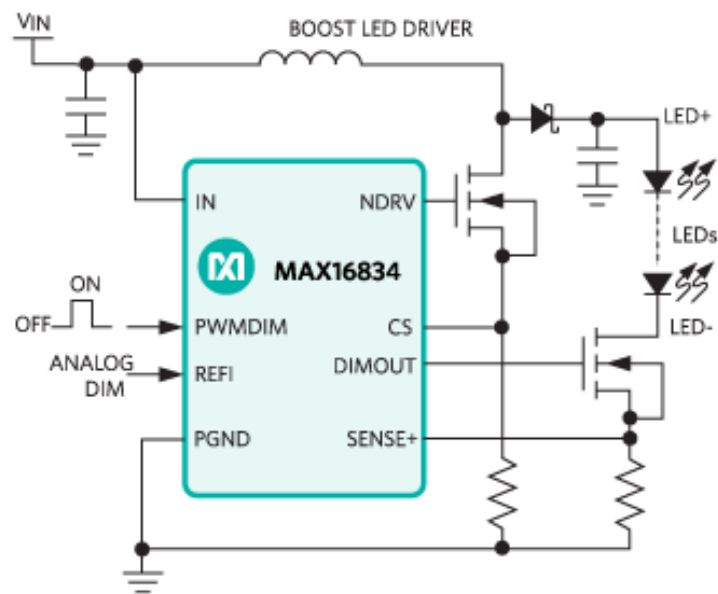


Ilustración 63: Circuito controlador led MAX16834. [30]

8.3. CIRCUITO DE CONTROL LED LC75843-ON Semiconductor

El LC75843UGA es el controlador LCD controlado por microprocesador de uso general de 1/1 a 1/4 para uso general que se puede utilizar en aplicaciones como un monitor en el sector automotriz. Además de poder conducir hasta 100 segmentos directamente, el LC75843UGA también puede controlar hasta 4 puertos de salida de uso general. Debido a que tiene una salida PWM de un máximo de 3 canales, se puede hacer el control de brillo de la retroiluminación led de RGB. Además, Incorpora un circuito de oscilación que ayuda a reducir el número de resistencias externas y condensadores necesario.

Características LC75843

- Soporta diferentes cargas estáticas:
 - Para 1/1- de ciclo: Capaz de conducir hasta 28 segmentos.
 - Para 1/2-de ciclo: Capaz de conducir hasta 54 segmentos.
 - Para 1/3 de ciclo: Capaz de conducir hasta 78 segmentos.
 - Para 1/4 de ciclo: Capaz de conducir hasta 100 segmentos.
- La entrada de datos en serie admite la comunicación en formato CCB* con el sistema controlador. Soporta operación de 3.3 V y 5 V.
- Control de la función de ahorro de energía y la función forzada de todos los segmentos.
- Control para cambiar entre el puerto de salida y función de puerto de salida de propósito general. Soporte para hasta 4 puertos de salida de uso general
- Soporte para la función de salida PWM de un máximo de 3 canales. Puede salir desde el puerto de salida de uso general.
- Soporte para la función de salida de reloj de 1 canal. Puede salir desde el puerto de salida de uso general
- Control de datos para cambiar entre el oscilador interno del circuito y modo de funcionamiento del reloj externo.
- Alta generalidad, ya que los datos de visualización se muestran directamente sin la intervención de un circuito decodificador.
- Circuito de estabilización de voltaje de polarización de la unidad LCD incorporado.
- El pin INH permite que la pantalla se fuerce al estado apagado.
- Incorporación de un circuito oscilador. Incorporación de resistencia y condensador para una oscilación.

Principales usos:

- Ajuste del contraste en pantallas LCD en automoción.
- Automotriz trasera e iluminación delantera en faros.
- Convertidores DC-DC / Buck Boost.

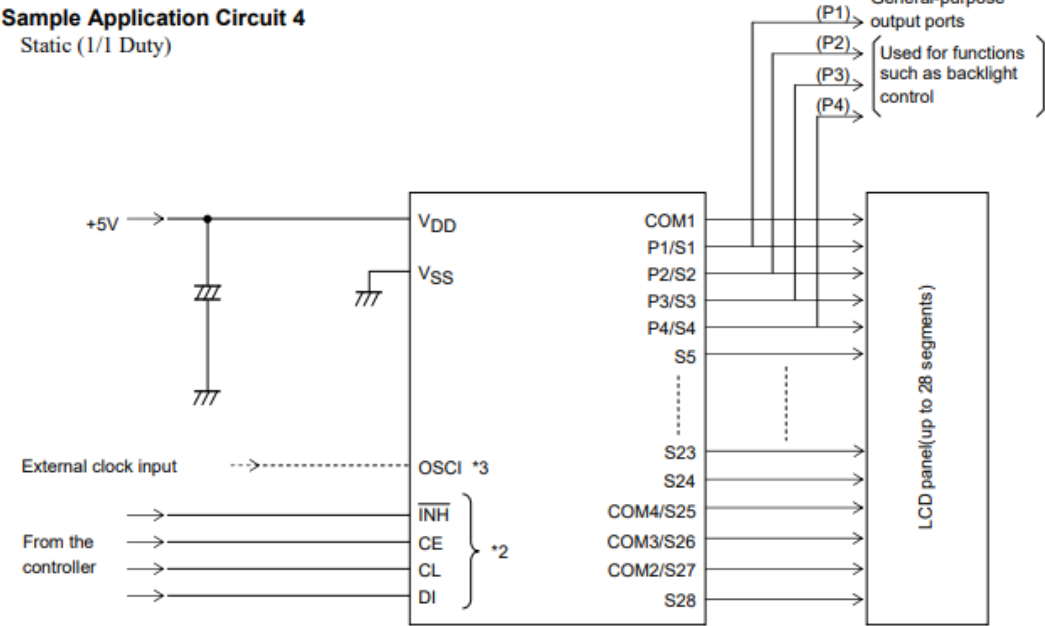


Ilustración 64: Circuito controlador led LC75843. [31]

8.4. COMPARATIVA DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN INDUSTRIAL

La comparativa mostrará las herramientas que ofrecen los fabricantes Linear Technology (LTpowerCAD II v2), Texas Instruments (WEBENCH Designer) y STMicroelectronics (eDesignSuite) para la simulación de circuitos integrados de control led o convertidores DC/DC.

8.4.1. WEBENCH® Power Designer

Crea circuitos de suministro de energía personalizados según los requisitos necesarios. Lo primero que podemos destacar es que es on-line y no es necesario descargar nada, solo es necesario registrarse que es de forma gratuita.

Empezar a usar el programa muy simple, a continuación, veremos un ejemplo de convertir DC/DC y la interfaz que aparece es la siguiente.

The screenshot displays the WEBENCH Power Designer web interface. It is divided into three main sections: 'Entrada' (Input), 'Salida' (Output), and 'Consideración de diseño' (Design Consideration).

- Entrada (Input):**
 - 'El tipo de suministro es' (The supply type is): Two buttons, 'corriente continua' (selected) and 'C.A.'.
 - 'Vin Min *': A text input field with '14' and a unit 'V' dropdown. Range: (-50 - 500).
 - 'Vin Max *': A text input field with '22' and a unit 'V' dropdown. Range: (-50 - 500).
 - 'Avanzado': A dropdown menu.
- Salida (Output):**
 - 'Vout *': A text input field with '3.3' and a unit 'V' dropdown. Range: (-80 - 500).
 - 'Iout Max *': A text input field with '2' and a unit 'UNA' dropdown. Range: (0 - 180).
 - 'Salida aislada': A toggle switch.
 - 'Avanzado': A dropdown menu.
- Consideración de diseño (Design Consideration):**
 - 'Quiero que mi diseño sea' (I want my design to be): Four buttons: 'Equilibrado' (selected), 'Bajo costo', 'Alta eficiencia', and 'Pequeña huella de pie'.
 - 'Parámetros de diseño': A dropdown menu.
 - 'VER DISEÑOS': A red button at the bottom.

Ilustración 65: Interfaz de inicio WEBENCH. [32]

Se puede ver que introduciendo un voltaje de entrada ya sea en CC o CA (también sería necesario la frecuencia de trabajo), el voltaje de salida y alguna característica de diseño como eficiencia, precio, equilibrado o tamaño pequeño, y automáticamente nos buscara los circuitos integrados con el diseño adecuado que más se adapten a nuestras especificaciones, ahorrándote buscar y comparar cada circuito manualmente.

Después nos aparece una lista con los circuitos que cumplen los requisitos anteriores, esta lista también la podremos filtrar (con filtros como eficacia, costo, huella, etc.), para encontrar el más adecuado para nosotros.

En cada circuito se puede personalizar el resto de componentes, algunos dan la opción de simular (no todos se pueden simular) y también podemos exportar

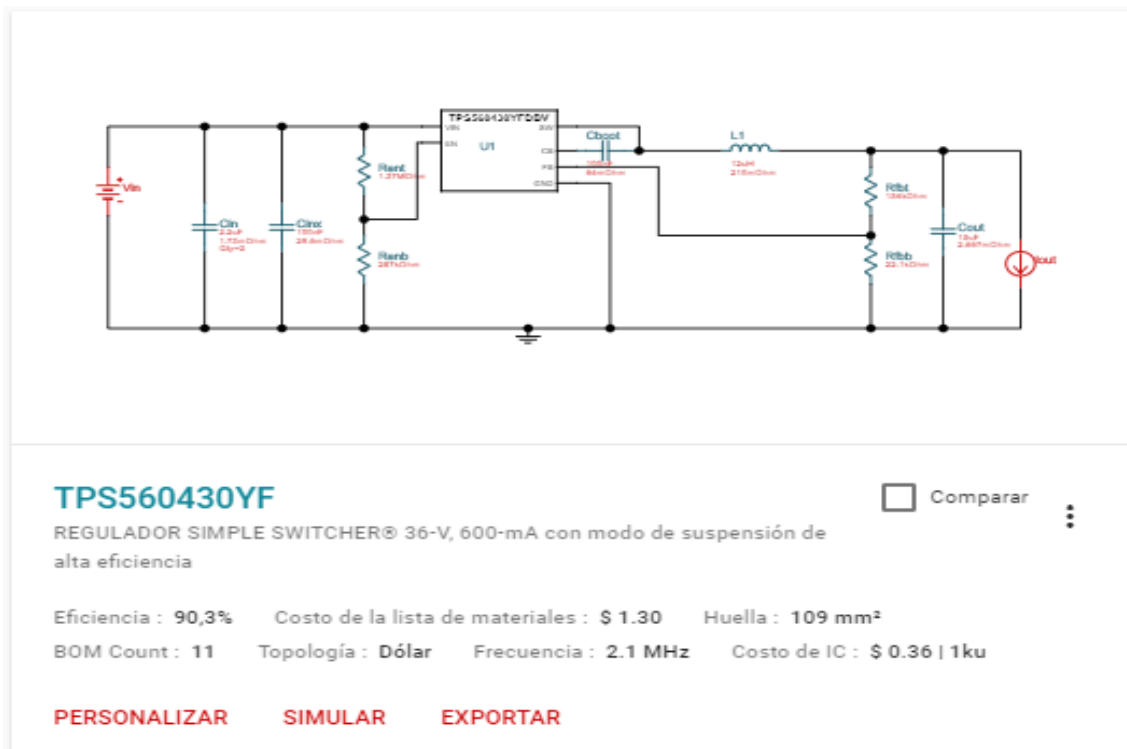


Ilustración 66: Circuito de WEBENCH. [32]

Personalizar permite cambiar el valor de entrada de la tensión o la intensidad de salida elegidos anteriormente, esto actualizara el valor del resto de componentes del circuito.

Simular permite ver el comportamiento eléctrico que tendrá nuestro circuito en diferentes casos, para mi ejemplo podía simular: la puesta en marcha, el efecto que provoca una carga transitoria, el transitorio de entrada y el funcionamiento en estado estable.

Todas las simulaciones son muy buenas y se generan en PDF con todas las características del circuito integrado, las gráficas de simulación, el esquemático y la lista de materiales, siendo muy completo.

Destacar que entre las gráficas mostradas se encuentran el ciclo de trabajo, la eficacia y la respuesta en bucle (ganancia y margen de fase) que es muy importante para la estabilidad del sistema.

Exportar una vez terminado que tengamos el circuito que nos gusta y cumpla con nuestras necesidades podemos sacar el esquemático y un diseño de PCB para diferentes plataformas como: Altium Designer, CAD o Cadencia, TINA-TI, CadSoft EAGLY, Mentor Graphics y P-CAD.

8.4.2. eDesignSuite

Crea circuitos de suministro de energía personalizados según los requisitos necesarios. Lo primero que podemos destacar es que es on-line y no es necesario descargar nada, también es necesario registrarse para algunas funciones. Este programa nos permite elegir entre circuitos más específicos como controladores led, que en nuestro caso se ajusta mucho a nuestras necesidades.

Seleccionando las características de nuestro led y el numero de string led como de led por string el programa nos mostrara los circuitos mas adecuados para nosotros, con lo que podemos crear un circuito para simular.

Una vez lo creamos nos aparece las siguientes opciones y características de nuestro circuito. Podemos ver las características del convertidor, el esquemático, los componentes y sus valores, y algunas graficas como el ciclo de trabajo, la eficacia y un bode que aparece vacío (hice varios ejemplo y no aparecia nada).

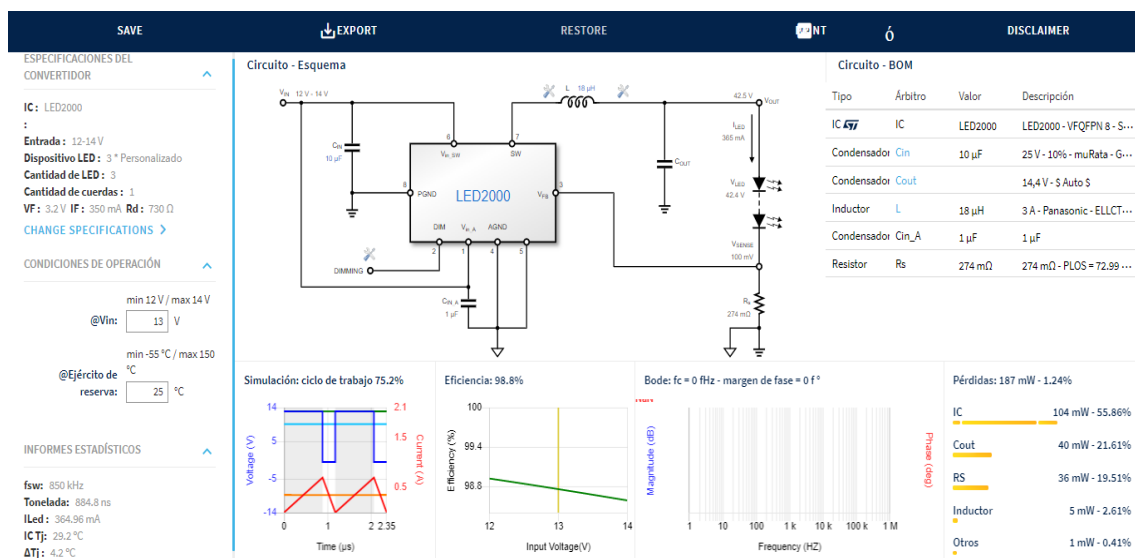


Ilustración 67: Interfaz final de eDesignSuite. [33]

La opción de guardar nos guarda el proyecto en nuestro perfil del programa pero no nos permite guardarlo en nuestro equipo en formato PDF, solo podremos abrirlo mediante el navegador.

Con Export nos descargamos un archivo '.pjr' que podremos abrir desde otros programas, pero no nos genera uno específico por programa, ni nada para el PCB.

8.4.3. LTpowerCAD II v2

Esta diferencia de los anteriores no es on-line, sino que se tiene que descargar el software e instalarlo. El software que descargamos incluye algunos circuitos, aunque no están todos los del fabricante, los que nos falten podremos encontrarlos en la web y descargarlos.

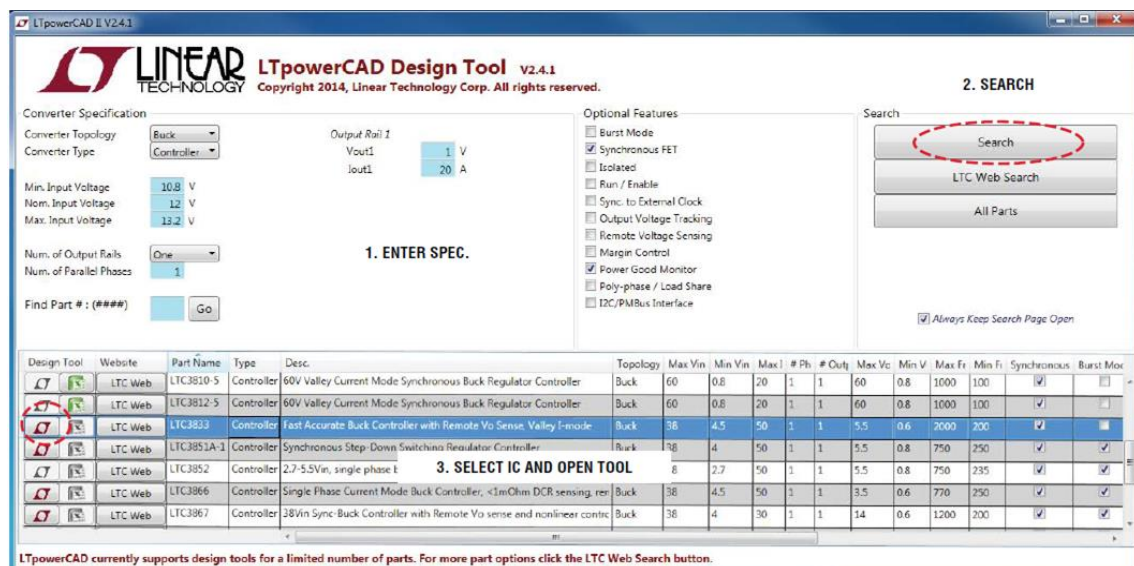


Ilustración 68: Interfaz de inicio LTpowerCAD II v2. [34]

El buscador sirve solo para los circuitos que tienes descargados, aquellos que no tengas descargados no aparecerán, esto limita un poco las opciones, pero si sabes el circuito que necesitas no influye, pues se puede descargar.

Una vez selecciona el circuito nos da el montaje completo y permite cambiar algunos valores de los componentes del circuito, pero no todos.

El programa consta de 4 partes principales con las que poder editar el circuito, las cuales son: Power stage desing, Loss estimate, Loop comp. & Load Transient y Simulación en LTspice.

Power stage desing permite ver un esquemático del circuito, así como cambiar algunos valores de resistencias o condensadores. También se puede modificar algunas especificaciones del diseño como el voltaje de entrada o la frecuencia de conmutación.

Si introducimos un valor erróneo aparecería un cuadro rojo, avisando de que el circuito no es viable y que tenemos que modificar algún parámetro para conseguir que sea estable.

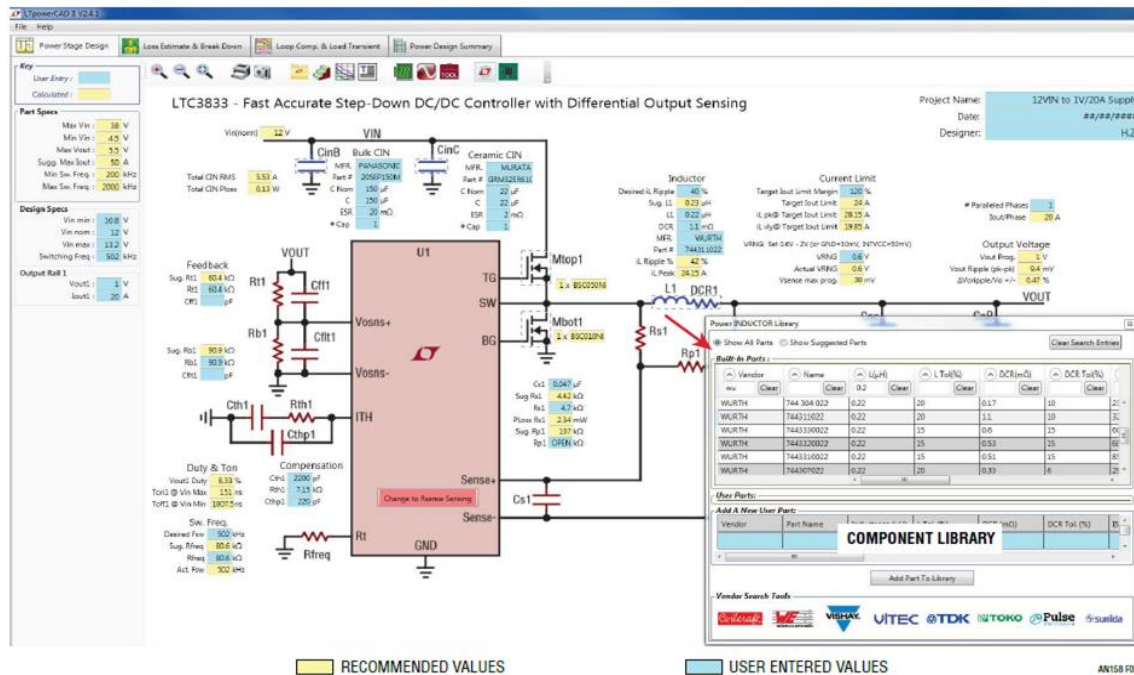


Ilustración 69: Power stage desing LTpowerCAD II v2. [34]

Loss estimate permite hacer un cálculo de las pérdidas que se producen en los elementos del circuito, tanto por conmutación de transistores como por calor. Permitiendo hacer cálculos de rendimiento muy precisos, además nos muestra un gráfico de rendimiento y otro donde nos muestra las distintas perdidas, donde nos las compara para saber en qué parte del circuito se producen las mayores pudiéndose mejorar este.

Se puede optimizar los valores de ganancia y margen de fase en lazo cerrado al modificar algunos parámetros de la realimentación y de los elementos de compensación, aunque para ellos debemos tener ciertos conocimientos de base, en caso de no saber es mejor dejar los valores recomendados.

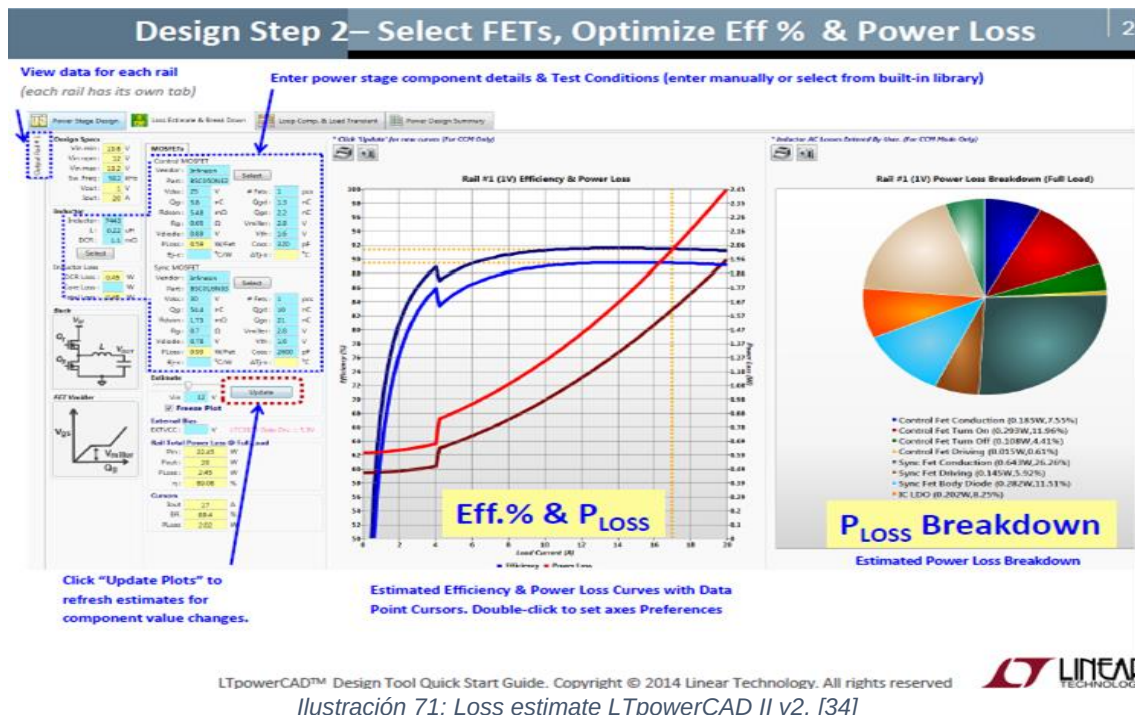


Ilustración 71: Loss estimate LTpowerCAD II v2. [34]

El software también incluye un segundo programa que nos permite realizar algunas simulaciones, también nos ofrece un diseño para PCB, pero no es exportable.

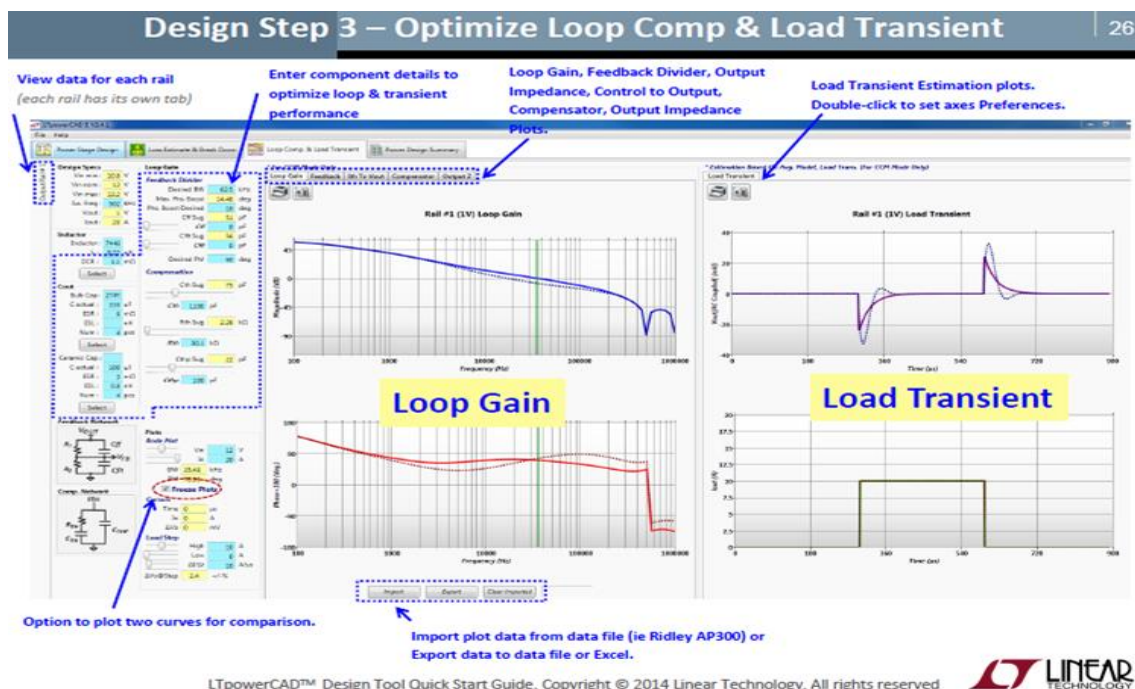


Ilustración 70: Loop comp. & Load Transient LTpowerCAD II v2. [34]

8.4.4. CONCLUSIONES

WEBENCH® Power Designer tiene una interfaz simple e intuitiva ajustándose a casi todas las necesidades, pero no permite modificar mucho los parámetros del circuito preestablecido. Tiene las mejores simulaciones y las ofrece en un PDF que incluye la lista de materiales del circuito y las hojas de características del CI, además ofrece una gran compatibilidad con otros softwares de diseño y te aporta un diseño de PCB.

eDesignSuite la interfaz de usuario es intuitiva y simple, aunque es la menos completa, no ofrece posibilidad de edición del circuito, tampoco tiene opciones para PCB ni tiene simulaciones, entre las tres es la mas incompleta.

LTpowerCAD II v2 es la más compleja y ofrece posibilidades para editar el circuito que las anteriores, a su vez también se necesitan más conocimientos previos, sobre todo para editar los circuitos preestablecidos y obtener una solución válida y eficaz. Ofrece simulaciones y un esquema para la PCB, pero no es exportable.

Software	WEBENCH®	eDesignSuite	LTpowerCAD II v2
Online	Si	Si	No
Simulación	Si	No	Si
Esquema PCB	Si	Si	No
Edición del circuito	Media	Baja	Alta
Exportable a otros programas	Si	No	No
Genera gráficas en PDF	Si	No	No
Dificultad	Baja/Media	Baja	Media
Utilidad	Alta	Media	Alta

Tabla 8: Comparativa software de fabricantes.

8.5. CIRCUITOS DE CONTROL LED PARA LA DOCENCIA

Además de los circuitos vistos anteriormente, los cuales tienen un enfoque hacia la industria de iluminación automotriz, también se estudiarán otros circuitos más sencillos, con unas especificaciones adecuadas para su uso docente.

Todos los circuitos son convertidores de DC-DC con un precio bajo, se han seleccionado los convertidores más adecuados para la docencia. Se comprobará que sus requisitos realmente cumplen con las necesidades para su uso en docencia. Se utilizan las hojas del fabricante para obtener los datos necesarios a cerca de ellos, los cuales se exponen a continuación.

8.5.1. CONVERTIDOR LINEAL LM317

El convertidor LM317 es un regulador lineal de tensión ajustable con 3 terminales. Se pueden encontrar en una placa compuesta por el LM317, un potenciómetro, un condensador electrolítico, un disipador de calor y los terminales de entrada, salida y tierra. Pero en este caso solo analizaremos el circuito integrado.

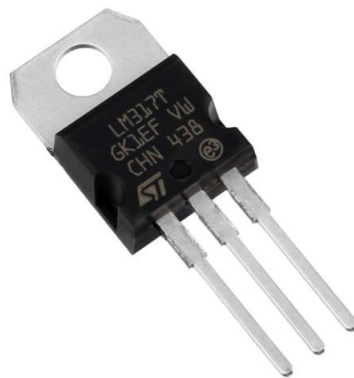


Ilustración 72: CI LM317. [35]

Como se puede observar en la ilustración anterior el CI se compone de 3 terminales. Siendo:

- ADJUST: Permite ajustar la salida al estar ajustado a un divisor de tensión.
- INPUT: Terminal para la tensión de entrada.
- OUTPUT: Terminal para la Tensión de salida.

En la siguiente ilustración se observa el diagrama de bloques, así como la conexión de los pines. También se destacan las principales partes que lo forma.

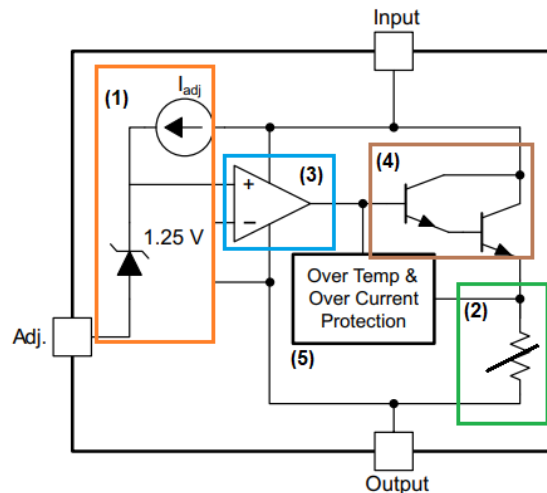


Ilustración 73: Diagrama de bloques LM317. [35]

1. Bloque de tensión de referencia: La función de este bloque es proporcionar una tensión de referencia estable para amplio rango de tensiones de entrada. Se compone por el diodo zener y la fuente de corriente que proporciona la intensidad de polarización al diodo. Se encuentra conectado a la patilla positiva del amplificador operacional.
2. Bloque de muestreo: Se trata de una resistencia variable que permite ajustar la tensión de salida, modificando el valor del potenciómetro.
3. Circuito comparador: Está compuesto por un amplificador operacional. Se ocupa de comparar la tensión de referencia con la tensión del bloque de muestreo, amplificando las variaciones a un nivel adecuado para excitar el elemento de control.
4. Bloque de control: Está compuesto por dos transistores en configuración Darlington. Es el encargado de controlar las variaciones de la tensión de salida.
5. Bloque de protección frente sobrecargas: Su función es proteger al circuito integrado de posibles sobrecargas de tensión y altas temperaturas.

El regulador LM317 debe tener en una tensión de entrada superior (INPUT) en 3 V a la caída producida en la carga y un máximo de 40 V con un correcto funcionamiento. El voltaje de salida (OUTPUT) estará comprendido entre 1.25 V

y 37 V con una tolerancia máxima de $\pm 1\%$. En cuanto a las corrientes, dispone de una corriente de carga comprendida entre 0.01 A y 1.5 A.

Para uso decente en laboratorio se analiza el LM317 y también se puede observar su aplicabilidad. El LM317 puede funcionar como fuente de tensión constante o como fuente de corriente constante, esto le permite tener muchas aplicaciones como las aplicaciones en control led o alimentación a un motor de corriente continua.

8.5.2. CONVETIDOR REDUCTOR LM2596

En este caso nos encontramos con una placa compuesta por una bobina, el CI del LM2596, un potenciómetro, dos condensadores electrolíticos y la entrada, salida y tierra. Es un convertidor conmutado DC-DC, tipo Buck.

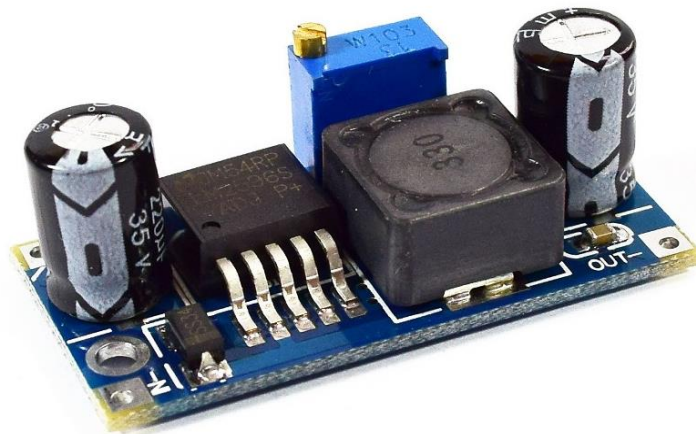


Ilustración 74: LM2596. [36]

El circuito integrado LM2596 permite proporcionar una tensión fija ajustable a la salida, así como una salida de tensión ajustable. Necesita un voltaje de entrada mínimo de 4.5 V y un voltaje de entrada máximo de 40 V. El voltaje de salida estará comprendido entre 1.2 V y 35 V con una variación de $\pm 4\%$. En cuanto a las corrientes, dispone de una corriente de carga comprendida entre 0.2 A y 3 A. También existe una versión de la placa que incluye un display de 7 segmentos, donde muestra las tensiones de entrada o salida.

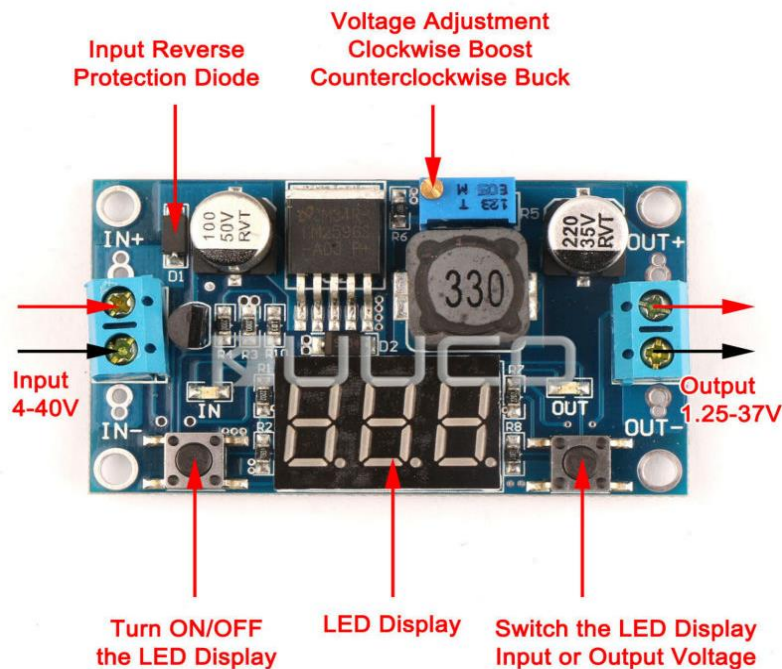


Ilustración 75: LM2596 con display. [36]

Ambos dispositivos contienen estos pines:

- VIN: Se utiliza para la alimentación del regulador.
- Output: Indica la tensión de salida.
- GND: Se conecta con la tierra.
- FEEDBACK: Permite al sistema reajustarse conforme varía el potenciómetro y la tensión de salida.
- ON/OFF: Permite que el circuito de conmutación se apague usando señales lógicas. Si la tensión de este pin está por debajo de 1.3 V, enciende el regulador, y si está por encima de 1.3 V lo apaga. En caso de no necesitar esta función se puede conectar a tierra o dejar en

abierto.

La placa LM2596 con display además de los pines anteriores incorpora también:

- IN: Permite mostrar la tensión de entrada en la pantalla LED.
- OUT: Permite mostrar la tensión de salida en el display.
- SET: Funcionar en conjunto con IN y OUT para variar la tensión.
- OFF: Apaga el convertidor, obteniendo una salida de 0 V.

En su diagrama de bloque o esquema eléctrico podemos distinguir 4 partes:

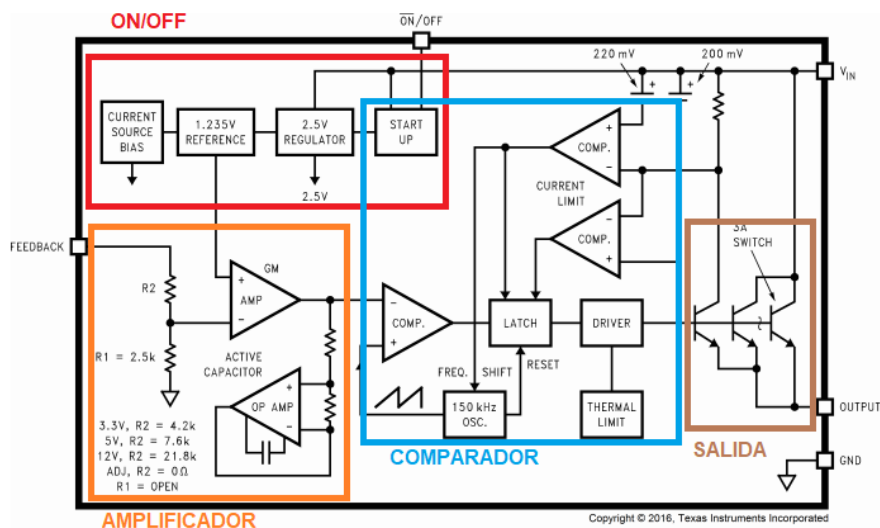


Ilustración 76: Esquema eléctrico LM2596. [36]

- ON/OFF: Se usa para poder meter un retraso entra la onda que metemos y la onda que nos devuelve.
- CIRCUITO DE AMPLIFICACIÓN: Elevador de tensión.
- SALIDA: Permitirá la salida de la señal amplificada.
- COMPARADOR: Compara los valores de frecuencia y de onda que se establecen.

El funcionamiento del LM2596 sería: A partir de la tensión de alimentación, se puede obtener una tensión de salida fija y ajustable, pero inferior a la tensión de entrada. El nivel de tensión en la salida se selecciona variando el

potenciómetro que se encuentra en la placa, el valor de salida siempre estará comprendido en un rango.

Esta placa se ha probado en el laboratorio, obteniendo valores similares a los del fabricante. El mayor inconveniente que presenta es la dificultad para medir valores de tensión o intensidad en ciertas partes de su circuito. Sin embargo, esta placa puede ser útil para el uso docente y la realización de una práctica puede ser muy útil para el alumno, ayudándolo a comprender el funcionamiento de los convertidores DC-DC.

8.5.3. CONVERTIDOR AUMENTADOR XL6009

En este caso nos encontramos con una placa compuesta por una bobina, el CI del XL6009, un potenciómetro, dos condensadores electrolíticos y la entrada, salida y tierra. Es un convertidor conmutado DC-DC, tipo Boost.

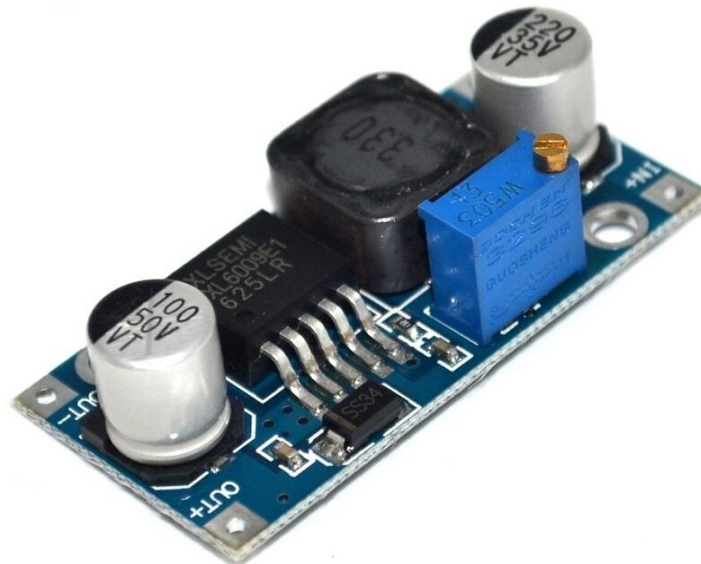


Ilustración 77: XL6009. [37]

La tensión de entrada varía de 3 V a 32 V. El rango para el voltaje de salida va desde los 5 voltios hasta los 35 V con un margen de error de $\pm 5\%$. La potencia disipada está limitada internamente y la tensión del pin de realimentación tendrá como máximo un valor igual al de la tensión de entrada. La corriente de salida mínima es de 18 mA mientras que la máxima es de 4 A.

Los pines de los que consta el dispositivo son los siguientes:

- VIN: Su función es alimentar el regulador.
- EN: Para facultar la salida.

- GND: Conexión a tierra.
- FEEDBACK (FB): Su función es reajustar el sistema de acuerdo con la variación del potenciómetro y la tensión de salida.
- SW: Para la tensión de salida.

A su vez el diagrama de bloques nos permite observar la distribución interna del propio convertidor junto a la ubicación de estos pines:

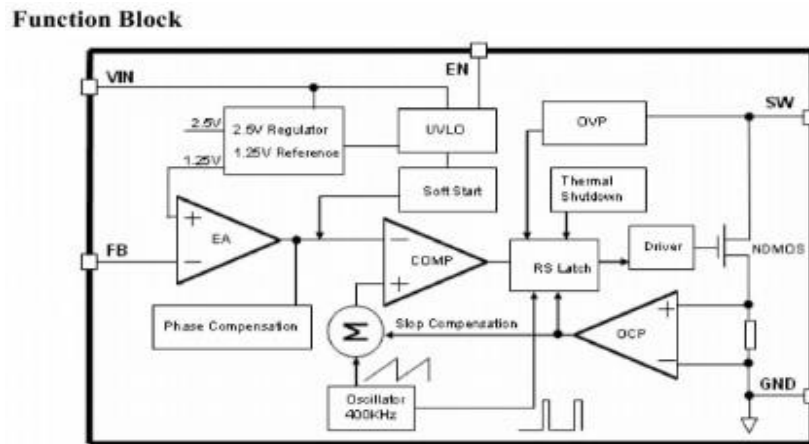


Ilustración 78: Diagrama de bloques XL6009. [37]

Los elementos que componen el convertidor se ven reflejados en el esquema eléctrico, siendo visible incluso los valores concretos de los elementos pasivos:

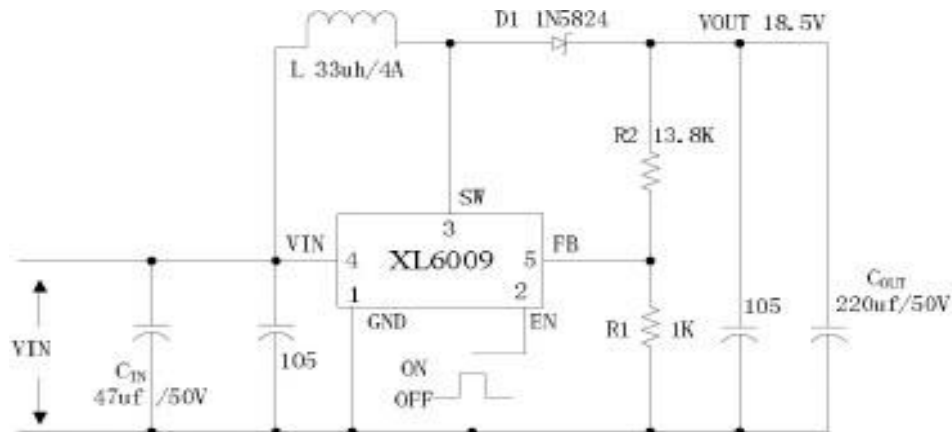


Ilustración 79: Esquema eléctrico XL6009. [37]

Su funcionamiento es parecido al LM2596, pero funciona a la inversa. A partir de una tensión de alimentación es capaz de generar una de mayor voltaje y fija, la cual se encuentra dentro de un rango y viene determinada por el potenciómetro.

8.5.4. CONVERTIDOR REDUCTOR LM2575

A continuación, se estudiará el circuito integrado LM2575 de forma discreta por lo que se necesitará otros elementos para su funcionamiento. Es un convertidor reductor de corriente continua.

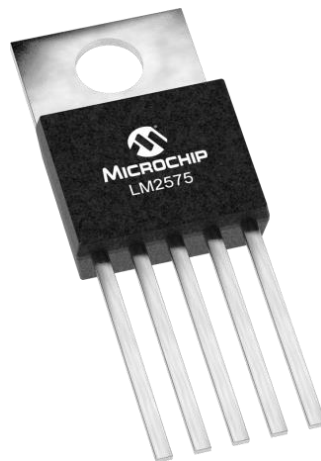


Ilustración 80: CI LM2575. [38]

El regulador LM2575-ADJ debe tener una entrada en tensión superior (VIN) a 8V y es capaz de soportar hasta una tensión de 45 V para un correcto funcionamiento. La tensión de salida para la versión del rango ajustable puede estar comprendido entre 1.25V y 37V con una tolerancia de $\pm 4\%$. En cuanto a las corrientes, soporta una corriente de carga de hasta un 1 A. Cabe mencionar, que existen otras versiones, como la LM2575HV, con un rango de tensión superior al modelo que se estudiará.

Los pines de los que consta el dispositivo son los siguientes:

- VIN: Su función es alimentar el regulador.
- OUTPUT: Para la tensión de salida.
- GND: Conexión a tierra.
- FEEDBACK (FB): Su función es reajustar el sistema de acuerdo con la variación del potenciómetro y la tensión de salida el pin de retroalimentación.
- ON/OFF: Es el control de encendido. Para un funcionamiento normal el pin debe estar conectado a tierra o un nivel de tensión inferior a 1.6V.

A su vez el diagrama de bloques nos permite observar la distribución interna del propio convertidor junto a la ubicación de estos pines:

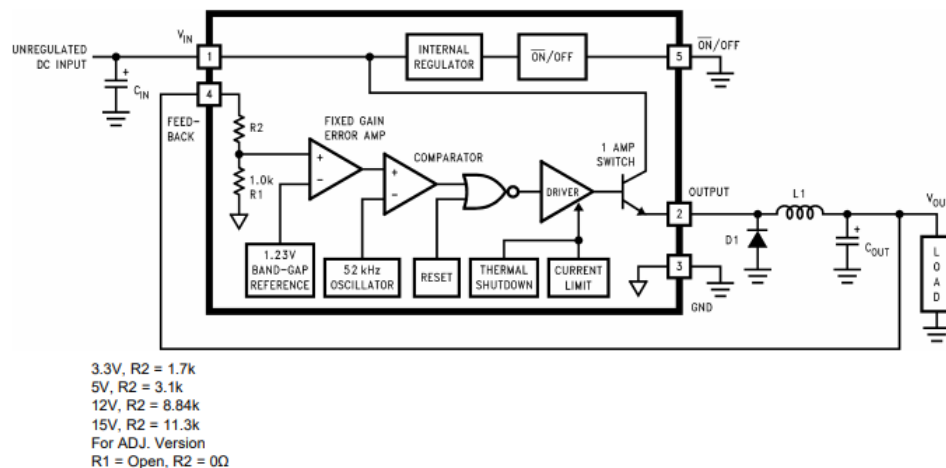


Ilustración 81: Diagrama de bloques LM2575. [38]

El funcionamiento del LM2575 sería: A partir de la tensión de alimentación, se puede obtener una tensión de salida fija y ajustable, pero inferior a la tensión de entrada. El nivel de tensión en la salida se ajusta con la patilla de feedback, la cual se puede configurar el voltaje con un divisor de voltaje colocado en paralelo a la carga y formado por potenciómetro y una resistencia.

Para uso decente en laboratorio se analiza el LM2575, y su esquema el cual consta de otros elementos. Al montarse de forma discreta facilita la toma de datos y ayuda al alumno a ver un convertidor de corriente continua de una manera exhaustiva que las placas ya montadas.

8.5.5. CONVERTIDOR LINEAL CL2N3-G

El convertidor CL2N3-G es un regulador lineal de tensión fija con 3 terminales, se estudiará el montaje del circuito de forma discreta, siendo necesarios otros elementos para su funcionamiento. Es una fuente de corriente constante.

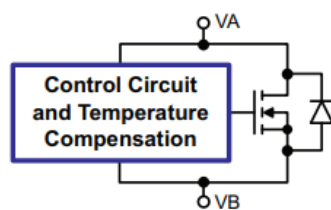


Ilustración 82: CL2N3-G. [39]

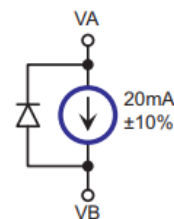
Como se puede observar en la ilustración anterior el CI se compone de 3 terminales. Siendo:

- PIN VA: Conectamos la alimentación.
- PIN NC: No hace falta conectarlo.
- PIN VB: Salida del CI donde conectaremos la carga.

A su vez el diagrama de bloques nos permite observar la distribución interna del propio convertidor junto a la ubicación de estos pines:



Functional Circuit Diagram



Equivalent Block Diagram

Ilustración 83: Diagrama de bloques equivalente y diagrama del CI CL2N3-G. [39]

El regulador CL2N3-G debe tener una entrada en tensión superior (VA) a 5 V y es capaz de soportar hasta una tensión de 90 V para un correcto funcionamiento. En cuanto a las corrientes, soporta una corriente de carga de hasta un 20 mA, se puede conectar en paralelo para una corriente más elevada.

El funcionamiento es parecido al LM317 al tratarse de un convertidor lineal ambos. En el caso del CL2N3-G su funcionamiento es más simple, pues solo limita la corriente que circula a través de él a 20 mA. Lo único que se necesita es colocarlo en serie con la carga.

8.5.6. CONVERTIDOR LINEAL LM78XX

El convertidor LM78XX es un regulador lineal de tensión fija con 3 terminales, se estudiará el montaje del circuito de forma discreta, siendo necesarios otros elementos para su funcionamiento. Es una fuente de voltaje constante.

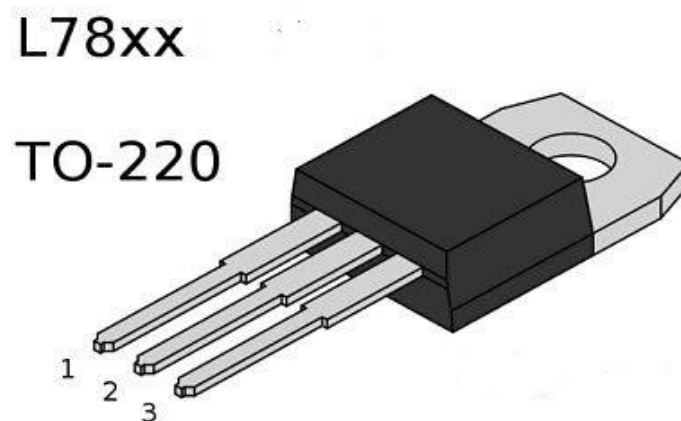


Ilustración 84: LM78XX. [40]

Como se puede observar en la ilustración anterior el CI se compone de 3 terminales. Siendo:

- VIN: Su función es alimentar el regulador.
- OUTPUT: Para la tensión de salida.
- GND: Conexión a tierra.

A su vez el diagrama de bloques nos permite observar la distribución interna del propio convertidor junto a la ubicación de estos pines:

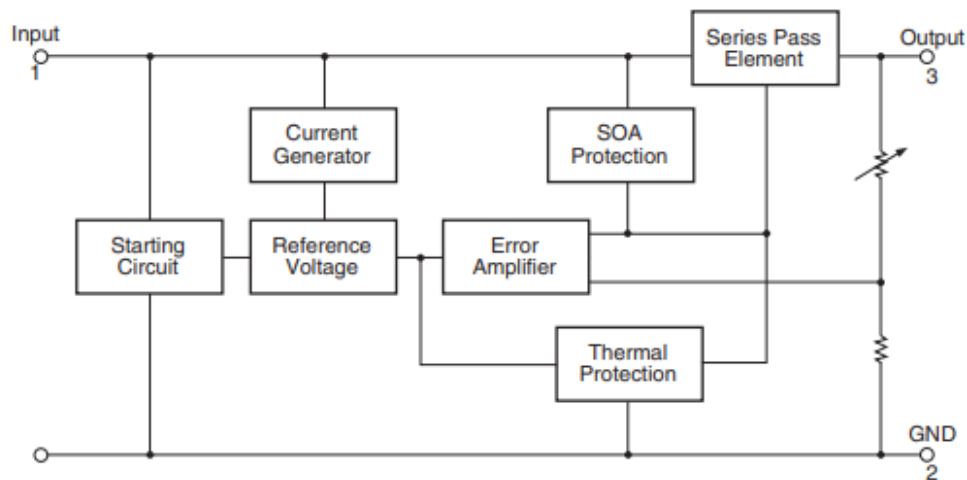


Ilustración 85: Diagrama de bloques LM78XX. [40]

El regulador LM78XX debe tener una entrada en tensión superior (V_{IN}) a 2,5 V sobre su tensión de salida y es capaz de soportar hasta una tensión de 35 V para un correcto funcionamiento. La tensión de salida viene limitada por según el modelo, siendo sus 2 últimas cifras el voltaje de salida. En cuanto a las corrientes, soporta una corriente máxima de un 1 A, siendo la mínima de 5 mA.

El funcionamiento es parecido al CL2N3-G al tratarse de un convertidor lineal ambos. En el caso del LM78XX su funcionamiento necesita de conexión a tierra.

BLOQUE 2

MONTAJES EXPERIMENTALES CON CARACTER DIDACTICO

DISTRIBUCIÓN DE LOS MONTAJES EXPERIMENTALES

La asignatura “Electrónica Aplicada a la Iluminación del Automóvil” formará parte del grado de Ingeniería Electrónica Industrial en el curso 2020/21, como asignatura optativa dentro de la mención de sistemas electrónicos.

La asignatura en conjunto tendrá 6 créditos ECTS, de los cuales 2,5 créditos serán destinados a clases prácticas en el laboratorio (realización de los montajes con carácter didáctico).

Montaje	Duración (horas)
1.- Características de los leds	2h
2.- Driver lineal con transistores BJT y Zener	2h + 2h
3.- Driver lineal con transistores BJT	2h + 2h
4.- Drivers led CL2N3-G	2h
5.- Drivers lineales: LM317	2h + 2h
6.- Regulador de tensión LM78XX	2h + 2h
7.- Regulador BUCK (LM2596)	2h
8.- Regulador BOOST (XL6009)	2h
9.- CI LM2575 (BUCK)	2h
10.- Simulación de realimentación	2h

Tabla 9: Distribución de prácticas.

Cada crédito son 25 horas de trabajo del alumno (10 horas presenciales de clase + 15 horas de trabajo personal) en esta asignatura que es de 6 créditos totales, serán 3 créditos de teoría y 2,5 créditos de prácticas + 0,5 de tutorías colectivas.

- Horas presenciales: 30 h
- Horas de trabajo autónomo: 32,5 h

Total: 62,5 h → 2,5 créditos

9. DEFINICIÓN DE LOS MONTAJES EXPERIENTIALES CON CARÁZTER DIDÁCTICO

9.1. PRACTICA 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS LED

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La tensión característica de un led depende del tipo de led y modelo y también de la corriente que lo atraviesa, debido a esto existe un rango de tensión para cada diodo, normalmente esta variación es pequeña.

Con esta práctica se aprende a calcular la caída de tensión que se produce en un led, esto es necesario para después calcular la resistencia limitadora del led y que el circuito tenga un funcionamiento óptimo.

Para el funcionamiento del circuito es necesario una tensión de alimentación adecuada como un límite de corriente para no sobrepasar los límites del led, el cual conseguimos con la resistencia limitadora óptima. Las corrientes del led dependen del color y la potencia del led, en su mayoría son pequeñas en orden de mA.

Los leds se componen de dos patillas, el cátodo (patilla negativa) y el ánodo (patilla positiva).

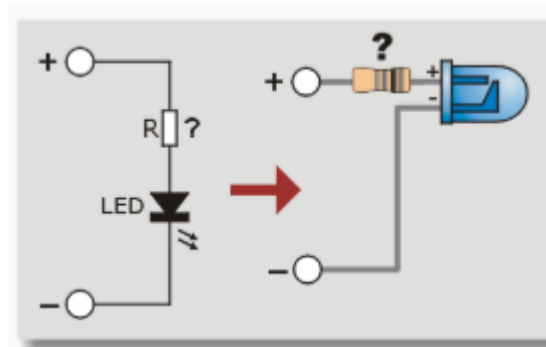


Ilustración 86: Conexión led. [41]

- **Leds en serie:** Conectamos varios leds bien polarizados y que la suma de las tensiones supera el de la fuente de alimentación.

$$R_{LIM} = \frac{(V_{CC} - N_{LED} * V_{LED})}{I_{LED}}$$

Nied corresponde al número de led en el circuito

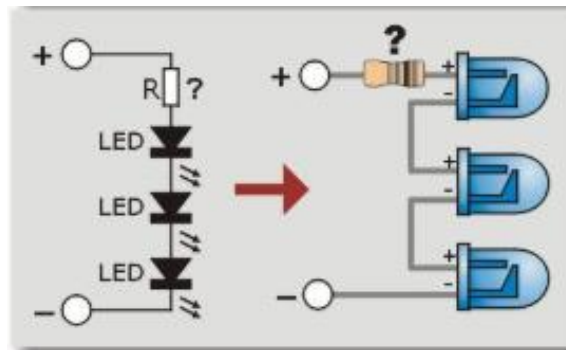


Ilustración 87: Conexión led en serie. [41]

- **Asociación en paralelo:** El circuito se compone de varias ramas de led y se necesita una resistencia limitadora por cada rama ya que son independientes. La intensidad de la fuente será igual a la suma de las intensidades de cada rama.

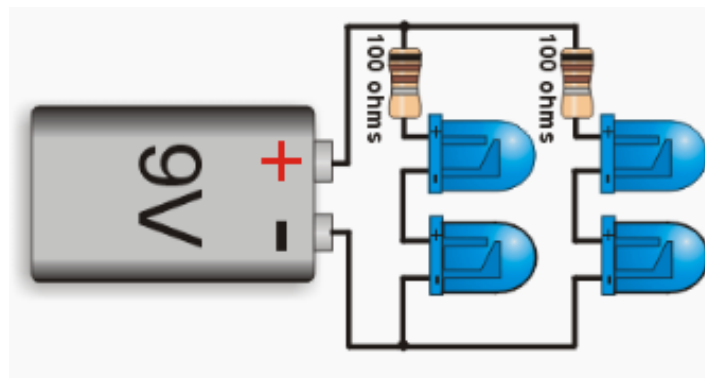


Ilustración 88: Conexión led en paralelo. [41]

Calcularemos las resistencias con la formula anterior, aplicándola a cada rama de forma independiente.

Los leds de potencia se pueden controlar mediante un driver, pero en voltajes bajos y simples podemos utilizar una fuente de tensión y regular su corriente con una resistencia.

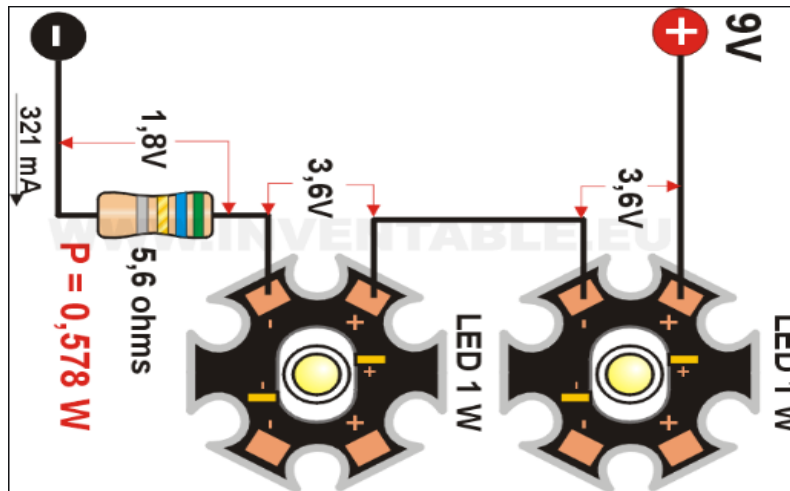


Ilustración 89: Conexión de led de potencia. [41]

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA Y RESULTADOS DEL APRENDIZAJE

- Comprender como afecta el color del diodo y su tipo a la tensión de caída del mismo.
- Realizar los montajes propuestos con diferentes colores de leds, realizar las mediciones oportunas y comprobar el correcto funcionamiento.
- Conocer la polaridad de un led.
- Calcular el valor de resistencia limitadora para cada led en función de la tensión de alimentación.
- Realizar los cálculos necesarios para que el led funcione de forma óptima. (Consultar hoja de características).

Como resultado del aprendizaje tendremos:

- Aprender a alimentar un led de potencia y ver su funcionamiento.
- Aprender a limitar la corriente que atraviesa un led con una resistencia en función de la tensión de alimentación.
- Aprender a medir la tensión característica de un led.
- Reconocer otro tipo de led (led de potencia).

9.1.1. APARTADO 1: TENSIÓN CARACTERÍSTICA DEL LED**LISTA DE MATERIALES**

- 5 leds normales (1 rojo, 1 verde, 1 amarillo, 1 azul y 1 blanco).
- 1 resistencia de $1k\Omega$ (1/4 W).
- Fuente de alimentación o pila de 9V.
- Cableado de banana para alimentación.
- Multímetro y cableado.
- Placa protoboard.

METODO OPERATIVO

- A. Buscar la tensión característica teórica (hoja de características) de cada led, en función del color, para ello buscaremos hojas de características de leds radiales de 5 mm y de su color.

	ROJO	VERDE	AMARILLO	AZUL	BLANCO
Vled (TEORICA)					

*Tabla 10: Voltajes led.***9.1.2. APARTADO 2: CONEXIONADO DEL LED****MÉTODO OPERATIVO**

Realizamos el cálculo con los distintos colores de los leds (verde, rojo, amarillo, blanco y azul) y varios voltajes de alimentación.

1. Calcular la resistencia limitadora para cada color de led a 5 V de voltaje de alimentación.

	ROJO	VERDE	AMARILLO	AZUL	BLANCO
RLIM					

Nota: La tensión del led será la calculada en el apartado “Tensión característica de un led”. Se tomarán 5mA para cada led excepto para los colores blanco y azul, que se tomarán 20mA.

2. Realizar el apartado anterior con una tensión de alimentación de 12 V.

	ROJO	VERDE	AMARILLO	AZUL	BLANCO
RLIM					

3. ¿Qué conclusiones hemos obtenido?

9.1.3. APARTADO 3:ALIMENTACIÓN SENCILLA DE UN LED DE POTENCIA

LISTA DE MATERIALES

- 1 led de potencia de 1 W (ProLight PM2B-1LxE).
- 1 resistencia limitadora de valor calculado y de potencia calculada.
- Fuente de alimentación.
- Cableado de banana para alimentación.
- Placa protoboard.

MÉTODO OPERATIVO

1. Según la intensidad necesaria, calcula la resistencia limitadora y compruébalo experimentalmente. Obtener datos de las hojas de características.
2. ¿Qué potencia consume la resistencia limitadora?
3. Realiza el montaje completo.

9.2. PRÁCTICA 2: DRIVERS LINEAL LED CON LM317

En la siguiente practica se montará un driver lineal con el circuito integrado (CI) LM317. Se persigue comparar los resultados obtenidos con otros circuitos integrados y buscar en que usos nos puede ser más útil un driver lineal.

9.2.1. INTRODUCCIÓN

En esta práctica se analizará cómo controlar y proteger un led con un driver lineal, en concreto el LM317 de Texas Instruments.

El circuito integrado LM317 proporciona una tensión fija ajustable o una corriente constante ajustable, según su esquema utilizado. Además, este CI es capaz de proporcionar a la carga hasta un amperio y medio, pero requiere una serie de componentes externos que se analizarán a lo largo de la práctica. El circuito resultante para el control de led con este CI ofrece una mejora en rendimiento respecto al control del led a través de resistencias como se vio anteriormente.

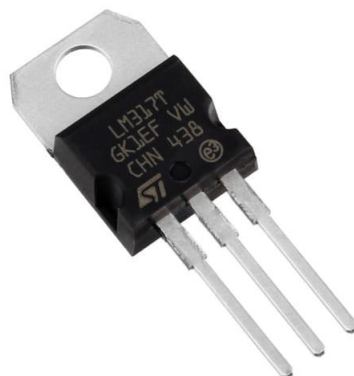


Ilustración 90: CI LM317. [35]

9.2.2. ASPECTOS TEÓRICOS

En primer lugar, antes de particularizar acerca del LM317, se indican las funciones principales de un regulador de tensión cualquiera:

- Establecer niveles de tensión adecuados en la carga.
- Mantener constante la intensidad que circula a través de la carga. De modo que las modificaciones de la tensión de alimentación o en la carga no influyan en la misma.

RANGO DE FUNCIONAMIENTO

El regulador LM317 debe tener en una tensión de entrada superior (INPUT) en 3 V a la caída producida en la carga y un máximo de 40 V con un correcto funcionamiento. El voltaje de salida (OUTPUT) estará comprendido entre 1.25 V y 37 V con una tolerancia máxima de $\pm 1\%$. En cuanto a las corrientes, dispone de una corriente de carga comprendida entre 0.01 A y 1.5 A.

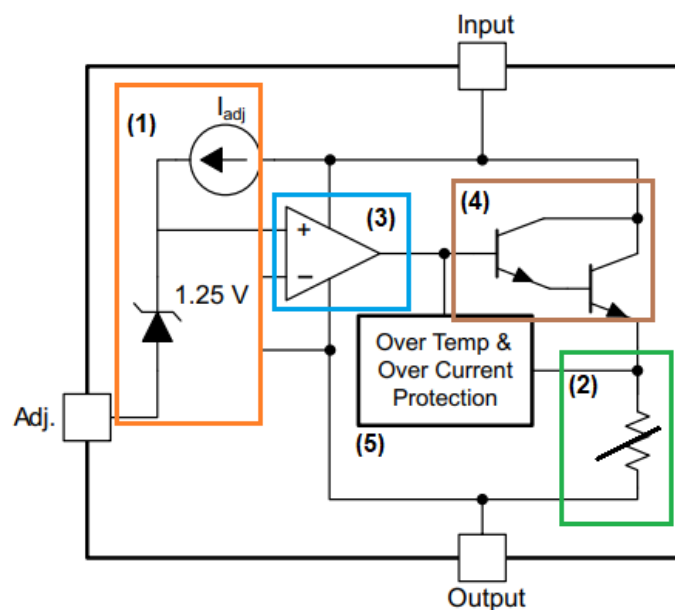
DIAGRAMA DE BLOQUES

Ilustración 91: Diagrama de bloque LM317. [35]

Como se puede observar en la ilustración anterior el CI se compone de 3 terminales. Siendo:

- ADJUST: Permite ajustar la salida al estar ajustado a un divisor de tensión.
- INPUT: Terminal para la tensión de entrada.
- OUTPUT: Terminal para la Tensión de salida.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES

En la siguiente tabla, se representan los valores máximos de funcionamiento del circuito, destacando que la máxima tensión de entrada es de 40 V.

		MIN	MAX	UNID.
Vi-Vo	Diferencia de voltaje input-output		40	V
Tj	Temperatura de funcionamiento de unión		150	°C
T	Temperatura de almacenamiento	-65	150	°C

Tabla 11: Valores máximos LM317.

En la siguiente tabla, podemos ver los datos del regulador más importantes a la hora de evitar un deterioro prematuro del regulador empleado.

		MIN	MAX	UNID.
Vo	Voltaje de salida	1,25	37	V
Vi-Vo	Diferencia de voltaje input-output	3	40	V
Io	Corriente de salida	0,01	1,5	A
Tj	Temperatura de funcionamiento de unión	0	125	°C

Tabla 12: Valores recomendados LM317.

Además, resaltar de los valores de la tabla anterior que, para un correcto funcionamiento del regulador, la tensión de salida debe ser como mínimo 3 V inferior que la tensión de entrada.

9.2.3. MÉTODO OPERATIVO

Para usar el LM317 como una fuente de corriente constante usaremos el siguiente esquema de configuración.

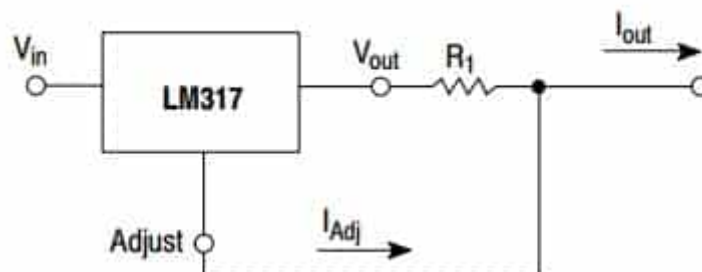


Ilustración 92: Esquema eléctrico LM317 como fuente de corriente. [35]

Lo primero que tenemos que calcular es $R1$, para ellos utilizaremos la siguiente formula.

$$I_{OUT} = \frac{1.25}{R1}$$

$$10 \text{ mA} < I_{out} < 1.5 \text{ A}$$

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA Y RESULTADOS DEL APRENDIZAJE

- Montar y probar un circuito con el LM317 funcionando como fuente de corriente constante conectado a un led de potencia y tomar medidas.
- Realizar simulación en Pspice y comparar con los datos experimentales

Como resultado del aprendizaje nos queda:

- Aprender el funcionamiento del LM317 como fuente de corriente constante y el funcionamiento del led con el mismo.
- Aprender a descargar los modelos de simulación de Pspice y usarlos.

LISTA DE MATERIALES

- Un regulador LM317.
- Resistencias de valor a calcular y potencia a calcular.
- Disipador a calcular.
- Un led de potencia de 1 W (ProLight PM2B-1LxE).
- Un led de potencia de 3 W (ProLight PM2B-3LWE-SD).
- Placa protoboard.
- Fuente de alimentación.
- Cableado de banana para alimentación.
- Multímetro.

1. Calcular el valor de la resistencia que proporciona una corriente de 350 mA a un led de 1 W. Repetir el procedimiento para 750 mA y un led 3 W. ¿Qué potencia es disipada en las resistencias?
2. ¿Cuál es la tensión mínima para que el circuito funcione correctamente? Probar con distintos leds.
3. ¿Qué potencia consume el regulador?
4. Calcular la temperatura máxima que tendrá el regulador.
5. Realizar siguientes mediciones, I_{led} , V_{led} , V_{R1} , para el led 1 W y de 3 W, para una fuente de voltaje de 9 V.

9.3.PRÁCTICA 3: REGULADOR LM2596 DE TEXAS INSTRUMENTS (BUCK)

En este caso nos encontramos con una placa compuesta por una bobina, el CI del LM2596, un potenciómetro, dos condensadores electrolíticos y la entrada, salida y tierra. Es un convertidor conmutado DC-DC, tipo Buck. Los resultados se compararán con otro convertidor tipo Buck, pero montado de forma discreta.

9.3.1. INTRODUCCIÓN

En esta práctica, se va a estudiar el funcionamiento de un regulador conmutado en configuración reductora (Buck). Para ello, se utilizará el circuito integrado LM2596 de Texas Instruments incluido en el módulo compacto que se muestra a continuación.



Ilustración 93: Módulo LM2596. [36]

Los elementos que componen el módulo y que se pueden apreciar en la ilustración anterior:

- Un circuito integrado LM2596.
- Un potenciómetro para el ajuste de la tensión de salida.
- Una bobina.
- Los terminales de entrada, salida y tierra.
- Dos condensadores electrolíticos.

9.3.2. ASPECTOS TEÓRICOS

En primer lugar, antes de particularizar acerca del LM2596, se indican las funciones principales de un regulador de tensión cualquiera:

- Establecer niveles de tensión adecuados en la carga.

- Mantener constante el valor de la tensión de salida en bornes de la carga, de modo que las modificaciones de la tensión de alimentación o la carga no influyan en la misma.

RANGO DE FUNCIONAMIENTO

El circuito integrado LM2596 permite proporcionar una tensión fija ajustable a la salida, así como una salida de tensión ajustable. Necesita un voltaje de entrada mínimo de 4.5 V y un voltaje de entrada máximo de 40 V. El voltaje de salida estará comprendido entre 1.2 V y 35 V con una variación de $\pm 4\%$. En cuanto a las corrientes, dispone de una corriente de carga comprendida entre 0.2 A y 3 A. También existe una versión de la placa que incluye un display de 7 segmentos, donde muestra las tensiones de entrada o salida.

Las otras versiones del LM2596 ofrecen un voltaje fijo de salida de 3.3-V, 5-V ó 12-V.

DIAGRAMA DE BLOQUES

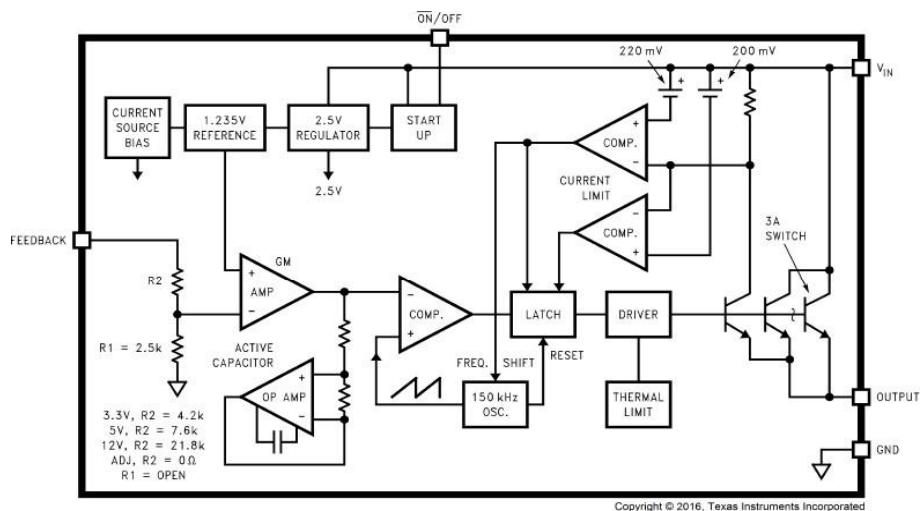


Ilustración 94: Diagrama de bloques LM2596. [36]

En la ilustración anterior se puede observar el diagrama de bloques y la posición de los pines. Siendo:

- VIN: Se utiliza para la alimentación del regulador.
- Output: Indica la tensión de salida.
- GND: Se conecta con la tierra.
- FEEDBACK: Permite al sistema reajustarse conforme varía el potenciómetro y la tensión de salida.
- ON/OFF: Permite que el circuito de conmutación se apague usando

señales lógicas. Si la tensión de este pin está por debajo de 1.3 V, enciende el regulador, y si está por encima de 1.3 V lo apaga. En caso de no necesitar esta función se puede conectar a tierra o dejar en abierto.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES

En la siguiente tabla, se representan los valores máximos de funcionamiento del circuito, destacando que la máxima tensión de entrada es de 45 V, que la potencia disipada se encuentra internamente limitada y que la tensión del pin de realimentación permite un valor máximo de 25 V.

	MIN	MAX	UNID.
Voltaje de alimentación máximo	-	45	V
Voltaje pin realimentación	-0,3	25	V
Potencia de disipación	Internamente limitada		
Temperatura de unión máxima	-	150	°C
Temperatura de almacenamiento	-65	150	°C

Tabla 13: Valores máximos LM2596.

A continuación, podemos ver información sobre las resistencias térmicas (unión-ambiente, unión- encapsulado, etc.) que permiten calcular la potencia disipada por el circuito en función de la temperatura de unión y la temperatura ambiente.

En la siguiente tabla, vienen reflejados los datos más importantes del regulador para evitar un deterioro prematuro.

	Valor mínimo	Valor máximo
Tensión de entrada	4,5 V	40 V
Tensión de salida	1,25 V	35V
Corriente de salida	0,01 A	3 A
Potencia máxima	-	15 W

Tabla 14: Valores máximos y mínimos del LM2596.

Además de los valores de la tabla anterior, para un correcto funcionamiento del regulador, la tensión de salida debe ser como mínimo 1,5 V inferior que la tensión de entrada.

En la próxima tabla, se refleja el valor típico de la tensión del pin de realimentación (1,23 V) y la eficiencia para un ciclo de trabajo: $D = V_o/V_{in} = (3V/12V) = 0,25$.

7.8 Electrical Characteristics – Adjustable Voltage Version

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ (see Figure 35 for test circuit)					
V_{FB} Feedback voltage	$4.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$		1.23		V
	V_{OUT} programmed for 3 V (see Figure 35 for test circuit)	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.193	1.267	
		$-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	1.18	1.28	
η Efficiency	$V_{IN} = 12\text{ V}$, $V_{OUT} = 3\text{ V}$, $I_{LOAD} = 3\text{ A}$		73%		

Tabla 15: Tensión de realimentación y eficiencia para $D=0,25$.

GRÁFICAS REPRESENTATIVAS

En la siguiente ilustración, aparecen dos gráficas:

La gráfica de la izquierda representa la variación de la tensión de salida en función de la temperatura de unión para una tensión de entrada constante. Como se puede comprobar la variación máxima apenas supera el 0,1 %.

La gráfica de la derecha indica el rango de variación de la tensión de salida al variar la tensión de entrada de 5 V a 40 V. Se puede observar que la diferencia máxima se da para una entrada de 30 V, cuando la tensión de salida se ve incrementada en un 0,08%.

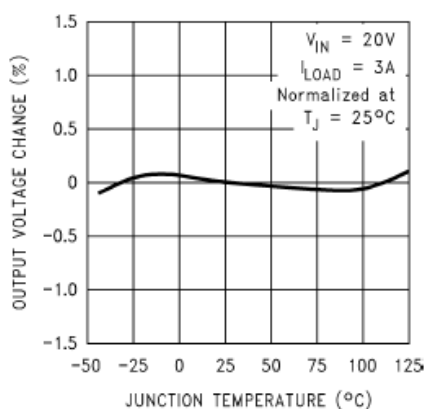


Figure 1. Normalized Output Voltage

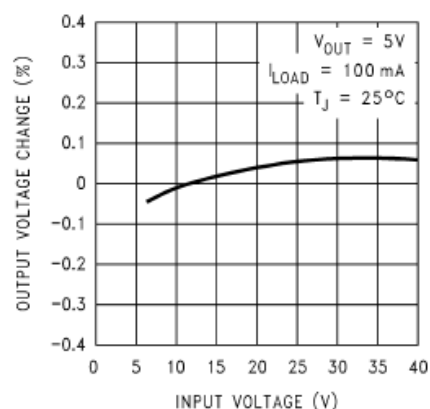


Figure 2. Line Regulation

Ilustración 95: Tensión de salida normalizada (Figure 1) y Regulación lineal (Figure 2). [36]

A continuación, aparecen dos gráficas:

La gráfica de la izquierda representa la eficiencia del regulador para distintas tensiones de salida (3,3 V, 5 V, 12 V y 20 V) conforme se va variando la tensión de entrada. Como se puede comprobar la eficiencia mínima es del 70 % para tensiones pequeñas (3,3 V de salida y 5 V de entrada).

La gráfica de la derecha indica el rango de variación de la tensión de saturación al variar la corriente de conmutación y para distintos valores de la temperatura de unión. Se puede observar que la pendiente que indica el aumento de la corriente con respecto a la tensión de saturación es mayor para temperaturas elevadas.

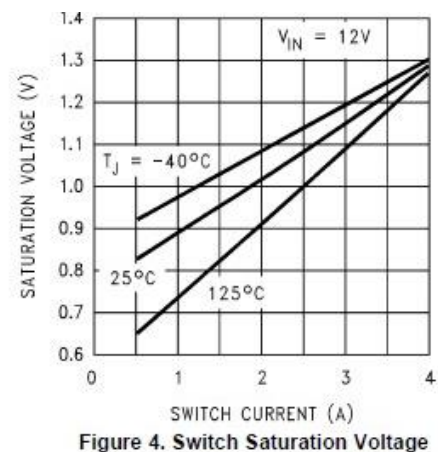
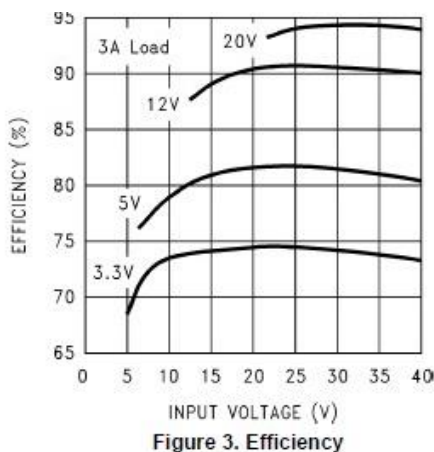


Ilustración 96: Eficiencia (Figure 3) y Tensión de saturación (Figure 4). [36]

9.3.3. MÉTODO OPERATIVO

OBTENCION DE DATOS Y RESULTADOS

Para este caso, se utilizará una de resistencia de carga de 10Ω/11 W con tensión máxima de salida de 10 voltios, la tensión de entrada será de 15 voltios y se limitará la corriente a 1 A.

Primero fijaremos la tensión de entrada, y con ayuda del potenciómetro regularémos la tensión de salida, y tomaremos los valores de corriente de entrada y salida y a partir de ahí se calcularán el resto de parámetros con las fórmulas:

V_{in} (V)	V_{out} (V)	$I_{in,teor}$ (A)	$I_{in,exp}$ (A)	$I_{out, teor}$ (A)	$I_{out,exp}$ (A)	P_{teor} (W)	P_{exp} (W)	η_{exp}	η_{teo}
15	1,25								
15	(2)								
15	(3)								
15	(4)								
15	(5)								
15	(6)								
15	(7)								
15	(8)								
15	(9)								
15	10								

Tabla 16: Datos LM2596.

ECUACIONES Y RESOLUCIÓN

$$I_{in,teor} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,teor}}{V_{in}} \quad (9.1)$$

$$I_{out,teor} = \frac{V_{out}}{R_L} \quad (9.2)$$

$$P_{teor} = V_{out} \cdot I_{out,teor} \quad (9.3)$$

$$P_{exp} = V_{out} \cdot I_{outexp} \quad (9.4)$$

$$\eta_{exp} = \frac{P_{out,exp}}{P_{in,exp}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,exp}}{V_{in} \cdot I_{in,exp}} \quad (9.5)$$

$$\eta_{teo} = \frac{P_{out,teo}}{P_{in,teo}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,teo}}{V_{in} \cdot I_{in,teo}} \quad (9.6)$$

Una vez calculados todos los parámetros que necesitamos, graficamos la corriente y la potencia de salida, así como el rendimiento, para ver la diferencia teóricamente y experimentalmente, así como también sacamos los comentarios adecuados.

1. ¿Qué conclusión se obtiene del funcionamiento del BUCK respecto la tensión de salida con los datos obtenidos?

2. ¿Qué relación ocurre entre la tensión de salida y la intensidad de salida?
3. Graficar la corriente de salida con los valores teóricos y experimentales. Determina el funcionamiento del BUCK respecto los valores teóricos y experimentales.
4. Graficar la potencia de salida con los valores teóricos y experimentales. ¿Cómo varía la potencia respecto la tensión de salida?
5. Graficar el rendimiento con los valores teóricos y experimentales. ¿Cómo varía el rendimiento en función de la tensión de salida? ¿Rendimiento máximo?

CAPTURAS CON EL OSCILOSCOPIO

En este apartado, se incluyen las capturas de pantalla de las mediciones llevadas a cabo con el osciloscopio. En la siguiente ilustración se muestra el esquema de medición.

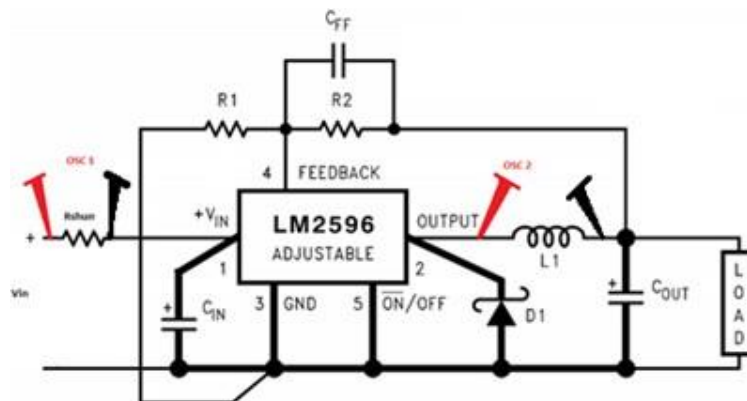


Ilustración 97: Esquema de medición. [36]

1. Captura del rizado de la intensidad de entrada. ¿Cuál es el valor pico-pico de a señal? ¿Qué rizado tiene la señal?
2. Captura de la tensión en extremos de la bobina. ¿Qué forma tiene la señal de salida? ¿Cuál es su valor de pico?

9.4.PRÁCTICA 4: REGULADOR XL6009 DE TEXAS INSTRUMENTS (BOOST)

En este caso nos encontramos con una placa compuesta por una bobina, el CI del XL6009, un potenciómetro, dos condensadores electrolíticos y la entrada, salida y tierra. Es un convertidor conmutado DC-DC, tipo boost. Además, se compararán los resultados obtenidos con otros circuitos montados discretamente y se determinará su utilidad para el uso docente.

9.4.1. INTRODUCCIÓN

En esta práctica, se va a estudiar el funcionamiento de un regulador conmutado en configuración elevadora (Boost). Para ello, se utilizará el circuito integrado XL6009 de incluido en el módulo compacto que se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 98: Módulo XL6009. [37]

Los elementos que componen el módulo y que se pueden apreciar en la ilustración anterior son:

- Un circuito integrado XL6009.
- Un potenciómetro para el ajuste de la tensión de salida.
- Dos condensadores electrolíticos.
- Los terminales de entrada y de salida.
- Dos condensadores electrolíticos

9.4.2. ASPECTOS TEÓRICOS

Las funciones principales del regulador XL6009 son:

- Establecer niveles de tensión adecuados en la carga (superiores en este caso al ser un convertidor boost).
- Mantener constante el valor de la tensión de salida en bornes de la carga, de forma que no influyan las modificaciones de la tensión de alimentación o la carga no influyan en la misma.

RANGO DE FUNCIONAMIENTO DEL REGULADOR XL6009

El rango de funcionamiento del regulador XL6009 viene reflejado en la siguiente tabla:

PARAMETROS	VALORES
Tensión de entrada mínima	3 V
Tensión de entrada máxima	30 V
Tensión de salida mínima	5 V ($\pm 0,5\%$)
Tensión de salida máxima	35 V ($\pm 0,5\%$)
Corriente de salida mínima	18 mA
Corriente de salida máxima	4 A

Tabla 17: Rango de funcionamiento XL6009.

DIAGRAMA DE BLOQUES

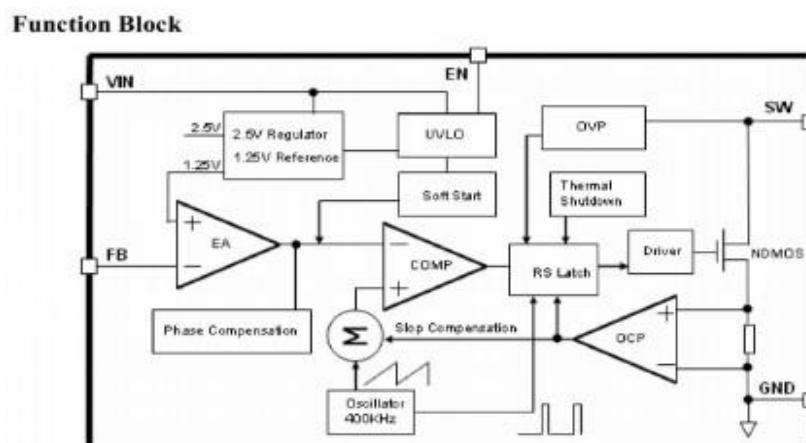


Ilustración 99: Diagrama de bloques XL6009. [37]

Los pines de los que consta el dispositivo son los siguientes:

- VIN: Su función es alimentar el regulador.
- EN: Para facultar la salida.
- GND: Conexión a tierra.
- FEEDBACK (FB): Su función es reajustar el sistema de acuerdo con la variación del potenciómetro y la tensión de salida.
- SW: Para la tensión de salida.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES

La tensión de entrada varia de 3 V a 36 V. El rango para el voltaje de salida va desde los 5 voltios hasta los 35 V con un margen de error de $\pm 5\%$. La potencia disipada está limitada internamente y la tensión del pin de realimentación tendrá como máximo un valor igual al de la tensión de entrada. La corriente de salida mínima es de 18 mA mientras que la máxima es de 4 A.

La siguiente tabla representa los valores máximos de trabajo del circuito.

		MIN	MAX	UNID.
V _{IN}	Voltaje de alimentación	-0,3	36	V
V _{FB}	Voltaje del pin de realimentación	-0,3	V _{IN}	V
V _{EN}	Voltaje pin V _{EN}	-0,03	V _{IN}	V
V _{out}	Voltaje de salida	-0,03	35	V
R _{JA}	Resistencia térmica	30		°C/W
T _J	Temperatura de funcionamiento de unión	0	125	°C
T _{STG}	Temperatura de almacenamiento	-65	150	°C

Tabla 18: Valores máximos XL6009.

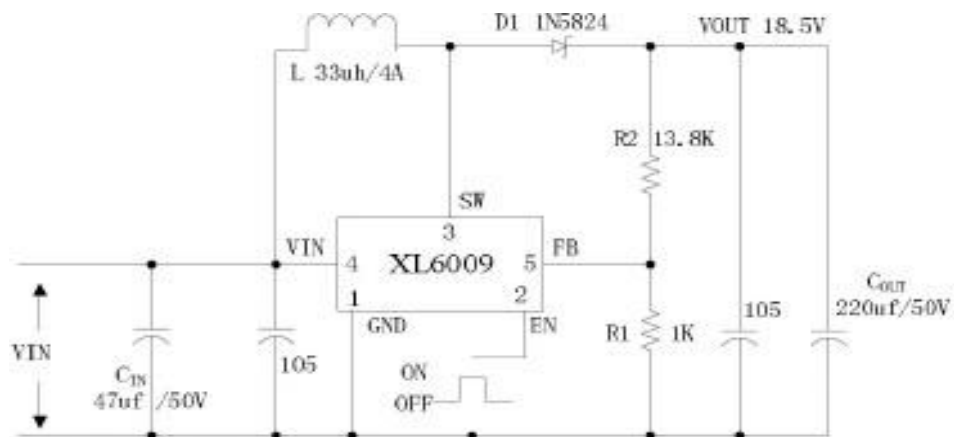
- 36 V para la tensión de entrada (V_{IN}) como valor máximo
- Como valor máximo V_{IN} para la tensión pin de realimentación (V_{FB})
- Como valor máximo V_{IN} para la tensión del pin de habilitación (V_{EN})
- 30 °C/W para la resistencia térmica unión-ambiente (R_{JA})
- Entre -40°C y 125°C para la temperatura de unión (T_J)
- 260 °C para la temperatura máxima (T_{LEAD})

Las particularidades eléctricas del circuito recomendables como fuente conmutada durante su funcionamiento se expresan en la tabla siguiente:

Parameters	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input operation voltage	V_{in}		5		32	V
Shutdown Supply Current	I_{STBY}	$V_{EN}=0V$		70	100	μA
Quiescent Supply Current	I_q	$V_{EN}=2V$, $V_{FB}=V_{in}$		2.5	5	mA
Oscillator Frequency	F_{osc}		320	400	480	Khz
Switch Current Limit	I_L	$V_{FB}=0$		4		A
Output Power NMOS	R_{dson}	$V_{in}=12V$, $I_{SW}=4A$		110	120	mohm
EN Pin Threshold	V_{EN}	High (Regulator ON) Low (Regulator OFF)		1.4 0.8		V
EN Pin Input Leakage Current	I_{IH}	$V_{EN}=2V$ (ON)		3	10	μA
	I_{IL}	$V_{EN}=0V$ (OFF)		3	10	μA
Max. Duty Cycle	D_{MAX}	$V_{FB}=0V$		90		%

Tabla 19: Características eléctricas del XL6009.

- Entre 5 V y 32 V para la tensión de entrada (V_{IN}).
- Valor máximo 5 mA para la corriente de alimentación sin regular (I_q).
- 400 kHz para la frecuencia del oscilador (f_{OSC}).
- 4 A para el corriente límite de conmutación (I_L).
- 1,4 V para pasar a encendido y 0,8 V para pasar a apagado como tensiones umbrales del pin Enable: (V_{EN}).
- Valor máximo 10 μA para la corriente de mantenimiento del pin Enable.
- Valor máximo 90 % para el ciclo de trabajo ($D_{m\acute{a}x}$).

IDENTIFICACION DEL ESQUEMA ELÉCTRICO DE LA FUENTE*Ilustración 100: Esquema eléctrico XL6009. [37]*

La equivalencia entre los componentes de la placa utilizada y los del esquema de la figura sería la siguiente:

- Para filtrar las señales de entrada y de salida respectivamente se emplean condensadores de 47 μF y 220 μF .
- Para establecer la tensión de referencia de 1,25 V se utiliza el diodo zener.
- El potenciómetro variable sería igual a una resistencia R2.
- El convertidor reductor se dispone en paralelo al diodo, mientras que la bobina está en serie.
- Los elementos de control y potencia se encuentran en el circuito integrado XL6009 antes descrito.

9.4.3. MÉTODO OPERATIVO

En esta parte, se realizarán una serie de medidas en el laboratorio empleando tanto el multímetro como el osciloscopio, con el fin de comprobar el nivel de concordancia entre los valores y gráficos teóricos y los experimentales.

En primer lugar, se comprobará el rango de funcionamiento del circuito cuando este trabaja en vacío. Para ello, se fijará la tensión de entrada en 3 valores diferentes y se medirá la tensión de salida mínima y máxima que se podría obtener. Los resultados se reflejan en la siguiente tabla:

V_{IN}	$V_{OUT(min)}$	$V_{OUT(max)}$

Tabla 20: Comprobación del rango de funcionamiento.

ECUACIONES Y RESOLUCIÓN

La potencia de salida máxima sería:

$$P_{OUT,MAX} = P_{IN,MAX} = V_{IN} * I_{IN} \quad (9.7)$$

La corriente máxima a la salida sería:

$$P_{OUT,MAX} = \frac{V_{OUT,MAX}^2}{R} \rightarrow V_{OUT,MAX} = \sqrt{P_{OUT,MAX} * R} \quad (9.8)$$

La corriente máxima a la salida sería:

$$I_{OUT,MAX} = \frac{V_{OUT,MAX}}{R} \quad (9.9)$$

$$I_{in,teor} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,teor}}{V_{in}}$$

$$I_{out,teor} = \frac{V_{out}}{R_L}$$

$$P_{teor} = V_{out} \cdot I_{out,teor}$$

$$P_{exp} = V_{out} \cdot I_{outexp}$$

$$\eta_{exp} = \frac{P_{out,exp}}{P_{in,exp}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,exp}}{V_{in} \cdot I_{in,exp}}$$

$$\eta_{teo} = \frac{P_{out,teo}}{P_{in,teo}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,teo}}{V_{in} \cdot I_{in,teo}}$$

Una vez determinados los límites de trabajo, se efectuarán una serie de medidas empleando la fuente de alimentación fija a, por ejemplo, 6 V. El valor de la tensión de salida se ajustará mediante el potenciómetro. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla. Tener en cuenta los valores máximos y mínimos marcados en las hojas de características.

V_{in} (V)	V_{out} (V)	$I_{in\ teor}$ (A)	$I_{in\ exp}$ (A)	$I_{out\ teor}$ (A)	$I_{out,exp}$ (A)	P_{teor} (W)	P_{exp} (W)	η_{exp}	η_{teo}
6									
6									
6									
6									
6									

Tabla 21: Resultados obtenidos XL6009.

A partir de los valores de la tabla anterior, se deben representar los diferentes parámetros a fin de comparar los valores teóricos con los experimentales.

1. Graficar la corriente de salida en función de la tensión. ¿Cómo evoluciona la corriente de salida teórica respecto a la experimental? Justifica tu respuesta explicando su forma de onda.
2. Graficar la potencia de salida teórica respecto a la experimental. Explica su forma de onda y valores de pico de cada uno de ellos.
3. Graficar el rendimiento con los valores teóricos y experimentales. Explica su forma de onda y valores de cada uno de ellos. ¿Qué le ocurre al rendimiento al ir aumentando la tensión? ¿A qué puede deberse?

CAPTURAS DEL OSCILOSCOPIO

1. Captura de la tensión en extremos de la bobina. Calcular el tiempo de apagado y encendido. ¿Cómo afecta al ciclo de trabajo?
2. Captura del tiempo de encendido en extremos de la bobina.
3. Captura del periodo en extremos de la bobina.

9.5. PRÁCTICA 5: CIRCUITO INTEGRADO LM2575 - (BUCK) DE TEXAS INSTRUMENTS

En la siguiente práctica se montará un circuito reductor con el circuito integrado (CI) LM2575. Se persigue comparar con circuitos reductores montados en placas de bajo coste, para ello se monta de forma discreta comparando los resultados obtenidos y determinar cuál es mejor en un uso docente.

9.5.1. INTRODUCCIÓN

En esta práctica se analizará cómo controlar un led con un driver conmutado el cual se monta de forma discreta, como es el LM2575 de Texas Instruments.



Ilustración 101: CI LM2575. [38]

El circuito integrado LM2575 permite proporcionar una tensión fija ajustable a la salida de 3,3, 5, 12 y 15, así como una salida de tensión ajustable. Además, este CI es capaz de proporcionar a la carga hasta un amperio requiriendo una serie de componentes externos que se analizarán a lo largo de la práctica. El circuito resultante para el control de led con este CI mejora en rendimiento respecto al control del led a través de resistencias y drivers lineales trabajados en las prácticas anteriores.

9.5.2. ASPECTOS TEÓRICOS

En primer lugar, antes de particularizar acerca del LM2575, se indican las funciones principales de un regulador de tensión cualquiera:

- Establecer niveles de tensión adecuados en la carga.

- Mantener constante el valor de la tensión de salida en bornes de la carga, de modo que las modificaciones de la tensión de alimentación o la carga no influyan en la misma.

RANGO DE FUNCIONAMIENTO

El regulador LM2575-ADJ debe tener una entrada en tensión superior (V_{IN}) a 8 V y es capaz de soportar hasta una tensión de 45 V para un correcto funcionamiento. La tensión de salida para la versión del rango ajustable puede estar comprendido entre 1.25V y 37 V con una tolerancia de $\pm 4\%$. En cuanto a las corrientes, soporta una corriente de carga de hasta un 1 A. Cabe mencionar, que existen otras versiones, como la LM2575HV, con un rango de tensión superior al modelo que se trabajará en esta práctica.

DIAGRAMA DE BLOQUES Y ESQUEMA DE MONTAJE TÍPICO

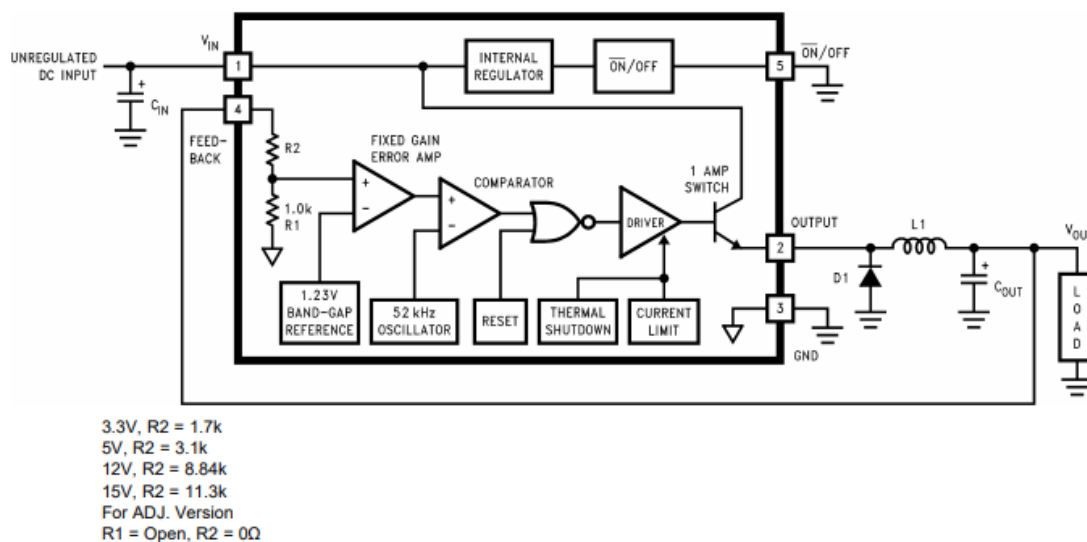


Ilustración 102: Diagrama de bloques LM2575. [38]

Los pines de los que consta el dispositivo son los siguientes:

- V_{IN} : Su función es alimentar el regulador.
- OUTPUT: Para la tensión de salida.
- GND: Conexión a tierra.
- FEEDBACK (FB): Su función es reajustar el sistema de acuerdo con la variación del potenciómetro y la tensión de salida el pin de retroalimentación.

- ON/OFF: Es el control de encendido. Para un funcionamiento normal el pin debe estar conectado a tierra o un nivel de tensión inferior a 1.6V.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES

En siguiente tabla se representa los valores máximos del circuito, la tensión máxima de entrada es 45 V. La potencia disipada está internamente limitada, la tensión del pin de realimentación tendrá como máximo un valor igual a la tensión de entrada y la tensión máxima de salida es de 37 V.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

Maximum Supply Voltage	LM1575/LM2575	45V
	LM2575HV	63V
ON /OFF Pin Input Voltage		$-0.3V \leq V \leq +V_{IN}$
Output Voltage to Ground	(Steady State)	-1V
Power Dissipation		Internally Limited
Storage Temperature Range		-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature		150°C
Minimum ESD Rating	(C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)	2 kV
Lead Temperature	(Soldering, 10 sec.)	260°C

Tabla 22: Valores máximos LM2575.

Además de los valores de la tabla anterior, para un correcto funcionamiento del regulador, la tensión de salida debe ser como mínimo 1,5 V inferior que la tensión de entrada.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM1575-ADJ, LM2575-ADJ, LM2575HV-ADJ

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Temperature Range:						
Symbol	Parameter	Conditions	Typ	LM1575-ADJ	LM2575-ADJ LM2575HV-ADJ	Units (Limits)
				Limit ⁽¹⁾	Limit ⁽²⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 25 and Figure 26 ⁽³⁾						
V _{OUT}	Feedback Voltage	V _{IN} = 12V, I _{LOAD} = 0.2A V _{OUT} = 5V Circuit Figure 25 and Figure 26	1.230	1.217 1.243	1.217 1.243	V V(Min) V(Max)
V _{OUT}	Feedback Voltage LM1575/LM2575	0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 1A, 8V ≤ V _{IN} ≤ 40V V _{OUT} = 5V, Circuit Figure 25 and Figure 26	1.230	1.205/ 1.193 1.255/ 1.267	1.193/ 1.180 1.267/ 1.280	V V(Min) V(Max)
V _{OUT}	Feedback Voltage LM2575HV	0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 1A, 8V ≤ V _{IN} ≤ 60V V _{OUT} = 5V, Circuit Figure 25 and Figure 26	1.230	1.205/ 1.193 1.261/ 1.273	1.193/ 1.180 1.273/ 1.286	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	V _{IN} = 12V, I _{LOAD} = 1A, V _{OUT} = 5V	77			%

Tabla 23: Características eléctricas del LM2575.

GRÁFICAS REPRESENTATIVAS

En la siguiente ilustración, aparecen dos gráficas donde se puede ver la información sobre el comportamiento del dispositivo:

La gráfica de la izquierda representa la variación en la tensión de salida en función de la temperatura de unión para una tensión de entrada fija. Como se puede comprobar la variación máxima apenas supera el 0,5 % para una temperatura de unión de -40°C.

La gráfica de la derecha indica la capacidad de la fuente de alimentación para mantener su voltaje de salida específico sobre cambios en el voltaje de la línea de entrada. El cambio se expresa como porcentaje del voltaje de salida en relación con el cambio en el voltaje de entrada. El rango de variación de la tensión de salida al variar la tensión de entrada entre los rangos de 8 V a 60 V.

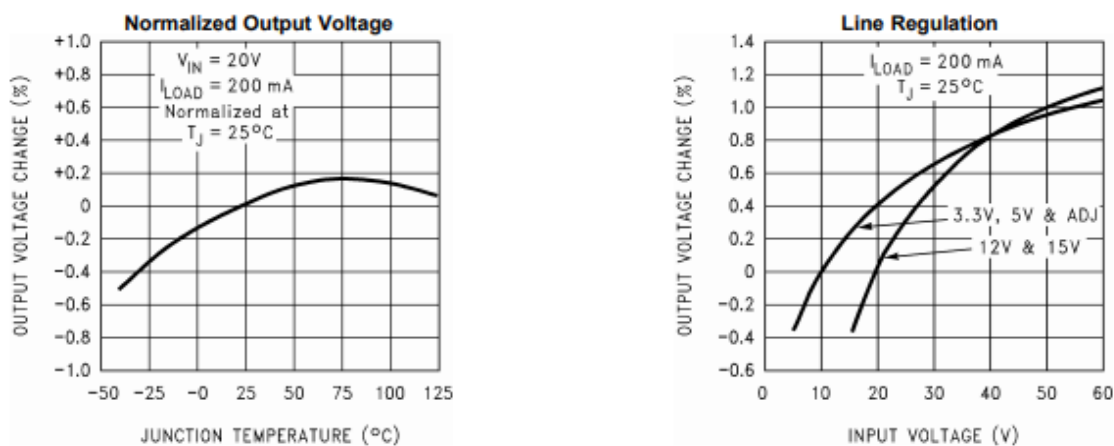


Ilustración 103: Tensión de salida normalizada y regulación lineal. [38]

En la siguiente ilustración, se ven dos gráficas más:

La gráfica de la izquierda se aprecia como varía la frecuencia del oscilador en función de la temperatura, llegando a su máximo en 100° con un -6%. Mantener la frecuencia de conmutación es importante para que el consumo del convertidor aumente por las pérdidas de conmutación o la salida se distorsione por una caída en la frecuencia.

La gráfica de la derecha indica el rango de variación de la tensión de saturación al variar la corriente de salida y para distintos valores de la temperatura de unión. Se puede observar que a menor temperatura se produce mayor saturación. El voltaje se limita automáticamente para proteger el CI.

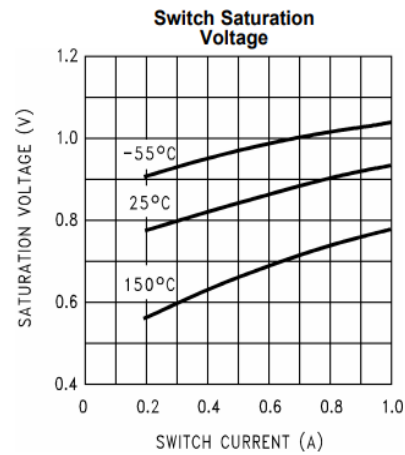
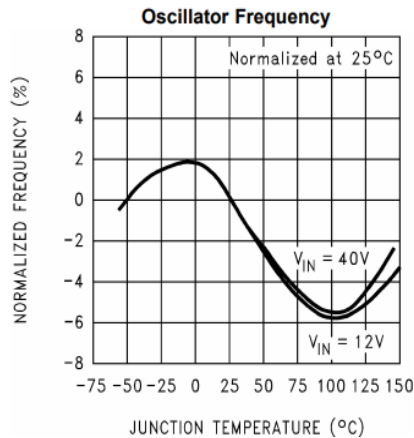


Ilustración 104: Variación de la frecuencia y tensión de saturación. [38]

NOTA: Los valores estudiados en este apartado serán utilizados en los procedimientos experimentales y simulaciones. Se comprobará que valores obtenidos están dentro de los márgenes ofrecidos por el fabricante y que CI tiene un correcto funcionamiento.

9.5.3. MÉTODO OPERATIVO

Para usar el LM2575 como una fuente de voltaje constante usaremos el siguiente esquema de configuración y elementos.

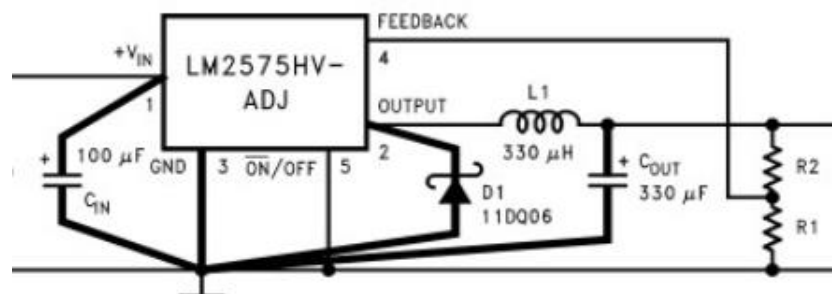


Ilustración 105: Esquema eléctrico LM2575 como fuente de corriente. [38]

Lo primero que tenemos que calcular es el valor de las resistencias R2 y R1, para ello utilizaremos las siguientes formulas.

$$V_{OUT} = V_{REF} * \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \quad (9.10)$$

$$R2 = R1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1\right) \quad (9.11)$$

Siendo, $V_{REF} = 1.23 \text{ V}$ (Diagrama de bloques)

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA Y RESULTADOS DEL APRENDIZAJE

- Montar y probar un circuito con el LM2575 funcionando como fuente de tensión constante conectado una resistencia de carga y tomar medidas.
- Realizar simulación en Webench y comparar con los datos experimentales.
- Control sobre la realimentación del LM2575.

Como resultado del aprendizaje nos queda:

- Aprender el funcionamiento del LM2575 como fuente de corriente constante y el funcionamiento del led con el mismo.
- Aprender a descargar los modelos de simulación de Webench y usarlos.

LISTA DE MATERIALES

- Un regulador LM2575.
- Resistencias de valor a calcular.
- Un diodo 1N5819
- Un condensador de 100 uF.
- Un condensador de 330 uF.
- Una bobina de 330 uH
- Placa protoboard.
- Fuente de alimentación.
- Cableado de banana para alimentación.
- Osciloscopio.
- Multímetro.

OBTENCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

Para este caso, se utilizará una de resistencia de carga de $10\Omega/11\text{ W}$ con tensión máxima de salida de 10 voltios, la tensión de entrada será de 15 voltios y se limitará la corriente a 1 A.

Primero se fijará la tensión de entrada, y se variarán las resistencias de la retroalimentación para regular la tensión de salida. A continuación, se tomará los valores de corriente de entrada y salida y a partir de ahí se calcularán el resto de parámetros con las fórmulas expuestas anteriormente:

V_{in} (V)	V_{out} (V)	$I_{in,teor}$ (A)	$I_{in,exp}$ (A)	$I_{out,teor}$ (A)	$I_{out,exp}$ (A)	P_{teor} (W)	P_{exp} (W)	η_{ex}	η_{teo}
15	1,25								
15	(2)								
15	(3)								
15	(4)								
15	(5)								
15	(6)								
15	(7)								
15	(8)								
15	(9)								
15	10								

Tabla 24: Resultados obtenidos LM2575.

ECUACIONES Y RESOLUCIÓN

$$I_{in,teor} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,teor}}{V_{in}}$$

$$I_{out,teor} = \frac{V_{out}}{R_L}$$

$$P_{teor} = V_{out} \cdot I_{out,teor}$$

$$P_{exp} = V_{out} \cdot I_{outexp}$$

$$\eta_{exp} = \frac{P_{out,exp}}{P_{in,exp}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,exp}}{V_{in} \cdot I_{in,exp}}$$

$$\eta_{teo} = \frac{P_{out,teo}}{P_{in,teo}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,teo}}{V_{in} \cdot I_{in,teo}}$$

Una vez calculados todos los parámetros que necesitamos, graficamos la corriente y la potencia de salida, así como el rendimiento, para ver la diferencia teóricamente y experimentalmente, así como también sacamos los comentarios adecuados.

1. ¿Qué relación hay entre la tensión de salida y la intensidad de salida?
2. Graficar la corriente de salida con los valores teóricos y experimentales. Determina el funcionamiento del BUCK respecto los valores teóricos y experimentales.
3. Graficar la potencia de salida frente la tensión de salida con los valores teóricos y experimentales. ¿Cómo varía la potencia respecto la tensión de salida?
4. Graficar el rendimiento frente la tensión de salida con los valores teóricos y experimentales. ¿Cómo varía el rendimiento en función de la tensión de salida? ¿Rendimiento máximo?

CAPTURAS DEL OSCILOSCOPIO

En este apartado, se incluyen las capturas de pantalla de las mediciones llevadas a cabo con el osciloscopio. En la siguiente ilustración se muestra el esquema de medición.

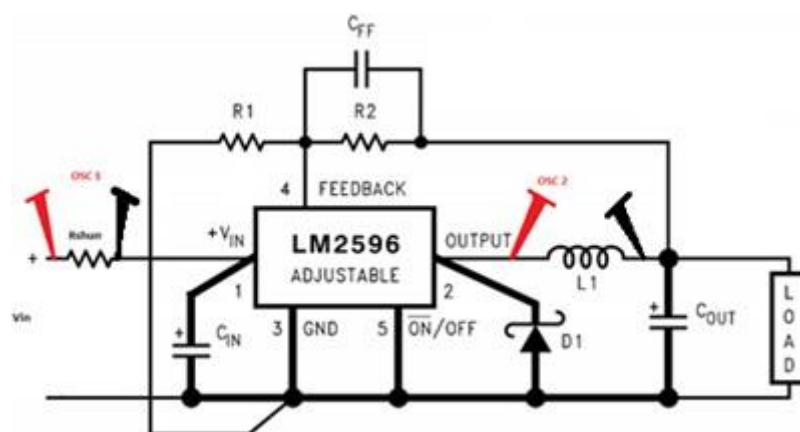


Ilustración 106: Esquema de medición. [38]

1. Captura del rizado de la intensidad de la bobina. ¿Cuál es el valor pico-pico de la señal? ¿Qué rizado tiene la señal?

Nota: Para poder obtener su valor con el osciloscopio, se introdujo una resistencia shunt de $0,5 \Omega$ en serie con la bobina. Por tanto, a la hora de analizar los resultados mostrados en el osciloscopio, se deberá tener en cuenta la relación entre los valores de tensión mostrados y la corriente según:

$$V_{SHUNT} = I \cdot R_{SHUNT} \rightarrow I = \frac{V}{R_{SHUNT}} = 2 \cdot V$$

2. Captura de la tensión de salida. ¿Qué forma tiene la señal de salida? ¿Cuál es su valor de pico?

SIMULACIÓN EN Webench

A partir de la herramienta de simulación online Webench de Texas instruments se realizará la simulación del comportamiento del circuito integrado LM2575-ADJ, todas se realizan con un diseño equilibrado, con un voltaje de entrada de 15 V, tensión de salida de 5 V y una corriente máxima de 0,3 A.

Vin	Cin	L1	Cout	RL
15 V	100 uF	330 uH	470 uF	10 Ω

1. Calcular teóricamente el ciclo de trabajo, Ton, continuidad de la corriente por la bobina.
2. Captura del esquemático.
3. Captura del ciclo de trabajo y el PCB.
4. Lista de materiales necesaria para montar el circuito.
5. Realiza una simulación de una puesta en marcha. ¿Cuál es el tiempo de inicio del circuito? ¿Cuánto vale el voltaje promedio? ¿Cuál es la intensidad máxima que circula por la bobina?
6. Realizar una simulación de una carga transitoria. ¿Cuál es el tiempo de sobreimpulso y de subimpulso? Indica el valor máximo de los mismos.

7. Realizar una simulación del transitorio de entrada. ¿Cuál es el tiempo de sobreimpulso y de subimpulso? Indica el valor máximo de los mismos.
8. Realizar una simulación del circuito estando modo permanente. ¿Cuál es el voltaje de pico-pico? ¿Qué valor tiene el voltaje medio? ¿Cuál es la intensidad de pico-pico en la bobina? ¿Cuál es la frecuencia media de conmutación?

9.6. PRÁCTICA 6: DRIVERS LED CL2N3-G DE TEXAS INSTRUMENT

El convertidor CL2N3-G es un regulador lineal de tensión fija con 3 terminales, se estudiará el montaje del circuito de forma discreta, siendo necesarios otros elementos para su funcionamiento. Es una fuente de corriente constante.

9.6.1. INTRODUCCIÓN

En esta práctica se estudiará el CL2N3-G un driver lineal, que montaremos de forma discreta, se trata del circuito integrado especialmente fabricado para el uso en led.

Este sistema está más perfeccionado que el control con una simple resistencia, se trata de un driver lineal como el LM317 que vimos en las prácticas anteriores, el circuito CL2N3-G funciona como fuente de corriente constante, por lo que es capaz de mantener niveles de corriente constantes en la carga, aunque se produzcan variaciones en la carga o en el voltaje de alimentación.

9.6.2. ASPECTOS TEÓRICOS

En primer lugar, antes de particularizar acerca del CL2N3-G, se indican las funciones principales de un regulador de tensión cualquiera:

- Establecer niveles de corriente adecuados en los leds.
- Mantener constante el valor de la corriente de salida en bornes de la carga, de modo que las modificaciones de la tensión de alimentación o la carga no influyan en la misma.

RANGO DE FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR CL2N3-G

El regulador CL2N3-G debe tener una entrada en tensión superior (VA) a 5 V y es capaz de soportar hasta una tensión de 90 V para un correcto funcionamiento. En cuanto a las corrientes, soporta una corriente de carga de hasta un 20 mA, se puede conectar en paralelo para una corriente más elevada.



CONFIGURACIÓN DE PINES

Como se puede observar en la ilustración anterior el CI se compone de 3 terminales. Siendo:

- PIN VA: Conectamos la alimentación.
- PIN NC: No hace falta conectarlo.
- PIN VB: Salida del CI donde conectaremos la carga.

A su vez el diagrama de bloques nos permite observar la distribución interna del propio convertidor junto a la ubicación de estos pines:

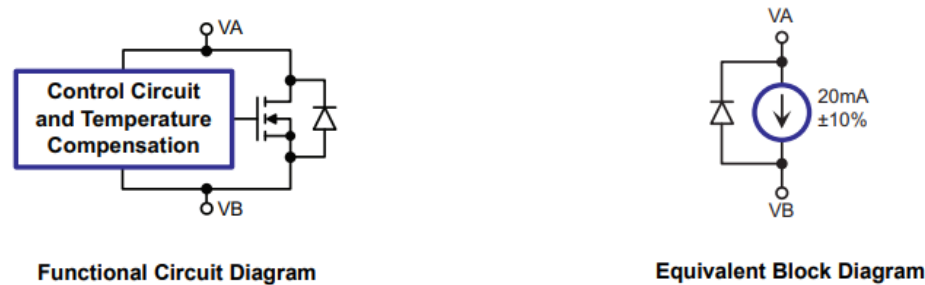


Ilustración 108: Diagrama de bloques equivalente y diagrama del CI CL2N3-G. [39]

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

		MIN	MAX	UNID.
V _{A-B}	Voltaje de operación máximo	-	100	V
T _j	Temperatura de funcionamiento de unión	-40	125	°C
T _{STG}	Temperatura de almacenamiento	-65	150	°C

Tabla 25: Valores máximos CL2N3-G.

		MIN	MAX	UNID.
V _{A-B}	Voltaje de operación	5	90	V
I _{A-B}	Corriente de operación	18	22	mA
T _j	Temperatura de funcionamiento de unión	-40	125	°C
R _{A-B}	Resistencia dinámica	300		kΩ

Tabla 26: Especificaciones eléctricas CL2N3-G.

9.6.3. MÉTODO OPERATIVO

Para usar el CL2N3-G como un controlador led usaremos el siguiente esquema de configuración.

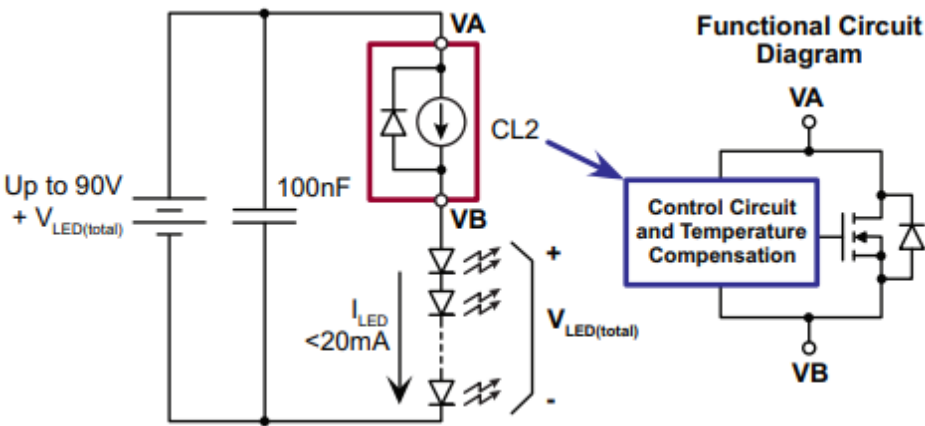


Ilustración 109: Esquema a montar del CL2N3-G. [39]

OBTENCION DE DATOS Y RESULTADOS

Para este caso, se utilizarán dos CI en paralelo para aportar una intensidad de 40 mA aproximadamente, tomaremos el voltaje de entrada e intensidad, así como las del led para obtener el rendimiento.

Se realizará mediciones de intensidad en cada CI calculando la potencia de cada uno y comparándola con la potencia de entrada.

V _{IN}	I _{IN}	V _{led}	I _{led}	POT _{IN}	POT _{led}	n
10						
15						
20						
25						

Tabla 27: Resultados obtenidos CL2N3-G.

1. ¿Qué conclusión se obtiene del funcionamiento del CI?
2. Medir las intensidades de cada CI, ¿Se producen variaciones entre cada uno?
3. Graficar la corriente de salida respecto al voltaje de entrada. ¿Existen variaciones? ¿Tiene un funcionamiento correcto?
4. ¿Cómo varía el rendimiento en función de la tensión de entrada?
¿Rendimiento máximo?

9.7. PRÁCTICA 7: DRIVERS LINEAL CON FUENTE DE CORRIENTE INDEPENDIENTE DE LA ALIMENTACION CON BJT.

9.7.1. ASPECTOS TEÓRICOS

En este apartado estudiaremos un circuito de regulación lineal de corriente led, el cual proporciona una corriente constante a uno o más emisores de luz en un sistema de iluminación.

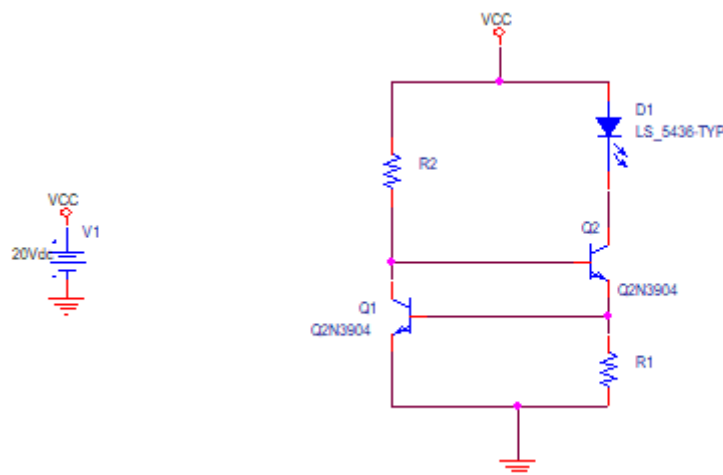


Ilustración 110: Esquema regulador de corriente.

DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO

El circuito consta de dos transistores Q2N3904 que corresponde con el transistor 2N3904, el diodo emisores de luz y dos resistencias. La corriente que atraviesa los leds se mantiene constante en un nivel y basado en la tensión base-emisor del transistor dividido entre la resistencia R1.

La resistencia R2 proporciona la corriente de polarización requerida para el segundo transistor y la corriente de colector de Q1. Cuando la corriente por Q2 es muy elevada aumenta la corriente por Q1 y esto provoca que disminuya la corriente en Q2 alcanzo un equilibrio.

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE

- Diseñar y montar un circuito encargado de regular la corriente que pasa por un led o varios leds, ante aumentos en la tensión de alimentación, realizando las mediciones oportunas.
- Simular el circuito en Pspice y comparar los resultados.

Los resultados de aprendizaje serán los siguientes:

- Aprender a regular la luminosidad de un led.
- Aprender a analizar el circuito en Pspice.

LISTA DE MATERIALES

- Varios leds normales rojos.
- Dos resistencias de valor a calcular.
- 2 transistor 2N3904(NPN).
- Fuente de alimentación.
- Cableado de banana para alimentación.
- Multímetro.
- Placa protoboard.

9.7.2. MÉTODO OPERATIVO

Realizar el montaje de la práctica y conectar un led en serie rojos y realizar los siguientes apartados:

1. Hallar las corrientes de los transistores (emisor, base y colector).
2. Calcular la tensión de alimentación mínima para que trabaje el circuito correctamente.
3. Cálculo de R1 y R2.

$$R1 = \frac{V_{BE}}{I_{LED}} \quad (9.12)$$

$$R2 = \frac{V_{BE2}}{I_{C1}} \quad (9.13)$$

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - 2V_{BE1}}{R1 + \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (9.14)$$

$$V_{BE1} = V_T \ln \left(\frac{I_{C1}}{I_S} \right) \quad (9.15)$$

4. Realizar las siguientes mediciones en el laboratorio:

MEDIDAS EN LOS TRANSISTORES					
I_{C1}	I_{B1}	I_{E1}	I_{C2}	I_{B2}	I_{E2}

Tabla 28: Parámetros transistores

V_{CC}	I_{led}	V_{led}	$VR1$	$VR2$
10				
15				
20				
25				

Tabla 29: Medidas con diferentes voltajes de alimentación.

¿Qué observamos en la intensidad que atraviesa el led?

5. Realizar los cálculos necesarios para conectar 3 leds en serie y realizar las medidas siguientes:

MEDIDAS EN LOS TRANSISTORES					
I_{C1}	I_{B1}	I_{E1}	I_{C2}	I_{B2}	I_{E2}

Tabla 30: Parámetros transistores.

Vcc	Iled	Vled	VR1	VR2
10				
15				
20				
25				

Tabla 31: Medidas con diferentes voltajes de alimentación.

¿Existe variación en la intensidad que pasa por los leds?

- Realizar la simulación en Pspice, para ello será necesario usar el transistor Q2N3904 perteneciente a la librería BIPOLAR y el diodo LS_3654_TYP perteneciente a la librería OSRAM_5MMRADIAL.

Visualizar tensiones e intensidades para 1 leds y para 5 leds conectados y rellenar las tablas convenientes.

Representar la tensión de alimentación frente a la intensidad de colector y comentar los resultados.

Para los modelos tenemos que añadir las librerías de simulación anteriores al editar la simulación. Estas librerías se encuentran en la siguiente ruta de acceso: C:\Cadence\SPB_17.2\tools\pspice\library

MEDIDAS EN LOSTRANSISTORES					
Ic1	IB1	IE1	Ic2	IB2	IE2

Tabla 32: Medidas en los transistores con PSPICE.

Vcc	Iled	Vled	VR1	VR2
10				
15				
20				
25				

Tabla 33: Medidas con diferentes voltajes de alimentación en PSPICE.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS			
	TEÓRICO	LABORATORIO	SIMULADO
Ic1			
IB1			
IE1			
Ic2			
IB2			
IE2			
Iled			
Vled			

Tabla 34: Comparación de resultados.

9.8. PRÁCTICA 8: FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE PARA LED CON DIODO ZENER

9.8.1. ASPECTOS TEÓRICOS

En este apartado estudiaremos un circuito de regulación lineal de corriente led, el cual proporciona una corriente constante a uno o más emisores de luz en un sistema de iluminación.

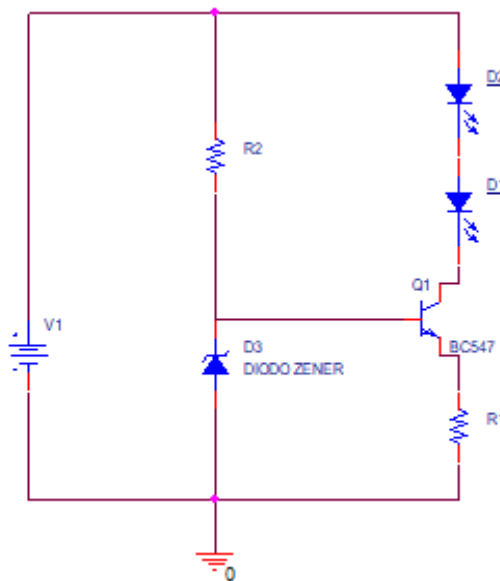


Ilustración 111: Esquema regulador de corriente.

DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO

El circuito consta de un transistor, un diodo zener (BZX79C5V1), los diodos emisores de luz y dos resistencias. La corriente que atraviesa los leds se mantiene constante en un nivel y basado en la suma de la tensión que cae a través del diodo zener, la tensión base-emisor del transistor (en la resistencia R1). Cada led iluminará un área del avión a pesar de las fluctuaciones de la tensión de entrada.

La resistencia R2 proporciona la corriente de polarización requerida para que junto con la tensión del zener exista en la base del transistor la tensión necesaria para que éste conduzca.

El zener proporciona una tensión de referencia constante a la base del transistor y a R1. Cuando la tensión base-emisor del transistor es la suficiente para que éste conduzca, se iluminarán los leds.

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE

- Diseñar y montar un circuito encargado de regular la corriente que pasa por un led o varios leds, ante aumentos en la tensión de alimentación, realizando las mediciones oportunas.
- Simular el circuito en Pspice y comparar los resultados.

Los resultados de aprendizaje serán los siguientes:

- Aprender a regular la luminosidad de un led.
- Aprender a analizar el circuito en Pspice.

LISTA DE MATERIALES

- 5 Leds normales rojos.
- Resistencias de valor a calcular.
- 1 transistor BC547 (NPN).
- Fuente de alimentación.
- Cableado de banana para alimentación.
- Multímetro.
- Placa protoboard.
- 1 diodo zener de 5.1 V (BZX79C5V1)

9.8.2. MÉTODO OPERATIVO

Realizar el montaje de la práctica y conectar 2 leds en serie rojos y realizar los siguientes apartados:

1. Hallar las corrientes del transistor (emisor, base y colector).
2. Calcular la tensión de alimentación mínima para que trabaje el circuito correctamente.
3. Cálculo de R1 y R2.

$$R1 = \frac{V_{zener} - V_{be}}{I_E} \quad (9.16)$$

$$R2 = \frac{V_{cc} - V_{zener}}{I_{R2}} \quad (9.17)$$

4. Realizar las siguientes mediciones en el laboratorio:

Tensión de alimentación						
I _B	I _C	I _E	V _{zener}	V _{led}	VR1	VR2

Tabla 35: Medidas.

V _{cc}	I _{led}	V _{zener}	V _{led}	VR1	VR2
11					
13					
15					
17					

Tabla 36: Medidas con diferentes tensiones de alimentación.

¿Qué observamos en la intensidad que atraviesa el led?

5. Realizar los cálculos necesarios para conectar 5 leds en serie y realizar las medidas siguientes:

Tensión de alimentación						
I _B	I _C	I _E	V _{zener}	V _{led}	VR1	VR2

Tabla 37: Medidas 5 led.

Vcc	Iled	Vzener	Vled	VR1	VR2
17					
19					
21					

Tabla 38: Medidas con diferentes voltajes de alimentación.

¿Existe variación en la intensidad que pasa por los leds?

6. Realizar la simulación en Pspice, para ello será necesario cambiar los modelos de los diodos, tanto los de los leds como el del zener.

Visualizar tensiones e intensidades para 2 leds y para 5 leds conectados y rellenar las tablas convenientes.

Representar la tensión de alimentación frente a la intensidad de colector y comentar los resultados.

Para los modelos tenemos varias opciones. Una opción sería descargar dicho modelo desde la página web del fabricante. Como el que se necesita no se encuentra en capture se crea un modelo de simulación con el edit-pspice Model, para ello se toman los datos de las hijas de características.

Tensión de alimentación						
I _B	I _C	I _E	Vzener	Vled	VR1	VR2

Tabla 39: Medidas.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS			
	TEÓRICO	LABORATORIO	SIMULADO
I_{C1}			
I_{B1}			
I_{E1}			
I_{C2}			
I_{B2}			
I_{E2}			
I_{led}			
V_{led}			

Tabla 40: Comparación de resultados 2 led.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS			
	TEÓRICO	LABORATORIO	SIMULADO
I_{C1}			
I_{B1}			
I_{E1}			
I_{C2}			
I_{B2}			
I_{E2}			
I_{led}			
V_{led}			

Tabla 41: Comparación de resultados 5 led.

9.9. PRÁCTICA 9: REGULADOR DE TENSIÓN LM78XX

9.9.1. ASPECTOS TEÓRICOS

Para aplicaciones en las que es necesario una tensión fija y estable de un determinado valor es conveniente utilizar reguladores de tensión. Esta línea de reguladores lineales nos proporciona una tensión de salida desde 5V a 30V dependiendo del modelo (las dos últimas cifras, XX, corresponden al valor de tensión de salida).

MODELO	TENSIÓN DE SALIDA
LM7805	5 voltios
LM7806	6 voltios
LM7808	8 voltios
LM7809	9 voltios
LM7812	12 voltios
LM7815	15 voltios
LM7818	18 voltios
LM7824	24 voltios
LM7830	30 voltios

Tabla 42: Modelos LM78XX.

El dispositivo posee tres terminales (entrada, salida y masa). El encapsulado es de tipo TO-222.

Entre los diferentes modelos existentes nos centraremos en tres montajes concretos:

- Regulador de tensión con el LM7805
- Regulador de corriente con el LM7805.
- Regulador de corriente con el LM7812.

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE

- Diseñar y montar un circuito con un regulador de tensión y otro circuito con un regulador de corriente constante conectando como carga un led de potencia y realizar las mediciones oportunas.
- Realizar las simulaciones en Pspice y comparar los resultados.

Los resultados de aprendizaje son los siguientes:

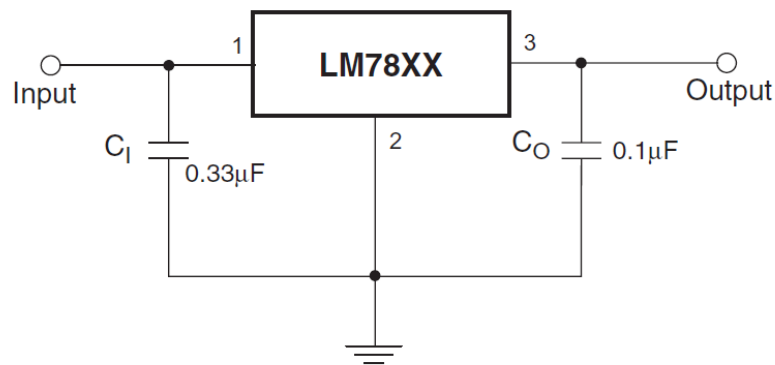
- Aprender el funcionamiento de un regulador de tensión y ver el funcionamiento con un led conectado como carga.
- Aprender el funcionamiento de un regulador de corriente y ver el funcionamiento con un led conectado como carga.
- Aprender a usar reguladores en Pspice y simularlos.

LISTA DE MATERIALES

- Un regulador 7805.
- Un regulador 7812.
- Resistencias de valor y potencia a calcular.
- Disipador a calcular.
- Un led de potencia de 1 W (ProLight PM2B-1LxE).
- Un led de potencia de 3 W (ProLight PM2B-3LWE-SD).
- 1 tira de led de luz fría.
- Placa protoboard.
- Fuente de alimentación.
- Cableado de banana para alimentación.
- Multímetro.

REGULADOR DE TENSIÓN

En nuestro caso como primer montaje realizaremos un regulador de tensión para mantenerla constante, ya que las fuentes de alimentación suelen producir corrientes que pueden dar el circuito. Usaremos un 7805.

9.9.2. MÉTODO OPERATIVO*Ilustración 112: Esquema LM78XX como regulador de tensión. [40]*

1. Diseñar el regulador para conectar a su salida un led de potencia de 3 W.
2. Calcular la tensión de alimentación mínima para que el regulador funcione correctamente.
3. Calcular la potencia que disipa el regulador alimentando el circuito a 9.5V y a 6V. Si es necesario colocarle un disipador calcularlo.

Si colocamos un disipador de 17 °C/W a nuestro regulador, ¿Cuál es la máxima potencia que puede disipar? ¿Cuál es la corriente máxima que podemos obtener a la salida?

4. Realizar las siguientes mediciones:

LED DE 3 W			
Vcc	Vled	Iled	VRLIM
6 V			
7 V			
7,5 V			
8 V			
9 V			
9,5 V			

Tabla 43: Tabla de medidas con led de 3 W.

¿Qué podemos deducir?

- Realizar el circuito en Pspice. Mostrar las tensiones e intensidades y representar tensión en la entrada del regulador frente a la intensidad que circula por el led y tensión en la resistencia limitadora frente a intensidad del led. Analizar los resultados obtenidos.

REGULADOR DE CORRIENTE

Otro tipo de montaje que vamos a realizar con el dispositivo es un regulador de corriente para que esta se mantenga constante ante variaciones de tensión en la entrada. La tensión de la entrada tiene que ser unos 3V mayor que la tensión de salida. Usaremos el regulador 7805.

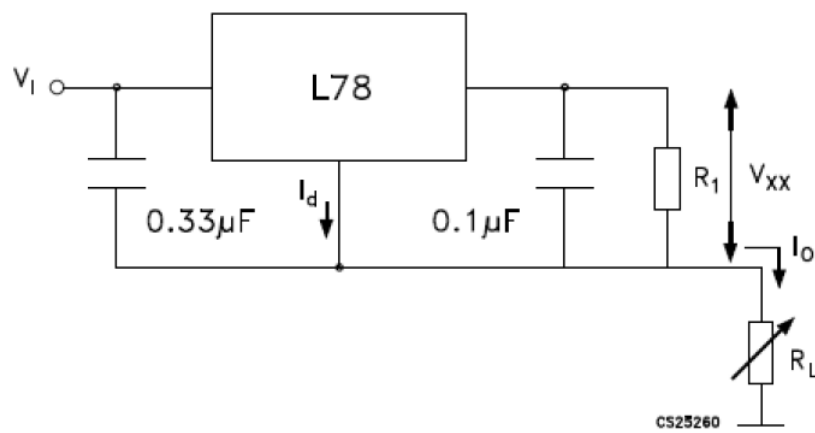


Ilustración 113: Regulador LM78XX como fuente de corriente. [40]

- Diseñar el regulador para conectar a su salida un led de potencia de 1 W.
- Calcular la tensión de alimentación mínima para que el regulador funcione correctamente.
- Calcular la potencia que disipa el regulador alimentando el circuito a 18 V y a 12 V. Si es necesario colocarle un disipador calcularlo y calcular la temperatura que alcanzará el dispositivo cuando alcance la máxima potencia.
- Realizar las siguientes mediciones, rellenar la tabla y representar tensión de alimentación frente a intensidad del led.

LED DE 1 W			
V _{CC}	V _{led}	I _{led}	V _{RLIM}
7 V			
9 V			
12 V			
14 V			
16 V			
18 V			

Tabla 44: Medidas con led de 1 W.

¿Qué podemos deducir?

- Realizar el circuito en Pspice. Mostrar las tensiones e intensidades y representar tensión en la entrada del regulador frente a la intensidad que circula por el led y tensión en la resistencia limitadora frente a intensidad del led. Analizar los resultados obtenidos.

Para finalizar usaremos un 7812, el cual nos proporciona 12V a su salida. Como carga conectaremos una tira de leds.

- Diseñar el regulador para conectar a su salida una tira de leds de luz fría de 25cm.
- Calcular la tensión de alimentación mínima para que el regulador funcione correctamente.
- Calcular la potencia que disipa el regulador alimentando el circuito a 30V y a 25V. Si es necesario colocarle un disipador calcularlo y calcular la temperatura que alcanzará el dispositivo cuando alcance la máxima potencia.
- Realizar el circuito en Pspice. Mostrar las tensiones e intensidades y representar tensión en la entrada del regulador frente a la intensidad que circula por el led y tensión en la resistencia limitadora frente a intensidad del led. Analizar los resultados obtenidos.

9.10. PRÁCTICA 10: SIMULACIÓN EN PSPICE POR REALIMENTACIÓN

9.10.1. ASPECTOS TEÓRICOS

Para la realización de esta simulación será necesario el archivo buckcont.cir que contiene el código de un amplificador de error compensado tipo 2 y los parámetros del circuito. En la siguiente tabla queda descrito todo el código:

NOTA: Todos los parámetros y elementos del circuito vienen definidos por el código, el cual se ha obtenido del ejercicio de “*simulación en PSpice por realimentación*” de libro “*Introducción a la electrónica de potencia*” de D. W. HART.

```

CONTROL DEL CONVERTIDOR REDUCTOR (buckcont.cir)
***** la tensión de salida es V (4) *****
***** PARÁMETROS DEL CIRCUITO Y DE CONTROL *****
.PARAM Vs=20
.PARAM Vref=8
.PARAM L=100UH rL=2
.PARAM C=80UF rC=.6
.PARAM RLOAD=5
.PARAM Vp=3 ;(pico de la rampa en el modulador)
.PARAM R1=1k R2=33K C1=1.45.nF C2=161pF ; parámetros del
amplificador de error
***** DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO *****
VS 1 0 DC {Vs}
XSWITCH 1 0 2 8 SWITCH
rL 2 3 {rL}
L 3 4 {L} IC={Vref/RLOAD}
rC 4 5 {rC}
C 5 0 {C} IC={Vref}
R 4 0 {RLOAD}
XCOMP 4 6 7 COMP ; amplificador de error compensado
Vref 6 0 {Vref}
XMOD 7 8 MODULATOR; controlador PWM
***** ESCALÓN DE CARGA *****
R2 4 4S {RLOAD} ; CONEXIÓN RESISTENCIA DE CARGA ADICIONAL
SW 4S 0 SCNT 0 SMOD
.MODEL SMOD VSWITCH(RON=.001)
VPULSE SCNT 0 PULSE (-10 10 .5M 1N 1N .5MS 10MS)
***SUBCIRCUITO DEL AMPLIFICADOR DE ERROR COMPENSADO ***
.SUBCKT COMP 1 5 3
*RED DE COMPENSACIÓN TIPO 2 1=INPUT; 5=+ (ENTRADA NO
INVERSORA);3=OUTPUT

```

```

R1 1 2 {R1}
R2 4 3 {R2}
C1 2 4 {C1}
C2 2 3 {C2}
RIN 2 5 1E6
EAMP 3 0 TABLE {V(5,2)} (-15U,-15) (15U,15) ; incluye la saturación a +/- 15
voltios
.ENDS COMP

***** SUBCIRCUITO DEL CONTROLADOR PWM *****
.SUBCKT MODULATOR 1 2
*modulador de anchura de pulso- convierte el error amplificado en ciclo de
trabajo
RX 1 0 1G
EMOD 2 0 TABLE {V(1)/VP} (0,0) (1,1)
RY 1 0 1G
.ENDS MODULATOR

****SUBCIRCUITO DEL MODELO PROMEDIADO DEL INTERRUPTOR ****
*MODELO DE INTERRUPTOR DE VORPERIAN
.SUBCKT SWITCH A P C D
GAP A X VALUE {V(D)*I(VC)}
ECP X P VALUE={V(D)*V(A, 0)}
VC X C 0
RCONV D 0 1G
.ENDS SWITCH
.PROBE
.TRAN 10U 2M UIC
.END

```

Ilustración 114: Código buckcont.cir

En la siguiente ilustración podemos ver el esquema del circuito a simular y los nudos que se definen con el buckcont.CIR.

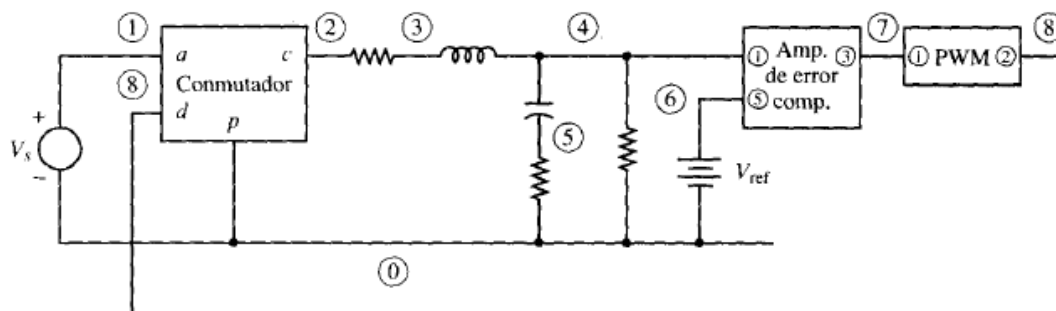


Ilustración 115: Esquema del circuito. [26]

Parámetros del circuito	
V_s	20 V
V_o	8 V
Inductancia	100 μ H
R_L	2 Ω
Capacitancia	80 μ F
R_C	0,6 Ω
R_{CARGA}	5 Ω
V_P	3 V
R1	1 k Ω
R2	33 k Ω
C1	1,45 nF
C2	161 nF

Tabla 45: Parámetros del circuito.

En la simulación una vez que el circuito alcanza el régimen permanente, conmuta y añade una segunda resistencia de 5 Ω en paralelo a la carga, poniendo a prueba la estabilidad y velocidad de respuesta del circuito, después elimina la carga añadida

9.10.2. MÉTODO OPERATIVO

1. Mostrar el voltaje de salida, intensidad por la bobina y ciclo de trabajo.
2. ¿Cuál es el tiempo de sobreimpulso y de subimpulso en la tensión? Indica el valor máximo.
3. ¿Cuál es el tiempo de sobreimpulso y de subimpulso en la intensidad que circula por la bobina? Indica el valor máximo.

10. MONTAJES EXPERIMENTALES, MEDIDAS Y SIMULACIONES

10.1. PRÁCTICA 1

10.1.1. RESULTADO Y CONCLUSIONES LED LABORATORIO

Buscamos la caída de tensión que se produce en los leds según su hoja de características para cuando circula una intensidad de 5 mA a 20 mA.

	ROJO	VERDE	AMARILLO	AZUL	BLANCO
V _{led} (TEORICA)	2 V	1.8 V	1.8 V	3 V	2.8

Tabla 46: Resumen de voltaje led.

Realizamos el cálculo de la resistencia limitadora para los diferentes colores led.

$$R_{LIM(ROJO)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{5\text{ V} - 2\text{ V}}{5 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 532\ \Omega \approx 560\ \Omega$$

$$R_{LIM(VERDE)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{5\text{ V} - 1,8\text{ V}}{5 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 630\ \Omega \approx 560\ \Omega$$

$$R_{LIM(AMARILLO)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{5\text{ V} - 1,8\text{ V}}{5 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 620\ \Omega \approx 560\ \Omega$$

$$R_{LIM(AZUL)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{5\text{ V} - 3\text{ V}}{20 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 110\ \Omega \approx 120\ \Omega$$

$$R_{LIM(BLANCO)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{5\text{ V} - 2,8\text{ V}}{20 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 115\ \Omega \approx 120\ \Omega$$

Tensión de alimentación: 5 V			
Color	Corriente	Tensión	Rlim
Rojo	5 mA	--	560 Ω
Verde	5 mA	--	560 Ω
Amarillo	5 mA	--	560 Ω
Azul	20 mA	--	120 Ω
Blanco	20 mA	--	120 Ω

Tabla 47: Medidas laboratorio con 5 V de alimentación.

Ahora realizaremos el mismo procedimiento, pero con un voltaje de alimentación mayor, 12 V:

$$R_{LIM(ROJO)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{12\text{ V} - 2\text{ V}}{5 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 1932\ \Omega \approx 1800\ \Omega$$

$$R_{LIM(VERDE)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{12\text{ V} - 1,8\text{ V}}{5 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 2030\ \Omega \approx 2200\ \Omega$$

$$R_{LIM(AMARILLO)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{12\text{ V} - 1,8\text{ V}}{5 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 2020\ \Omega \approx 2200\ \Omega$$

$$R_{LIM(AZUL)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{12\text{ V} - 3\text{ V}}{20 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 460\ \Omega \approx 470\ \Omega$$

$$R_{LIM(BLANCO)} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{12\text{ V} - 2,8\text{ V}}{20 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 465\ \Omega \approx 470\ \Omega$$

Tensión de alimentación: 12 V			
Color	Corriente	Tensión	Rlim
Rojo	5 mA	--	1800 Ω
Verde	5 mA	--	2200 Ω
Amarillo	5 mA	--	2200 Ω
Azul	20 mA	--	470 Ω
Blanco	20 mA	--	470 Ω

Tabla 48: Medidas laboratorio con 12 V de alimentación.

Se puede observar que con un voltaje de alimentación menor la resistencia limitadora que necesitamos es menor, además la potencia que cae en las resistencias también es menor. También podemos deducir que los leds con un voltaje con una intensidad mayor necesitan resistencias limitadoras menores. Esto se debe a la ley de ohm, ya que la intensidad que atraviesa un circuito es inversamente proporcional a la resistencia de mismo y directamente proporcional al voltaje al que es expuesto.

10.1.2. RESULTADO Y CONCLUSIONES LED DE POTENCIA

Para saber que resistencia limitadora necesitaremos, lo primero es buscar en la hoja de características la intensidad máxima del led.

Maximum Ratings

Parameter	Symbol		Values
Operating Temperature	T_{op}	min. max.	-40 °C 110 °C
Storage Temperature	T_{stg}	min. max.	-40 °C 110 °C
Junction Temperature	T_j	max.	125 °C
Junction Temperature for short time applications*	T_j	max.	150 °C
Forward Current $T_s = 25\text{ °C}$	I_F	min. max.	30 mA 250 mA
Surge Current $t \leq 10\text{ }\mu\text{s}$; $D = 0.005$; $T_s = 25\text{ °C}$	I_{FS}	max.	750 mA
ESD withstand voltage acc. to ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 (HBM, Class 2)	V_{ESD}		2 kV
Reverse current ²⁾	I_R	max.	200 mA

Tabla 49: Rangos máximos led 1 W (LW_G6SP-TYP). [42]

El valor máximo de intensidad es de 250 mA, pero cogeremos 200 mA dejando un 20% de margen de seguridad, para asegurar un funcionamiento seguro del led.

$$R_{LIM} = \frac{(V_{CC} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{5\text{ V} - 3.3\text{ V}}{0.3\text{ A}} = 5.6\ \Omega$$

La potencia que disipa la resistencia se calcula como:

$$P = V_{RLIM} * I_{RLIM} = 1.7\text{ V} * 0.3\text{ A} = 0.54\text{ W}$$

10.2. PRÁCTICA 2**RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

1. Tenemos que calcular la resistencia para que circule la intensidad que necesitamos. Para nuestro led de 1 W necesitamos una intensidad de 300 mA, por lo cual el valor de la resistencia será:

$$R_{1W} = \frac{1.25}{I_{Carga}} = \frac{1.25}{0.2} = 6.25 \Omega$$

Para un led de 3 W, la resistencia será:

$$R_{3W} = \frac{1.25}{I_{Carga}} = \frac{1.25}{0.7} = 1.8 \Omega$$

La potencia disipada en cada resistencia es de:

$$P_{R1} = 1.25 \cdot I_{Carga} = 1.25 \cdot 0.2 = 0.25 W$$

$$P_{R2} = 1.25 \cdot I_{Carga} = 1.25 \cdot 0.7 = 0.875 W$$

2. La tensión de alimentación necesaria para que el circuito funcione correctamente será:

$$\begin{aligned} V_{IN1} &= V_{MIN} + V_{LED} + V_{R1} = V_{MIN} + V_{LED} + (I_{R1} \cdot R1) \\ &= 3 V + 3.3 V + (6 \Omega \cdot 0.2 A) = 7.5 V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{IN2} &= V_{MIN} + V_{LED} + V_{R2} = V_{MIN} + V_{LED} + (I_{R2} \cdot R2) \\ &= 3 V + 3.3 V + (1.8 \Omega \cdot 0.7 A) = 7.56 V \end{aligned}$$

3. Tomaremos como tensión de alimentación 9 V para dejar un margen de un 20% y la potencia disipada por el LM317 será:

$$P_{LM317} = (V_{IN} - V_{OUT}) \cdot I_{Carga} = (9 - (1.25 + 3.3)) \cdot 0.2 = 0.89 W$$

→ con led de 1 W

$$P_{LM317} = (V_{IN} - V_{OUT}) \cdot I_{carga} = (9 - (1.25 + 3.3)) \cdot 0.7 = 3.115 \text{ W}$$

→ con led de 3 W

Comprobamos si necesita disipador:

$$P \leq \frac{T_j - T_a}{R_{ja}} = \frac{125 - 25}{50} = 2 \text{ W}$$

Para el led de 3 W es necesario usar disipador.

$$T_j = 125^\circ\text{C} \quad R_{cd} = 0.8^\circ\text{C/W} \quad T_a = 25^\circ\text{C} \quad R_{jc} = 5^\circ\text{C/W}$$

$$\left(\frac{k(T_j - T_a)}{p} \right) - R_{jc} - R_{cd} = R_{da}$$

$$R_{da_{R2}} = \frac{0.8(125 - 25)}{3.115} - 5 - 0.8 = 19.88^\circ\text{C/W}$$

Necesitamos un disipador con una resistencia térmica de 19.88°C/W .

Multiplicamos la ecuación por un factor de 0.8 para tener un margen de seguridad.

4. La temperatura que alcance el dispositivo cuando funcione a máxima potencia será:

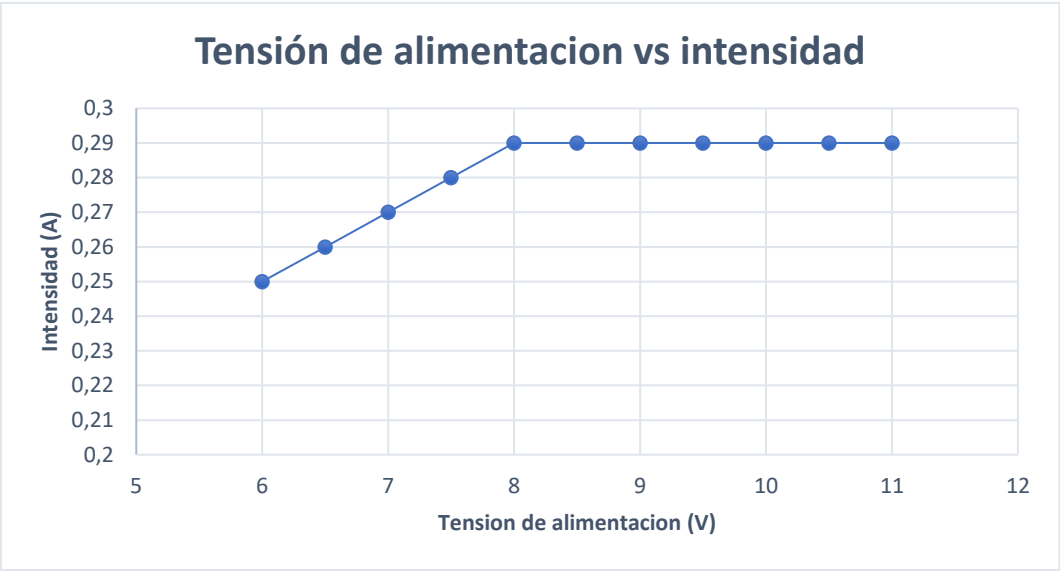
$$T_d = R_{da} \cdot P + T_a = 20 \cdot 3.115 + 25 = 87.3^\circ\text{C}$$

5. Mediciones con el led de 1 W:

LED DE 1 W ($V_{cc} = 9\text{V}$)		
I_{led}	V_{led}	V_{R1}
0.29 A	3.1 V	1.1 V

Tabla 50: Medidas led de 1 W.

Graficamos la variación de corriente en función del voltaje de alimentación.

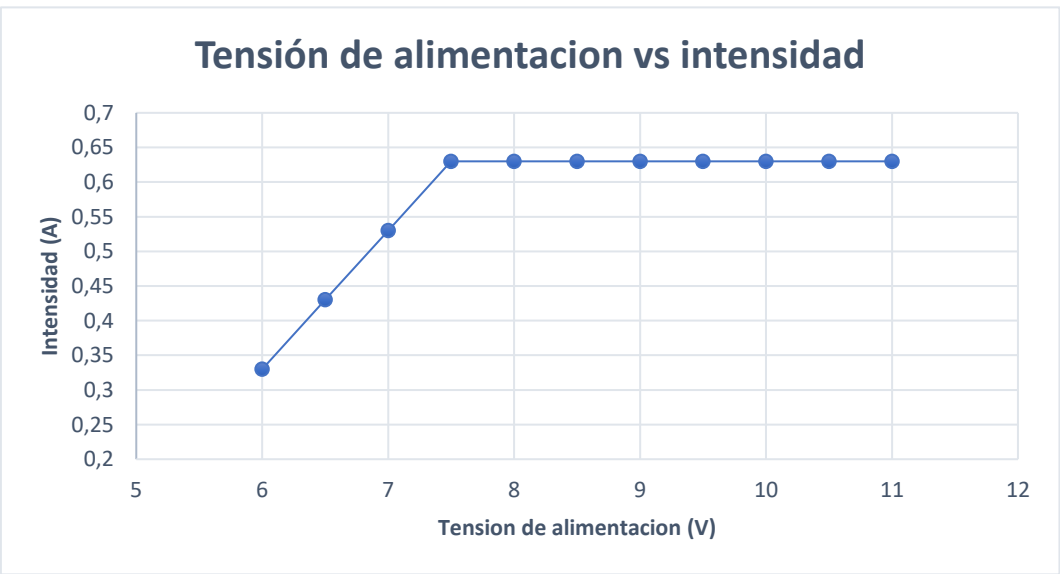


Mediciones con el led de 3 W:

LED DE 3 W ($V_{cc} = 9V$)		
I_{led}	V_{led}	V_{R1}
0.63 A	3.3 V	0.94 V

Tabla 51: Medidas led de 3 W.

Graficamos la variación de corriente en función del voltaje de alimentación.



Como podemos observa cuando alcanzamos el valor de intensidad que hemos fijado o un valor muy cercano, esta se mantiene constante, aunque sigamos incrementado la tensión de alimentación, esto sucede en ambos casos.

6. A continuación, simularemos los apartados anteriores, usaremos el modelo que viene en PSpice para el LM317, y para los leds utilizaremos un led LW_G6SP-TYP de la librería OSRAM_ADVPOW_TOPLED con una potencia de un 1 W.

Simulación led de 1 W.

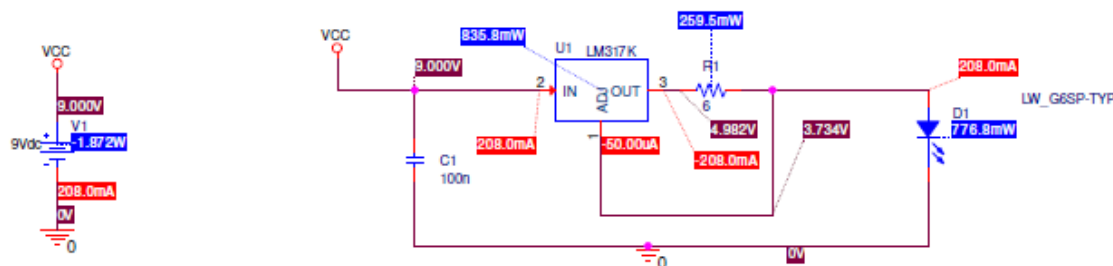


Ilustración 116: Simulación led de un 1 W.

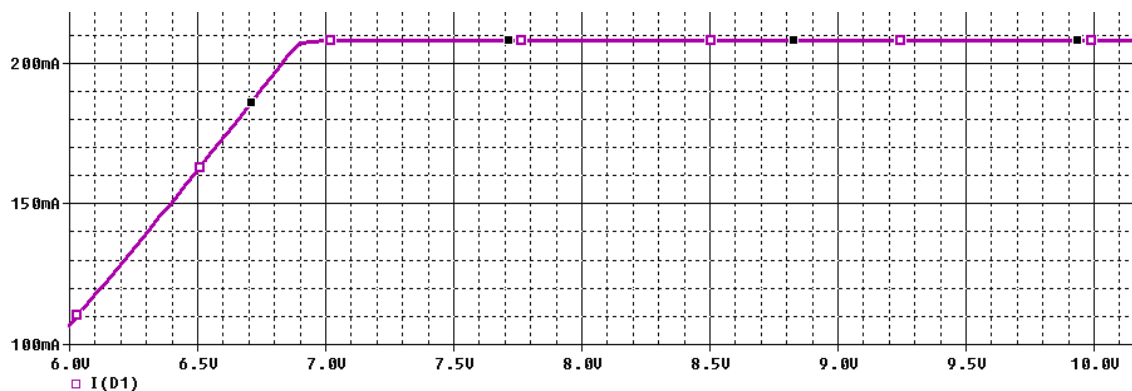


Ilustración 117: Simulación led de un 1 W.

El valor de la corriente aumenta hasta que alcanza una tensión de alimentación de 6.9 V, donde se estabiliza a 208 mA, manteniéndose estable, aunque varié la tensión de alimentación.

10.3. PRÁCTICA 3

Para este caso, se utilizará una de resistencia de carga de $10\Omega/11\text{ W}$ con tensión máxima de salida de 10 voltios, la tensión de entrada será de 15 voltios y se limitará la corriente a 1 A.

Primero fijaremos la tensión de entrada, y con ayuda del potenciómetro regularemos la tensión de salida, y tomaremos los valores de corriente de entrada y salida y a partir de ahí se calcularán el resto de parámetros con las fórmulas:

V_{in} (V)	V_{out} (V)	$I_{in,teor}$ (A)	$I_{in,exp}$ (A)	$I_{out,teor}$ (A)	$I_{out,exp}$ (A)	P_{teor} (W)	P_{exp} (W)	η_{exp}	η_{teo}
15	1,24	0,010	0,02	0,124	0,124	0,15	0,15	0,51	1
15	2,01	0,027	0,04	0,201	0,201	0,40	0,40	0,67	1
15	2,99	0,059	0,08	0,299	0,296	0,89	0,88	0,73	1
15	4,00	0,106	0,14	0,400	0,399	1,60	1,59	0,73	1
15	5,05	0,170	0,21	0,505	0,5	2,55	2,52	0,80	1
15	6,02	0,241	0,29	0,602	0,598	3,62	3,59	0,81	1
15	7,00	0,327	0,39	0,700	0,694	4,90	4,86	0,82	1
15	8,02	0,429	0,51	0,802	0,796	6,44	6,38	0,83	1
15	9,04	0,545	0,64	0,904	0,898	8,18	8,12	0,84	1
15	10	0,666	0,79	1	0,993	10	9,93	0,82	1

Una vez calculados todos los parámetros que necesitamos, graficamos la corriente y la potencia de salida, así como el rendimiento, para ver la diferencia teóricamente y experimentalmente, así como también sacamos los comentarios adecuados.

1. ¿Qué conclusión se obtiene del funcionamiento del BUCK respecto la tensión de salida con los datos obtenidos?

Como conclusión se obtiene que el Buck funciona perfectamente, pues reduce la tensión de salida respecto la entrada de una forma lógica y en concordancia con los valores obtenidos teóricamente.

Primero, representar la corriente de salida en función de la tensión de salida.

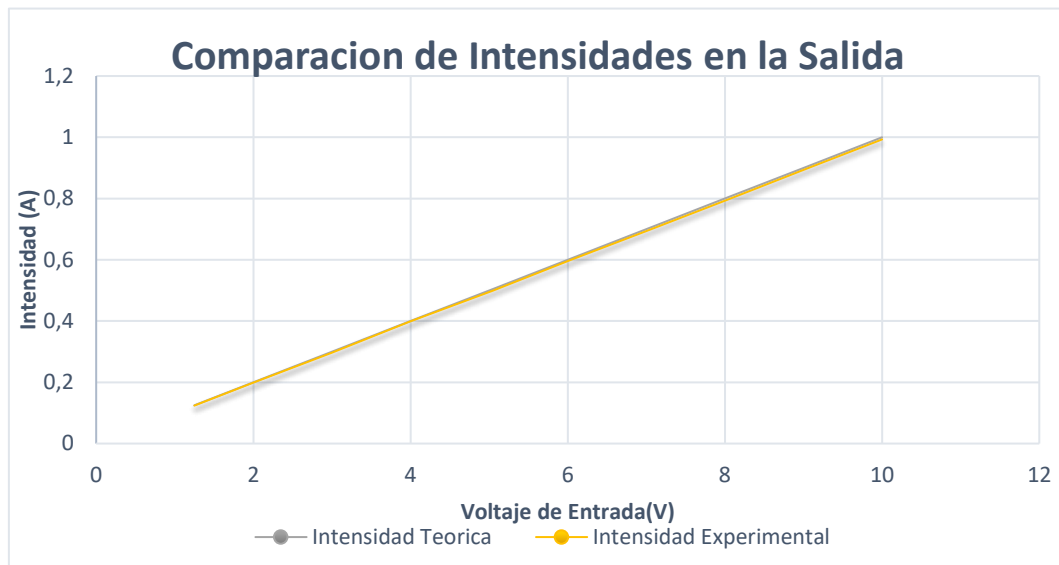


Tabla 52: Intensidad de salida frente tensión de entrada.

1. ¿Cómo evoluciona la corriente de salida teórica respecto a la experimental? Justifica tu respuesta explicando su forma de onda.

La intensidad de salida experimental es ligeramente inferior que la teórica. Esto es lógico ya que de forma experimental se deben tomar en cuenta aspectos no ideales de los elementos y pérdidas. Su forma de onda tiende a ser linealmente creciente a medida que la tensión de salida aumenta. Tiene sentido ya que, en una misma resistencia según la ley de ohm, a mayor tensión mayor intensidad.

Sus valores están indicados en la tabla anterior.

A continuación, representar la potencia de salida en función de la tensión de salida, tanto con los valores teóricos y experimentales.

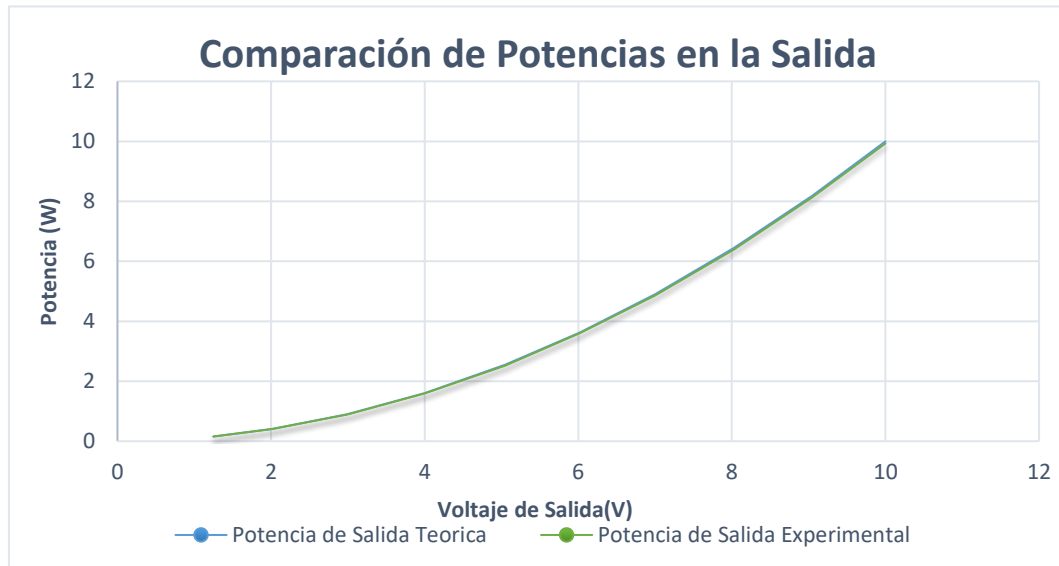


Tabla 53: Potencia de salida frente tensión de salida.

2. ¿Cómo evoluciona la potencia de salida teórica respecto a la experimental? Justifica tu respuesta explicando su forma de onda y valores de pico de cada uno de ellos.

La potencia de salida teórica es algo mayor que la experimental por los aspectos no ideales y pérdidas. Su crecimiento es cuadrático creciente ya que la potencia también se puede expresar como el cuadrado de la tensión entre la resistencia. Al ser la gráfica en función de la tensión de salida, este será su comportamiento.

Finalmente, representar el rendimiento experimental y teórico del elevador en función de la tensión de salida.

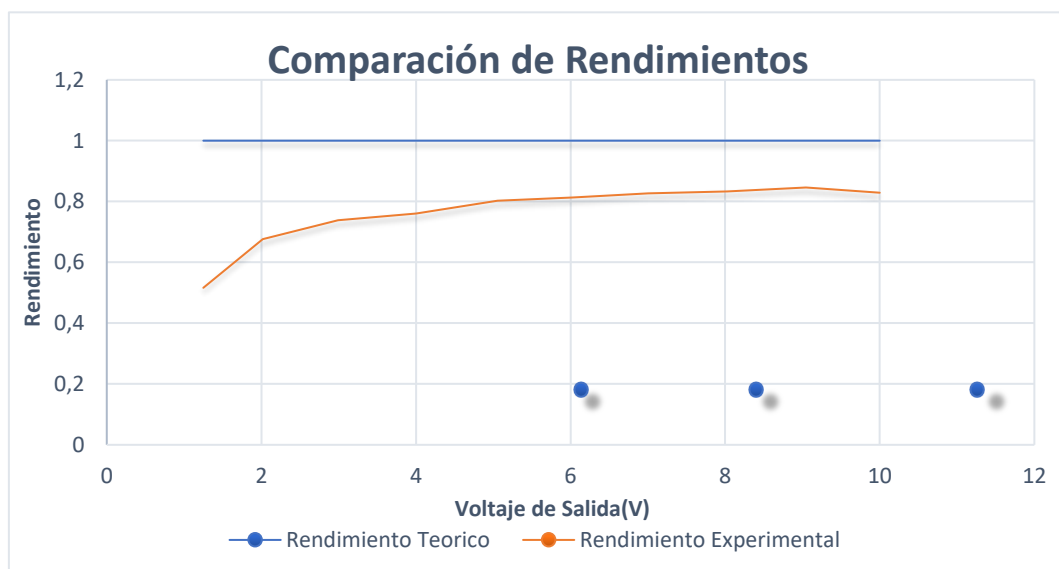


Tabla 54: Rendimiento frente tensión de salida.

3. ¿Cómo evoluciona el rendimiento teórico respecto al experimental? Justifica tu respuesta explicando su forma de onda y valores de cada uno de ellos.

En este último caso, el rendimiento teórico siempre será el 100%, con lo que no es factible su comparación. No obstante, puede observarse que su rendimiento es bastante bueno ya que tiende a valores de más del 80%.

CAPTURAS DEL OSCILOSCOPIO

En este apartado, se incluyen las capturas de pantalla de las mediciones llevadas a cabo con el osciloscopio. En la siguiente ilustración se muestra el esquema de medición.

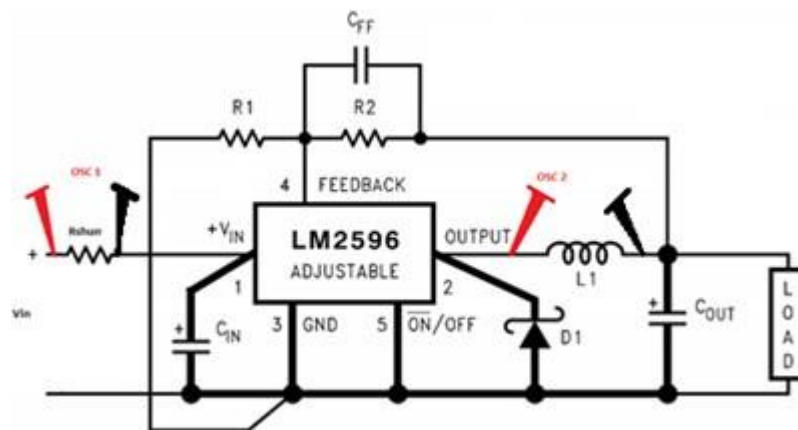


Ilustración 118: Esquema de medición. [36]

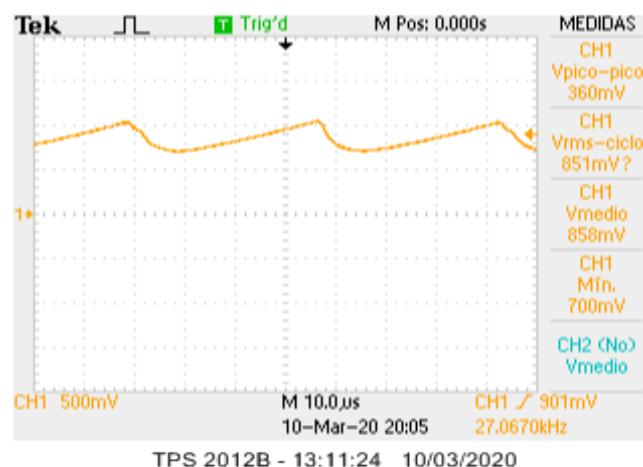


Ilustración 119: Rizado de la intensidad de entrada.

1. ¿Cuál es el valor pico-pico de la señal?

La señal tiene un valor de pico-pico de 360 mV.

2. ¿Qué rizado tiene la señal?

Calculamos el rizado con la siguiente formula:

$$Fr = \frac{I_r}{I_{MAX}} = \frac{I_{MAX} - I_{MIN}}{I_{MAX}} \times 100 = \frac{0,36}{1,060} \times 100 = 33,96\%$$

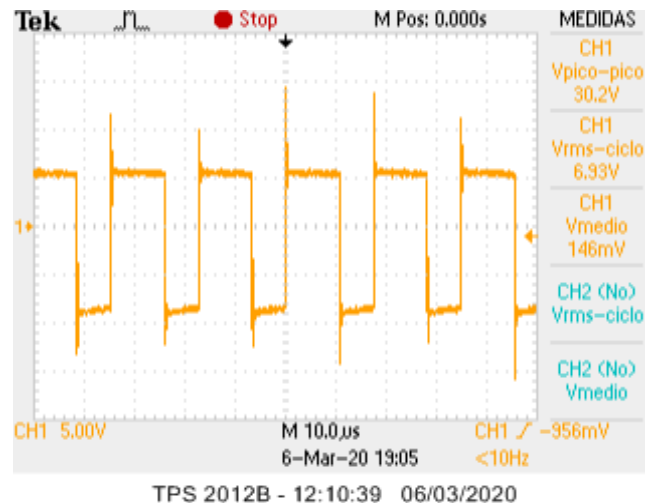


Ilustración 120: Tensión en extremos de la bobina.

3. ¿Qué forma tiene la señal de salida? ¿Cuál es su valor pico-pico?

Se trata de una señal cuadrada, con un valor pico-pico de 14 V.

10.4. PRÁCTICA 4

En esta parte, se realizarán una serie de medidas en el laboratorio empleando tanto el multímetro como el osciloscopio, con el fin de comprobar el nivel de concordancia entre los gráficos, valores teóricos y los experimentales.

En primer lugar, se comprobará el rango de funcionamiento del circuito cuando este trabaja en vacío. Para ello, se fijará la tensión de entrada en 3 valores diferentes y se medirá la tensión de salida mínima y máxima que se podía obtener. Los resultados se reflejan en la siguiente tabla:

V_{IN}	$V_{OUT(MIN)}$	$V_{OUT(MAX)}$
5	4,67	39
10	9,71	39,1
15	14,5	39,11

Tabla 55: Comprobación del rango de funcionamiento.

Se debe comprobar si los valores de tensión se encuentran dentro de los límites del fabricante.

A continuación, para la realización de los siguientes apartados, se deberá fijar la tensión de entrada (0 y 36 V, según valores de sus hojas de características. Por ejemplo, elegir 6 V) y una corriente de entrada limitada (1.5A).

Es necesario para los cálculos emplear dos resistencias de potencia (para el caso de ejemplo, emplear de 22 Ω /7 W) conectadas en serie, por lo que se tenía una resistencia total que es la suma de las individuales. Para evitar sobrepasar el límite de 7 W impuesto por las resistencias de carga, se calculará la tensión máxima de salida y la corriente máxima de salida. Para ello, se considerará el caso ideal, es decir, la potencia de entrada al regulador es igual a la potencia de salida.

La potencia de salida máxima sería, por tanto:

$$P_{OUT,MAX} = P_{IN,MAX} = V_{IN} * I_{IN}$$

La tensión máxima a la salida sería:

$$P_{OUT,max} = \frac{V_{OUT,MAX}^2}{R} \rightarrow V_{OUT,MAX} = \sqrt{P_{OUT,MAX} * R}$$

La corriente máxima a la salida sería:

$$I_{OUT,MAX} = \frac{V_{OUT,MAX}}{R}$$

MEDIDAS CON EL MULTÍMETRO

Una vez determinados los límites de trabajo, se efectuarán una serie de medidas empleando la fuente de alimentación fija a, por ejemplo, 6 V. El valor de la tensión de salida se ajustará mediante el potenciómetro. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla. Tener en cuenta los valores máximos y mínimos marcados en las hojas de características.

V _{in} (V)	V _{out} (V)	I _{in,teor} (A)	I _{in,exp} (A)	I _{out,teor} (A)	I _{out,exp} (A)	P _{teor} (W)	P _{exp} (W)	η _{exp}	η _{teo}
6	8	0,242	0,31	0,181	0,178	1,45	1,42	0,76	1
6	10	0,378	0,41	0,227	0,223	2,27	2,23	0,88	1
6	12	0,545	0,60	0,272	0,248	3,27	2,97	0,82	1
6	14	0,742	0,81	0,318	0,308	4,45	4,31	0,88	1
6	16	0,969	1,08	0,363	0,354	5,81	5,66	0,87	1

Tabla 56: Resultados obtenidos.

Estos valores se deben calcular mediante las siguientes ecuaciones:

$$I_{in,teor} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,teor}}{V_{in}}$$

$$I_{out,teor} = \frac{V_{out}}{R_L}$$

$$P_{teor} = V_{out} \cdot I_{out,teor}$$

$$P_{exp} = V_{out} \cdot I_{outexp}$$

$$\eta_{exp} = \frac{P_{out,exp}}{P_{in,exp}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,exp}}{V_{in} \cdot I_{in,exp}}$$

$$\eta_{teo} = \frac{P_{out,teo}}{P_{in,teo}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out,teo}}{V_{in} \cdot I_{in,teo}}$$

A partir de los valores de la tabla anterior, se deben representar los diferentes parámetros a fin de comparar los valores teóricos con los experimentales.

Primero, representar la corriente de salida en función de la tensión de salida.

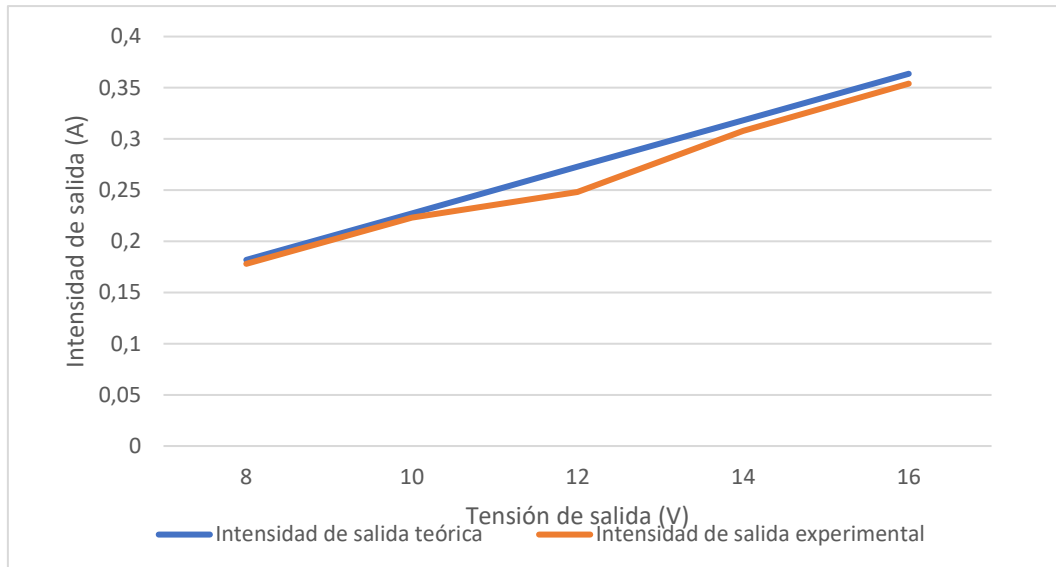


Tabla 57: Intensidad de salida vs tensión de salida.

4. ¿Cómo evoluciona la corriente de salida teórica respecto a la experimental? Justifica tu respuesta explicando su forma de onda.

La intensidad de salida experimental es ligeramente inferior que la teórica. Esto es lógico ya que de forma experimental se deben tomar en cuenta aspectos no ideales de los elementos y pérdidas.

Su forma de onda tiende a ser linealmente creciente a medida que la tensión de salida aumenta. Tiene sentido ya que, en una misma resistencia según la ley de ohm, a mayor tensión mayor intensidad.

Sus valores están indicados en la tabla anterior.

A continuación, representar la potencia de salida en función de la tensión de salida, tanto con los valores teóricos y experimentales.

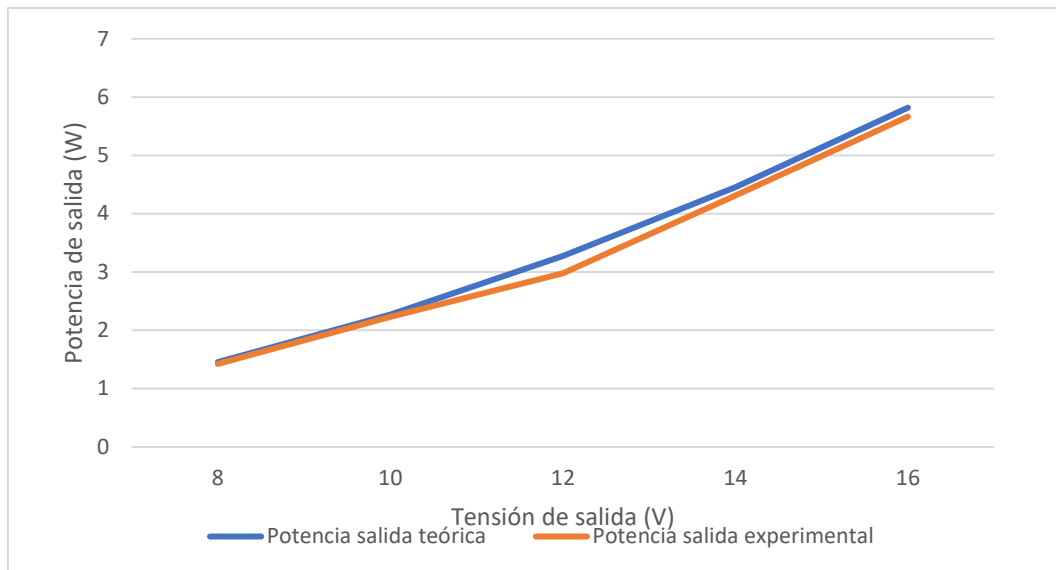


Tabla 58: Potencia de salida vs tensión de salida.

5. ¿Cómo evoluciona la potencia de salida teórica respecto a la experimental? Justifica tu respuesta explicando su forma de onda y valores de pico de cada uno de ellos.

La potencia de salida teórica es algo mayor que la experimental por los aspectos no ideales y pérdidas.

Su crecimiento es cuadrático creciente ya que la potencia también se puede expresar como el cuadrado de la tensión entre la resistencia. Al ser la gráfica en función de la tensión de salida, este será su comportamiento.

Finalmente, representar el rendimiento experimental y teórico del elevador en función de la tensión de salida.

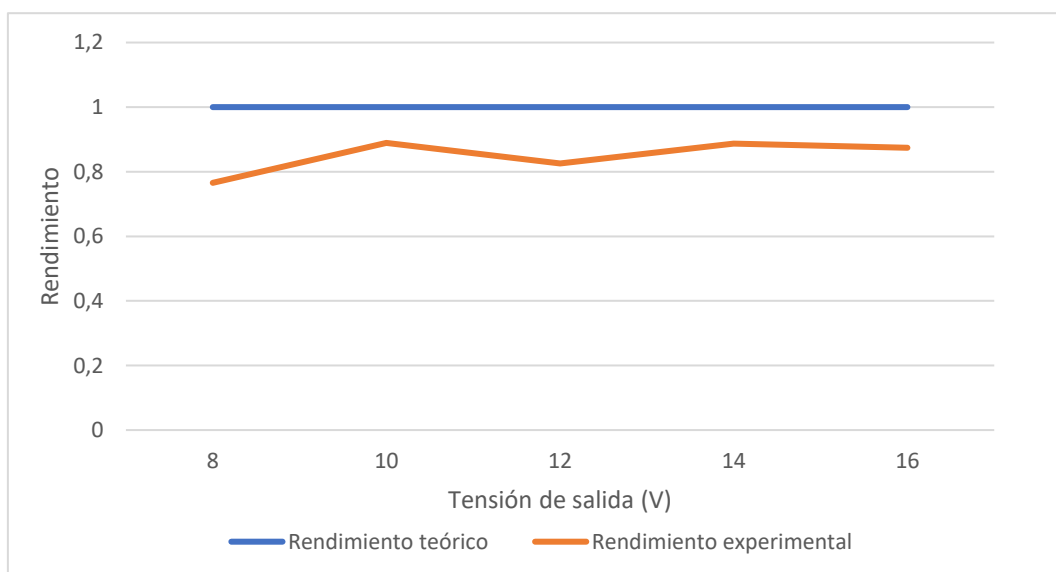


Tabla 59: Rendimiento vs tensión de salida.

6. ¿Cómo evoluciona el rendimiento teórico respecto al experimental? Justifica tu respuesta explicando su forma de onda y valores de cada uno de ellos.

En este último caso, el rendimiento teórico siempre será el 100%, con lo que no es factible su comparación. No obstante, puede observarse que su rendimiento es bastante bueno ya que tiende a valores de más del 80%.

7. ¿Qué le ocurre al rendimiento al ir aumentando la tensión? ¿A qué puede deberse?

Aproximadamente en 16 voltios de salida, aparece cierta disminución del rendimiento. Puede deberse al aumento de la corriente experimental o que las condiciones de trabajo a más de 14 voltios no son las más óptimas.

MEDIDAS CON EL OSCILOSCOPIO

En el caso del boost, la medida del rizado es tan pequeña que es imposible plasmarla en el osciloscopio. Por ello, se pasará directamente al estudio del valor de la tensión de la bobina.

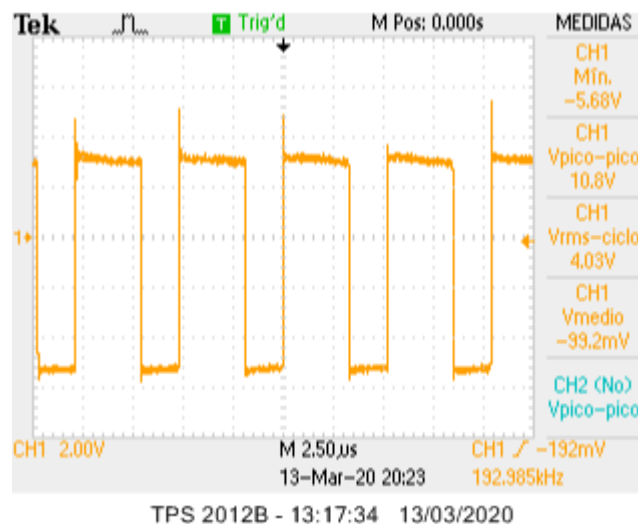


Ilustración 121: Tensión en extremos de la bobina.

1. Calcular el tiempo de apagado y encendido. ¿Cómo afecta al ciclo de trabajo?

El tiempo de encendido, midiendo con los cursores, es $3.36 \mu\text{s}$ y el de apagado es el periodo ($5.2 \mu\text{s}$) menos este valor, es decir, $1.84 \mu\text{s}$.

El ciclo de trabajo en un convertidor es el tiempo de encendido entre el periodo. En este caso:

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{3.36}{5.2} = 0.646$$

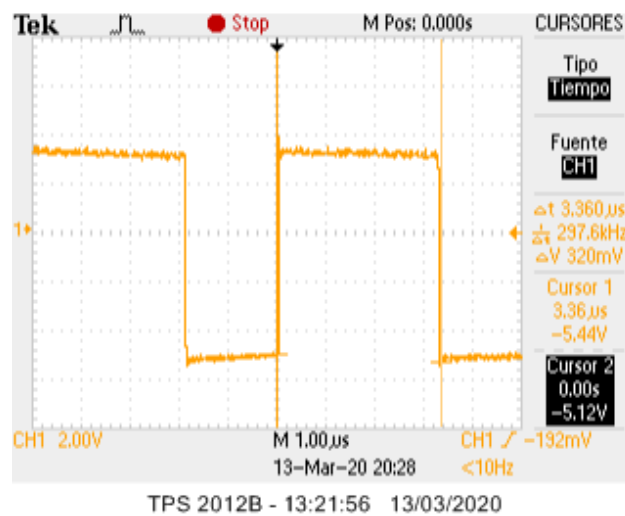


Ilustración 122: Tiempo de encendido en extremos de la bobina.

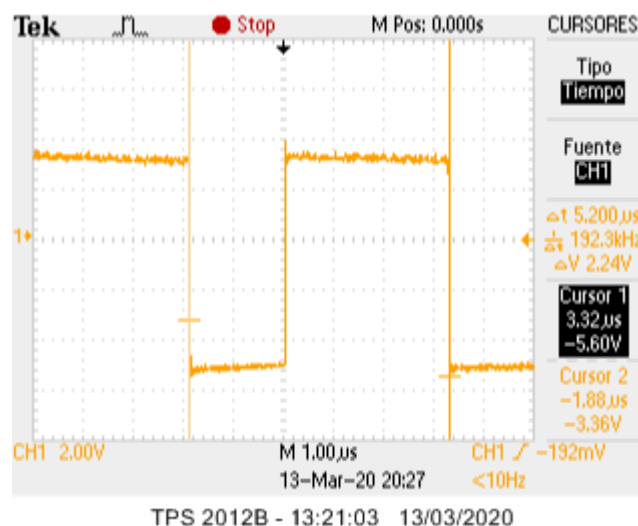


Ilustración 123: Periodo en extremos de la bobina.

10.5. PRÁCTICA 5**CAPTURAS OSCILOSCOPIO**

Este apartado no se ha podido realizar este año en el laboratorio, por la aparición del COVID-19 y la respectiva cuarentena que ha conllevado. Por ello las capturas que se muestran a continuación son tomadas de un compañero que realizó la práctica otro año.

1. Captura del rizado de la intensidad a través de la bobina.

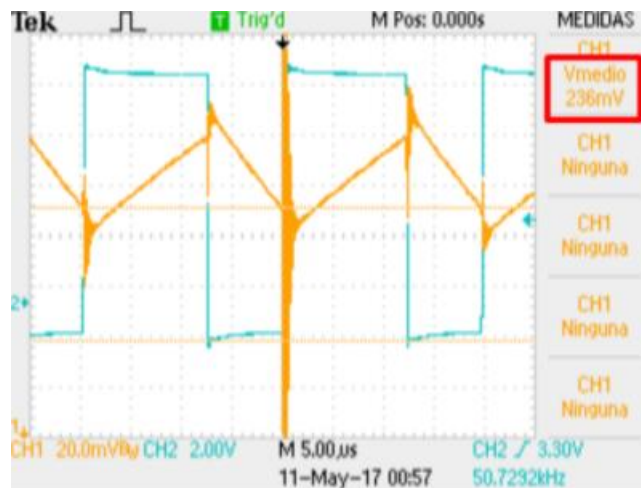


Ilustración 124: Corriente por la bobina.

Para poder obtener su valor con el osciloscopio, se introdujo una resistencia shunt de $0,5 \Omega$ en serie con la bobina. Por tanto, a la hora de analizar los resultados mostrados en el osciloscopio, se deberá tener en cuenta la relación entre los valores de tensión mostrados y la corriente según:

$$V_{SHUNT} = I \cdot R_{SHUNT} \rightarrow I = \frac{V}{R_{SHUNT}} = 2 \cdot V$$

El valor medio de la corriente es:

$$I_o = 236 \cdot 2 = 472 \text{ mA}$$

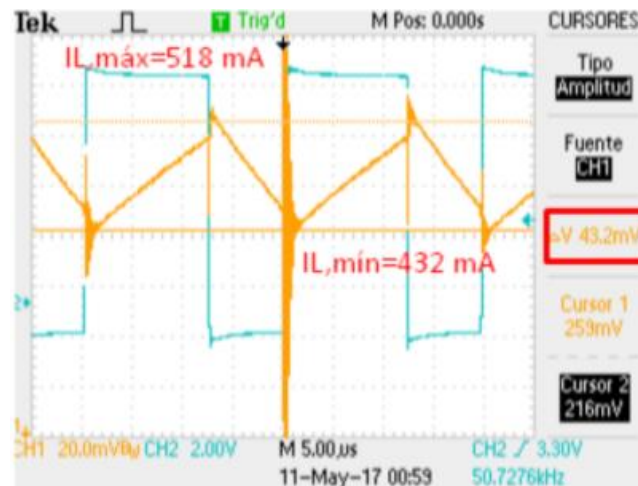


Ilustración 125: Rizado de la intensidad a través de la bobina.

La corriente máxima y mínima por la bobina es:

$$I_{L,MIN} = 432 \text{ mA}$$

$$I_{L,MAX} = 518 \text{ mA}$$

El rizado de la intensidad es de:

$$\Delta I_L = I_{L,MAX} - I_{L,MIN} = 518 - 432 = 86 \text{ mA}$$

2. Rizado de la tensión de salida.

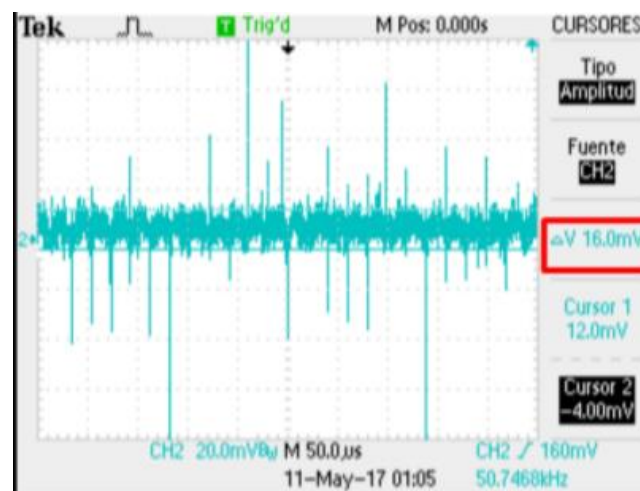


Ilustración 126: Rizado de la tensión de salida.

El rizado de la tensión de salida obtenido es de 16 mV, valor muy superior al calculado teóricamente, pero cercano al obtenido mediante la simulación.

CALCULOS TEÓRICOS

A partir de los valores de tensión de entrada y la tensión de salida se calcula el ciclo de trabajo teórico:

$$D = \frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{5\text{ V}}{15\text{ V}} = 0,333$$

Siendo la frecuencia del LM2575 de 52 kHz según la hoja de características, se calcula el valor del período y del TON.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{52k} = 19,23\text{ }\mu\text{s}$$

$$T_{ON} = D \cdot T = 0,333 \cdot 19,23 = 6,40\text{ }\mu\text{s}$$

$$T_{OFF} = T - T_{ON} = 19,23 - 6,40 = 12,83\text{ }\mu\text{s}$$

Después, se comprueba que la corriente por la bobina va a ser continuada. Para ello, se calcula el valor de la inductancia crítica:

$$L_{CRIT} = \frac{(1 - D) \cdot R}{2f} = \frac{(1 - 0,333) \cdot 10}{2 \cdot 52000} = 64,13\text{ }\mu\text{H}$$

Como el valor la bobina utilizada es mayor que la inductancia crítica, la corriente será continuada.

La corriente media por la bobina será:

$$I_L = \frac{V_o}{R} = \frac{5\text{ V}}{10\text{ }\Omega} = 500\text{ mA}$$

El rizado de la corriente será:

$$\Delta I_L = \frac{V_o}{L} \cdot (1 - D) \cdot T$$

$$\Delta I_L = \frac{5}{330 \cdot 10^{-6}} \cdot (1 - 0,333) \cdot 19,23 \cdot 10^{-6} = 0,1943\text{ A} = 194,3\text{ mA}$$

La corriente mínima y máxima por la bobina serán:

$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 500\text{ mA} - \frac{194,3}{2} = 402,85\text{ mA}$$

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = 500 \text{ mA} + \frac{194,3}{2} = 597,15 \text{ mA}$$

D	I _o	I _{L,min}	I _{L,máx}	ΔI _L
0,333	500 mA	402,85 mA	597,15 mA	194,3 mA

Tabla 60: Valores teóricos.

SIMULACIÓN LM2575-ADJ DE TEXAS INSTRUMENTS DESDE WEBENCH

Para realizar la simulación lo primero que debemos hacer es buscar el CI en la página de TEXAS INSTRUMENTS y los parámetros que vamos a necesitar en nuestra aplicación. Esto nos generara un circuito tipo con el CI selecciona en nuestro caso el LM2575-ADJ.

Lo primero que podemos elegir es la optimización que también se podrá cambiar más tarde si lo deseamos, en la siguiente ilustración podemos ver las opciones, parámetros y como varían estos según la opción escogida.

Opciones de optimización

	Diseño de huella pequeña	Diseño de bajo costo	Diseño equilibrado	Diseño de alta eficiencia
Eficiencia	81,4%	76,6%	76,6%	82,4%
Bom Cost	\$ 4.09	\$ 2.44	\$ 2.44	\$ 2.70
Huella	627 mm ²	694 mm ²	694 mm ²	742 mm ²
	SELECCIONE	SELECCIONE	SELECCIONE	SELECCIONE

Ilustración 127: Optimización en WEBENCH. [32]

En nuestro caso elegiremos un diseño equilibrado, con un voltaje de entrada de 15 V, un voltaje de salida de 5 V con una intensidad de 0,3 A por lo cual la potencia máxima suministrada a la carga será de 1,5 W.

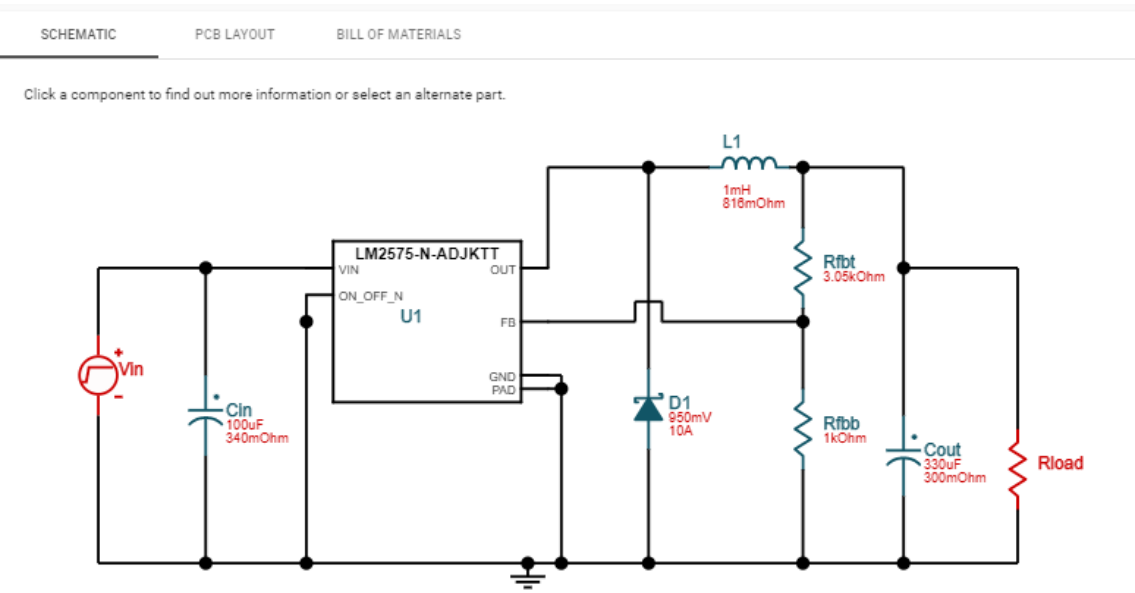


Ilustración 128: Circuito generado por WEBENCH. [32]

Este sería el esquemático generado por WEBENCH, con el cual podemos ver información de los componentes o cambiar alguno por otra alternativa seleccionando el componente. También podemos observar un pequeño menú arriba que nos ofrecería un diseño de PCB que veremos más adelante o una lista de materiales.

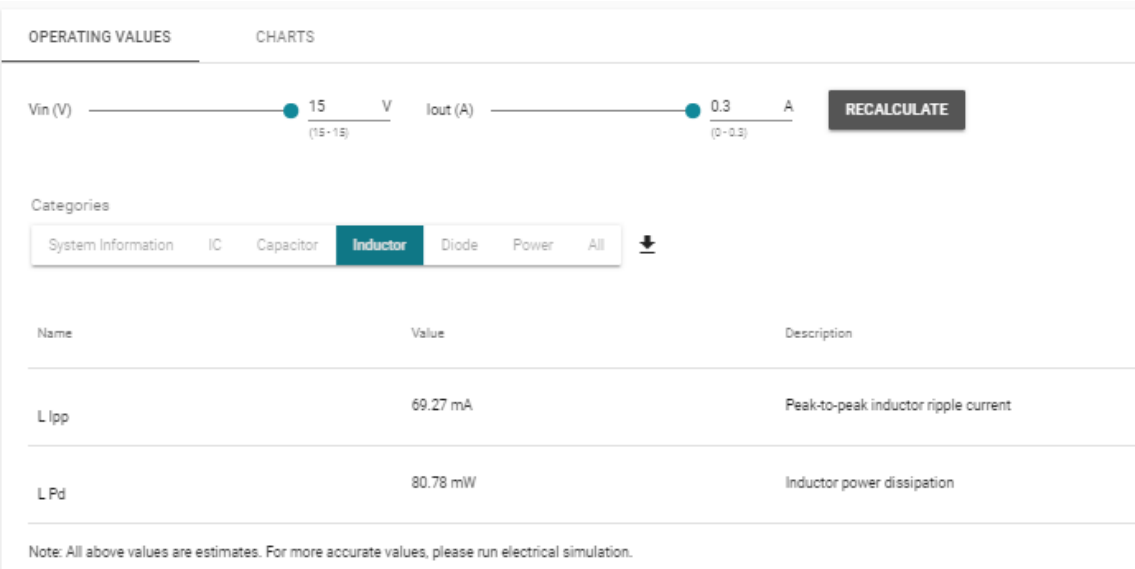


Ilustración 129: Valores de operación del circuito. [32]

Debajo de nuestro esquemático nos encontramos este menú, donde podemos variar la intensidad de salida y el voltaje de entrada entre los valores seleccionados anteriormente, recalculando el circuito de nuevo. Además, podemos ver información del sistema y de parte concretas del mismo, así como

descargarlas en un Excel.

En el menú tenemos otra opción que nos muestra unas gráficas de rendimiento y de ciclo de trabajo de nuestro circuito.

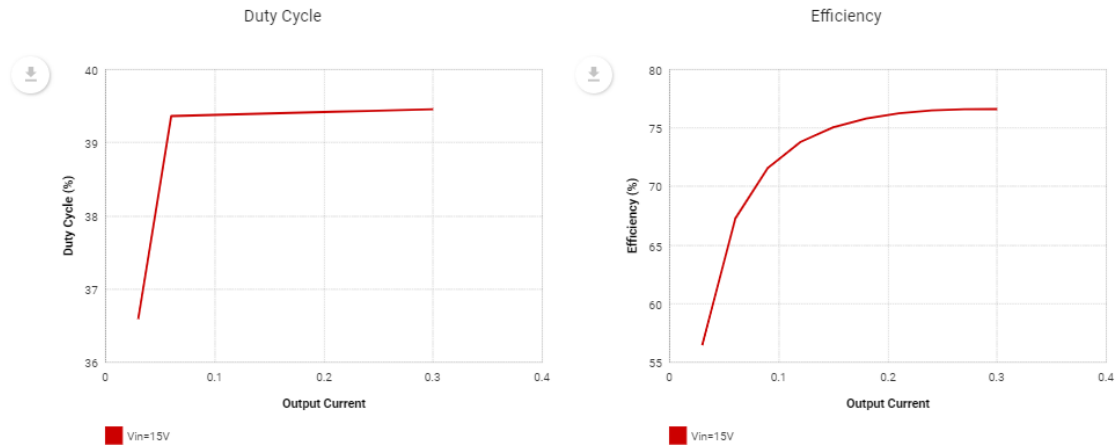


Ilustración 130: Gráficas WEBENCH. [32]

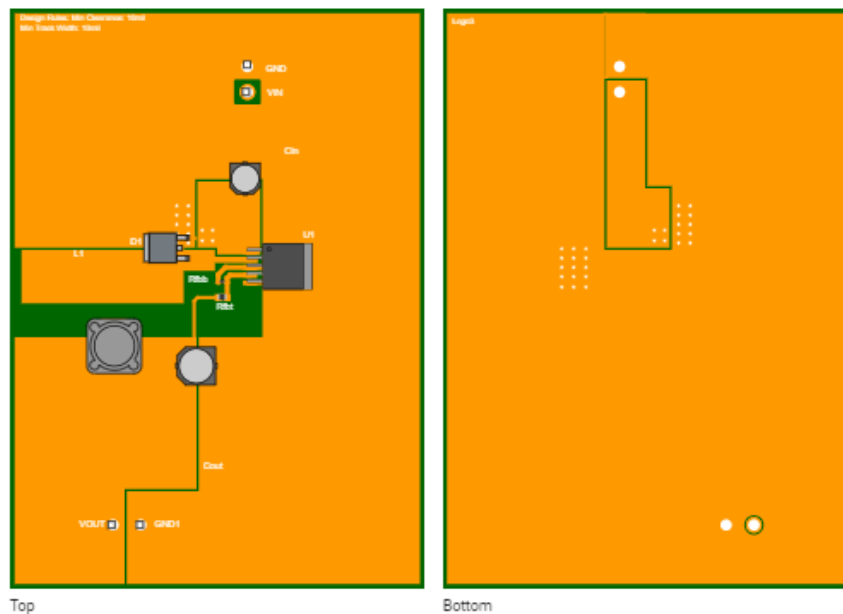


Ilustración 131: PCB generado por WEBENCH. [32]

Part	Manufacturer	Part Number	Quantity	Total Price (\$)	Attribute	Total Footprint (mm ²)	Top View	Edit
Cin	Chemi-Con	EMVY250ADA101MF80G	1	0.13	Cap = 100 μ F Total Derated Cap = 100 μ F VDC = 25 V ESR = 340 m Ω Package = F80	73.96		SELECT ALTERNATE PART
Cout	Chemi-Con	EMVY160ADA331MHA0G	1	0.21	Cap = 330 μ F Total Derated Cap = 330 μ F VDC = 16 V ESR = 300 m Ω Package = HA0	106.09		SELECT ALTERNATE PART
D1	SMC Diode Solutions	SRD10200TR	1	0.12	Type = Schottky VRRM = 200 V Io = 10 A	101.71		SELECT ALTERNATE PART
L1	Coilcraft	MSS1210-105KEB	1	0.81	L = 1 mH DCR = 816 m Ω IDC = 1 A	204.49		SELECT ALTERNATE PART
Rfb	Vishay-Dale	CRCW04021K00FKED	1	0.01	Resistance = 1 k Ω Tolerance = 1.0% Power = 63 mW	3	.	SELECT ALTERNATE PART
Rfbt	Yageo	RT0805BRD073K05L	1	0.05	Resistance = 3.05 k Ω Tolerance = 0.1% Power = 125 mW	6.75	.	SELECT ALTERNATE PART
U1	Texas Instruments	LM2575SX-ADJ/NOPB	1	1.11		198.21		

Ilustración 132: Lista de materiales generada por WEBENCH. [32]

En el apartado de lista de materiales podemos ver las especificaciones de cada componente y cambiar aquel que no cumplan con nuestros requisitos por otro de una lista que nos ofrece WEBENCH los cuales tienen total compatibilidad.

Una vez hemos realizada la personalización adecuada continuamos con las simulaciones que nos ofrece el software para este circuito. Como podemos ver en la ilustración podemos elegir entre 4: Puesta en marcha, carga transitoria, transitorio de entrada y estando estable el circuito. Las simulaciones tardan un poco en realizarse, pero solo hay que esperar y no recargar la página.

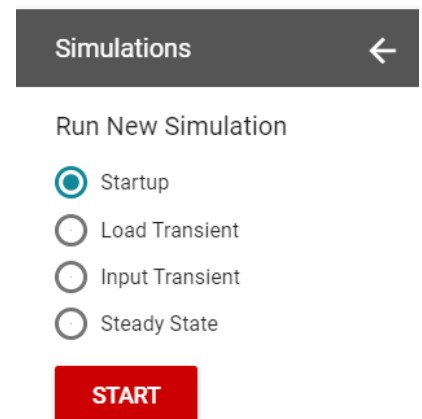


Ilustración 133: Opciones simulación. [32]

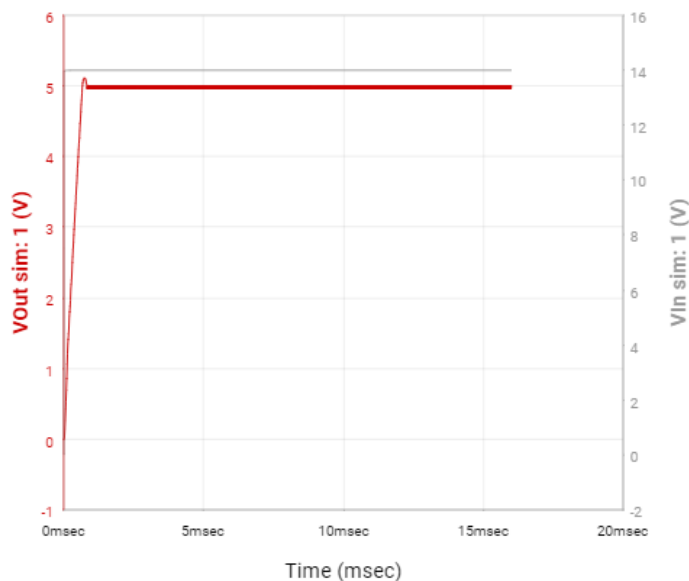


Ilustración 134: Gráfica de inicio. [32]

En la siguiente ilustración podemos ver la simulación de nuestro circuito al ponerse en marcha, debajo de la gráfica nos muestra un resumen donde podemos ver el tiempo de inicio, el cual es de 0,57 ms.

Performance Summary

Sim ID	Startup Time	Vout Average	Inductor Max Current
1	0.57 ms	4.98 V	2.81 A

Ilustración 135: Resumen simulación. [32]

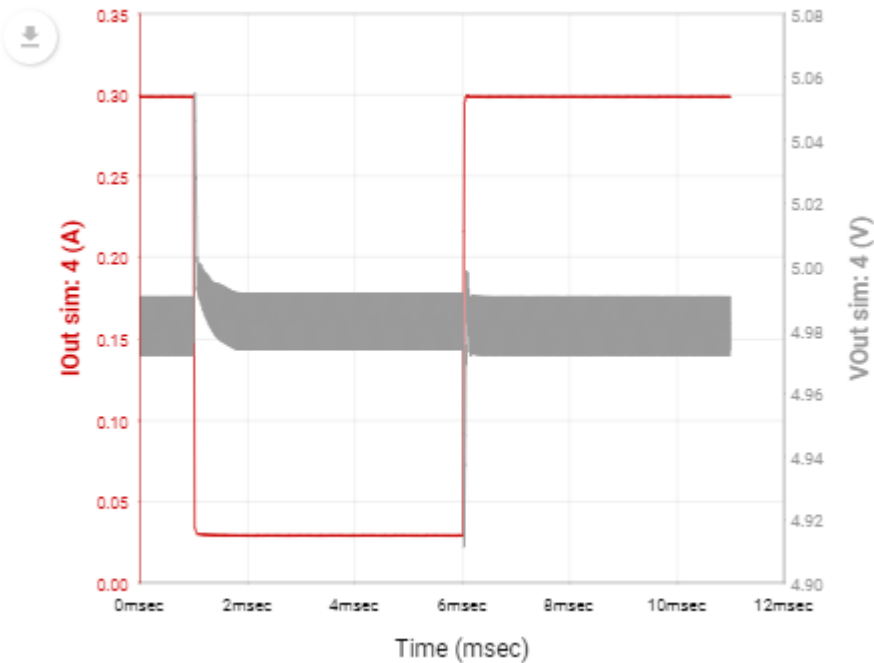


Ilustración 136: Respuesta ante una carga transitoria. [32]

Performance Summary



Sim ID	Vout Maximum	Vout Minimum	Overshoot Settle Time	Undershoot Settle Time	Overshoot	Undershoot
4	5.05 V	4.91 V	0.62 ms	0.34 ms	0.07 V	0.07 V

Ilustración 137: Resumen simulación. [32]

La segunda simulación nos muestra el comportamiento que tendrá el circuito al variar la carga, observando la variación de intensidad y voltaje que se produce, así como el tiempo que transcurre.

En la siguiente ilustración se puede observar la gráfica que describe el comportamiento del circuito integrado ante un transitorio en la carga. Debajo también se incluye una tabla que contiene los valores de sobreimpulso y subimpulso, así como su tiempo.

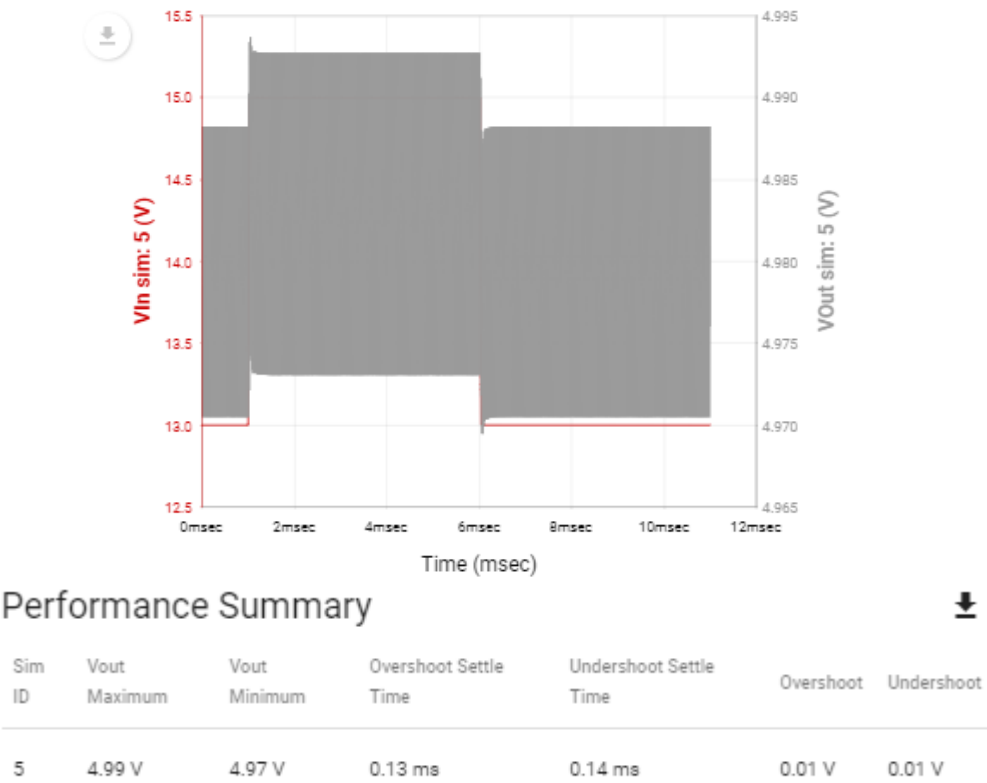


Ilustración 138: Gráfica transitorio de entrada y resumen. [32]

Por último, se representa el voltaje de salida en estado estacionario, como podemos observar en la tabla la salida tiene un voltaje medio de 4,98 V y un rizado de 18,8 mV. La intensidad por la bobina tiene un rizado de 60 mA y la frecuencia de la señal pico-pico es igual a la del LM2575, es decir, de 52 kHz.

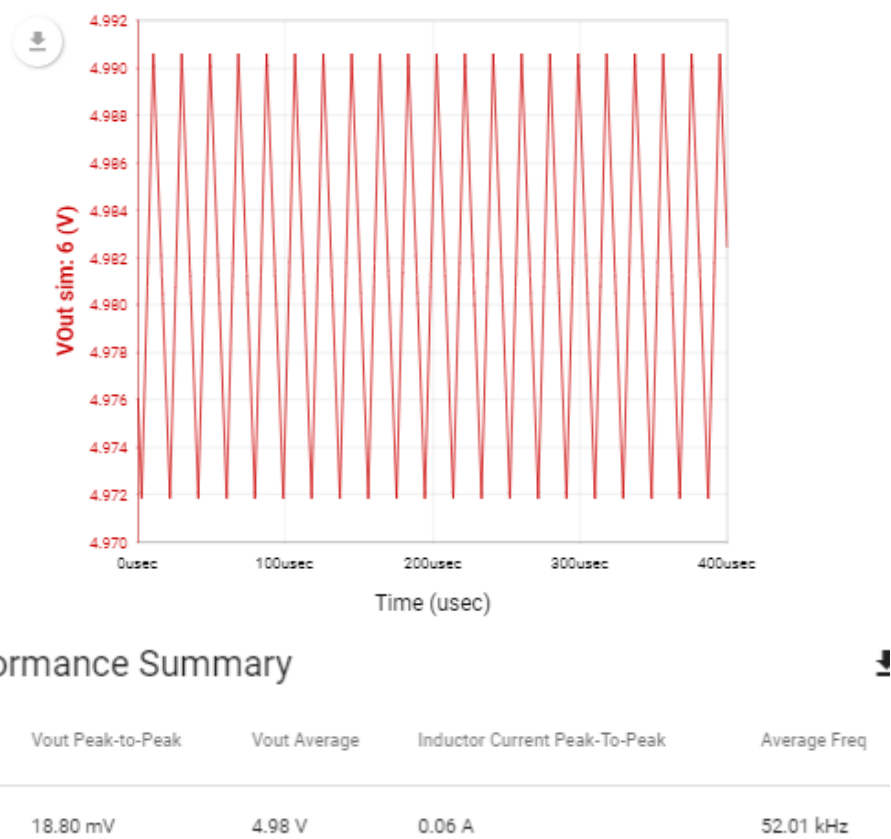


Ilustración 139: Gráfica en estado permanente y resumen de simulación. [32]

10.7. PRÁCTICA 7**CALCULOS PREVIOS**

1. INTESIDAD EN EL TRANSISTOR 1:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = B * I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{B} = \frac{15 \text{ mA}}{150} = 0,1 \text{ mA}$$

$$I_E = I_C + I_B = 15 \text{ mA} + 0,1 \text{ mA} = 15,1 \text{ mA}$$

2. La tensión de alimentación mínima para que el circuito funcione correctamente será:

$$V_{CC} = V_{LED} * N + I_{LED} * R1 + V_{CE(min)} = 2 \text{ V} * 1 + 50 * 0,015 + 0,5 = 3,25 \text{ V}$$

3. A continuación, calcularemos el valor de R1 para que por el led circule 15 mA, siendo $V_{be}(Q1) = 0.75 \text{ V}$.

$$R1 = \frac{V_{BE}}{I_{LED}} = \frac{0,75}{0,015} = 50 \Omega$$

4. Cálculo de R2:

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - 2V_{BE1}}{R1 + \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} = \frac{3,25 - 2 * 0,75}{50 + \left(1 + \frac{1}{200}\right)} = 0,002 \text{ A}$$

$$R2 = \frac{V_{BE2}}{I_{C1}} = \frac{0,75}{0,002} = 375 \Omega$$

PARTE DE SIMULACIÓN

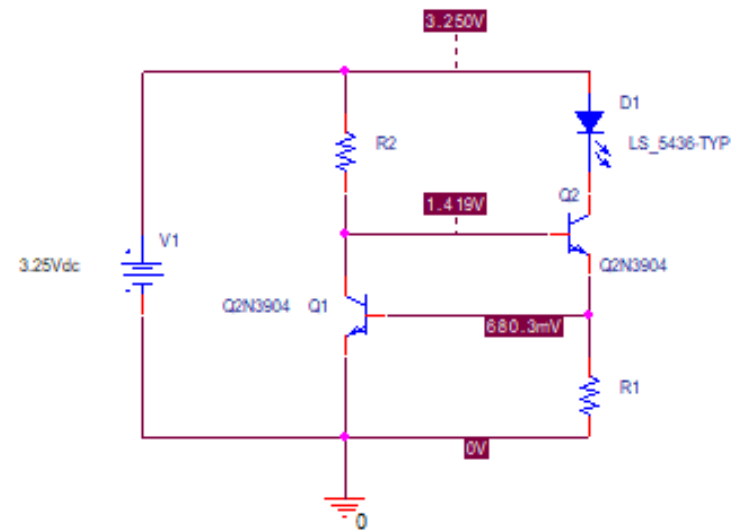


Ilustración 140: Tensiones del circuito con un led.

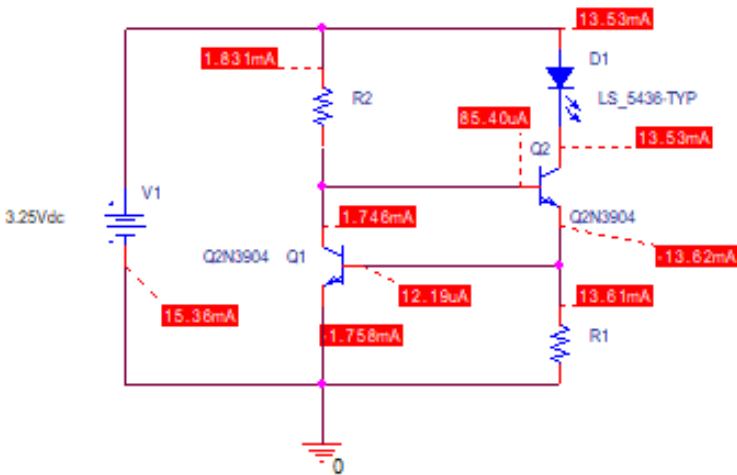


Ilustración 141: Intensidades circuito con un led.

MEDIDAS EN LOS TRANSISTORES					
Ic1	IB1	IE1	Ic2	IB2	IE2
1,746 mA	12,19 uA	1,758 mA	13,53 mA	85,40 uA	13,61 mA

Tabla 61: Medidas simulación.

Vamos a visualizar la tensión de alimentación frente a la intensidad de colector para ver si varía o no:

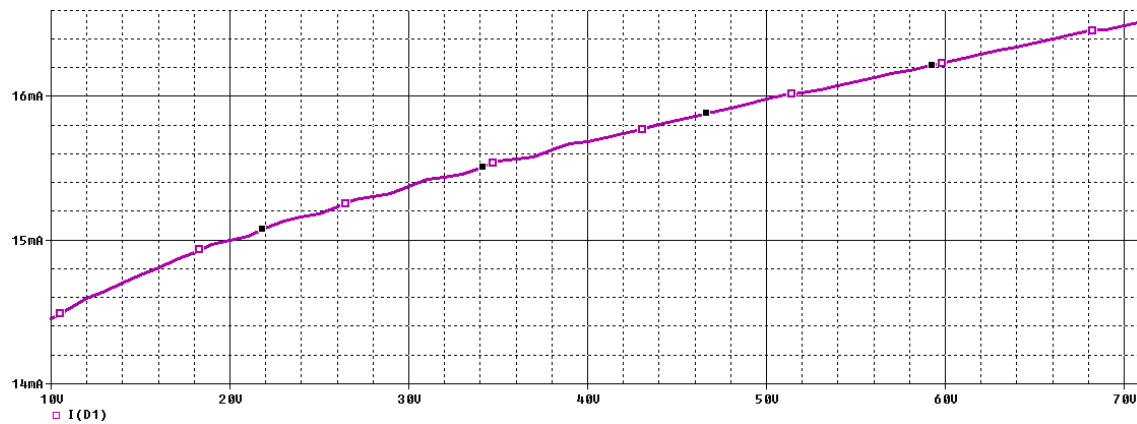


Ilustración 142: Tensión de alimentación frente a la intensidad del led.

Observamos que hasta los 20 V no sobrepasa los 15 mA, pero hay un pequeño incremento en la intensidad con el incremento de la tensión, produciéndose un incremento de 0,3 mA por cada 10 V incrementados.

Para 3 leds:

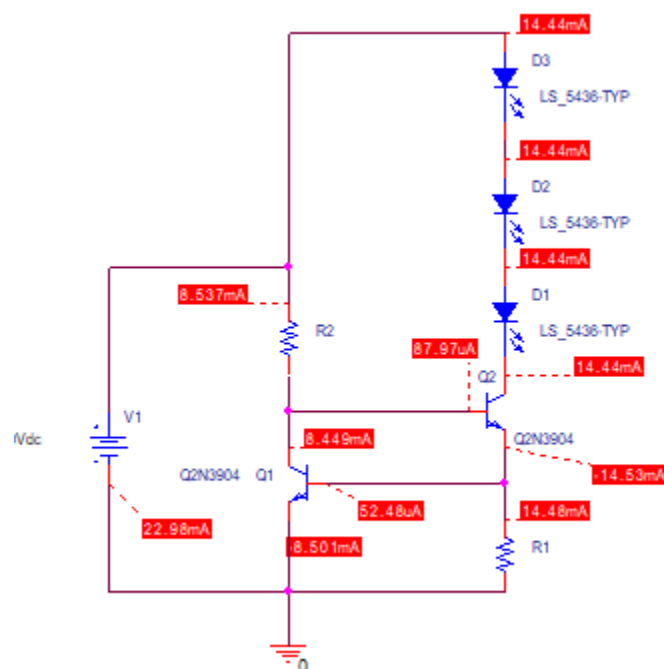


Ilustración 143: Intensidades del circuito con 3 led.

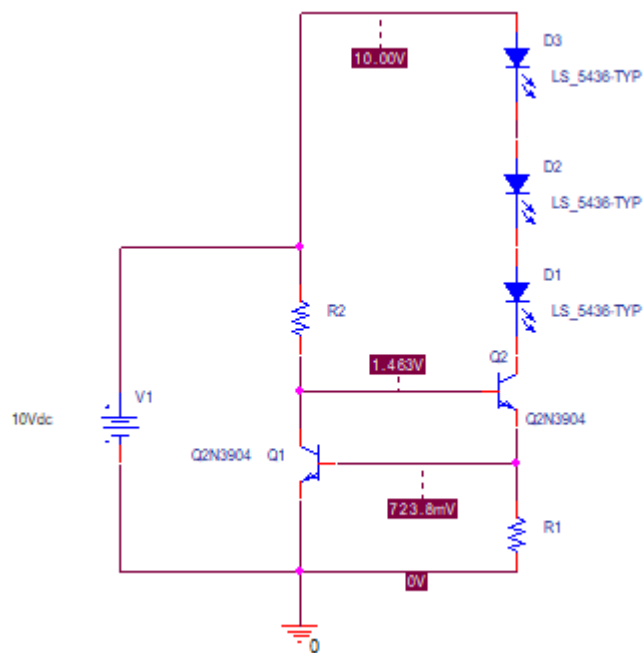


Ilustración 144: Tensiones del circuito con 3 led.

Vamos a visualizar la tensión de alimentación frente a la intensidad de colector para ver si varía o no:

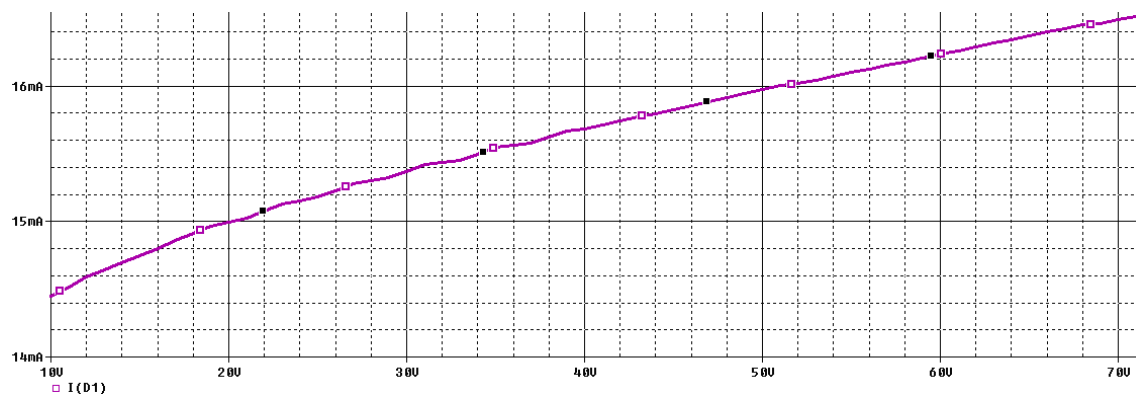


Ilustración 145: Tensión de alimentación frente la intensidad.

Observamos que sigue un comportamiento muy similar a cuando solo había un led y que el número de led no influye en la intensidad que circula por ellos.

10.8. PRÁCTICA 8**RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

1. Comenzaremos los cálculos hallando las corrientes del transistor:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \beta * I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{20 \text{ mA}}{200} = 0,1 \text{ mA}$$

$$I_E = I_C + I_B = 20 \text{ mA} + 0,1 \text{ mA} = 20,1 \text{ mA}$$

2. La tensión de alimentación necesaria para que el circuito funcione correctamente:

$$V_{CC} = V_Z + V_{LED} * N = 5,1 + 2 * 2 = 9,1 \text{ V}$$

3. A continuación, calcularemos el valor de R1 para que por los leds circulen 20 mA, siendo $V_{be}(Q1) = 0,66 \text{ V}$, $V_{zener} = 5,1 \text{ V}$, $I_{zener} = 5 \text{ mA}$.

$$R1 = \frac{V_{ZENER} - V_{BE}}{I_E} = \frac{5,1 \text{ V} - 0,66 \text{ V}}{20,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 220 \Omega$$

A continuación, calcularemos el valor de R2:

$$I_{R2} = I_Z - I_B = 5 \text{ mA} - 0,18 \text{ mA} = 4,82 \text{ mA}$$

$$R2 = \frac{V_{CC} - V_{ZENER}}{I_{R2}} = \frac{9,1 \text{ V} - 5,1 \text{ V}}{4,82 \text{ mA}} = 820 \Omega$$

4. Las mediciones realizadas son las siguientes:

Tensión de alimentación 9V						
I _B	I _C	I _E	V _{zener}	V _{led}	VR1	VR2
--	--	--	--	--	--	--

Tabla 62: Medidas laboratorio con alimentación a 9 V para 2 leds.

Para ver si el montaje cumple con el objetivo vamos a aumentar la tensión de alimentación y comprobar si la corriente que atraviesa los leds se mantiene constante en 20 mA:

Vcc	Iled	Vzener	Vled	VR1	VR2
11	--	--	--	--	--
13	--	--	--	--	--
15	--	--	--	--	--
17	--	--	--	--	--

Tabla 63: Medidas laboratorio con diferentes tensiones de alimentación para 2 leds.

Como vemos, al aumentar la tensión de alimentación, aumenta la caída de tensión en las resistencias R2 y en R1 y se mantiene constante la caída de tensión en el led y también la intensidad que los atraviesa.

5. A continuación, incrementaremos el número de leds conectados, por lo que tendremos que calcular el nuevo valor de la tensión de alimentación y el valor de R2, la cual depende de ésta:

En este caso pondremos 5 leds (n=5):

$$V_{CC} = V_Z + V_{LED} * N = 5.1 + 2 * 5 = 15,1 V$$

$$R2 = \frac{V_{CC} - V_{ZENER}}{I_{R2}} = \frac{15,1 V - 5,1 V}{4,82 mA} = 2074 \Omega \approx 2200 \Omega$$

Y las correspondientes mediciones son las siguientes:

Tensión de alimentación 15 V						
I _B	I _C	I _E	Vzener	Vled	VR1	VR2
--	--	--	--	--	--	--

Tabla 64: Medidas laboratorio con alimentación a 15 V para 5 leds.

De la misma forma que antes, vamos a comprobar si aumentando la tensión de alimentación hay variación o no en la corriente que atraviesa los leds:

Vcc	Iled	Vzener	Vled	VR1	VR2
17	--	--	--	--	--
19	--	--	--	--	--
21	--	--	--	--	--

Tabla 65: Medidas laboratorio con diferentes tensiones de alimentación para 5 leds.

6. Simulación en Pspice:

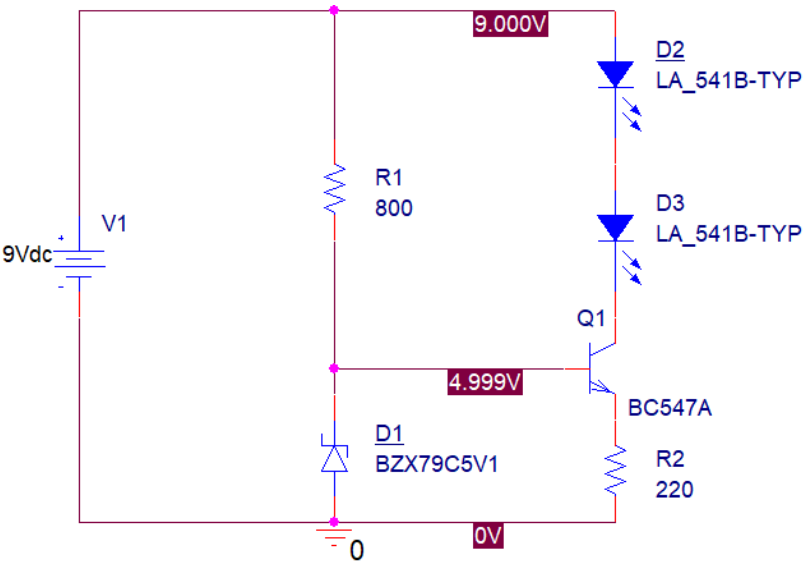


Ilustración 146: Tensiones con 2 leds.

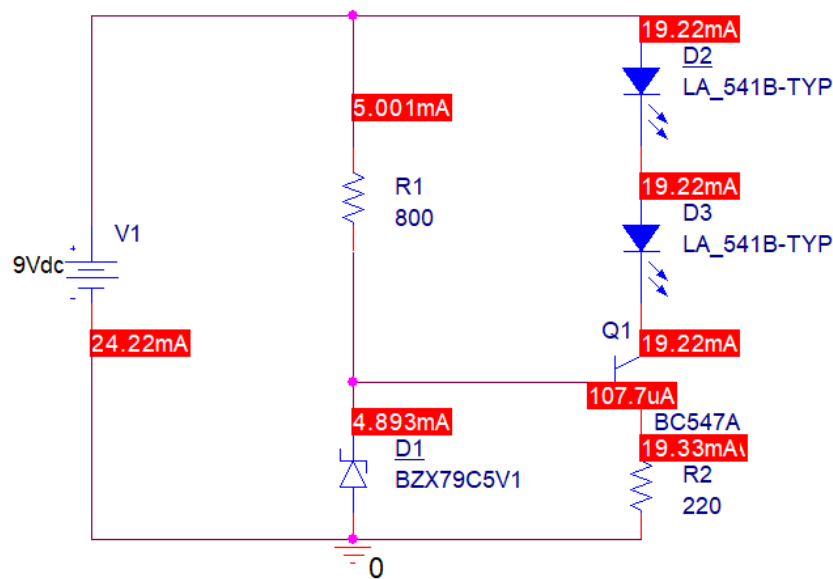


Ilustración 147: Intensidades con 2 leds.

Tensión de alimentación 9V						
I _B	I _C	I _E	V _{zener}	V _{led}	VR1	VR2
4,8 mA	20,38 mA	20,23 mA	5,09 V	2,01 V	4,37 V	3,92 V

Tabla 66: Medidas simulación de alimentación 9 V para 2 leds.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS (Vcc=9 V, 2 leds)			
	TEÓRICO	LABORATORIO	SIMULADO
I _B	0,18 mA	--	0,108 mA
I _E	20,18 mA	--	19,42 mA
I _C	20 mA	--	19,31 mA
V _{zener}	5,1 V	--	5,02 V
V _{led}	2 V	--	2,01 V
VR1	4,44 V	--	4,27 V
VR2	3,95 V	--	3,98 V

Tabla 67: Comparación de resultado 9V.

Vamos a visualizar la tensión de alimentación frente a la intensidad de colector para ver si varía o no:

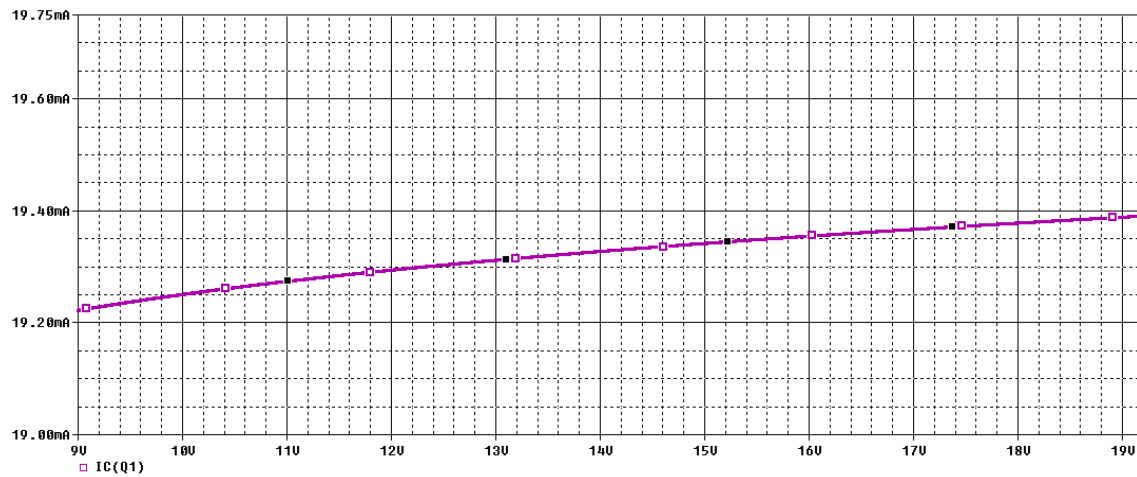


Ilustración 148: Intensidad en los leds frente tensión de alimentación.

Observamos que para 11, 13, 15 y 17V la intensidad se mantiene en unos límites adecuados, sin sobrepasar los 20 mA.

Para $n = 5$ leds.

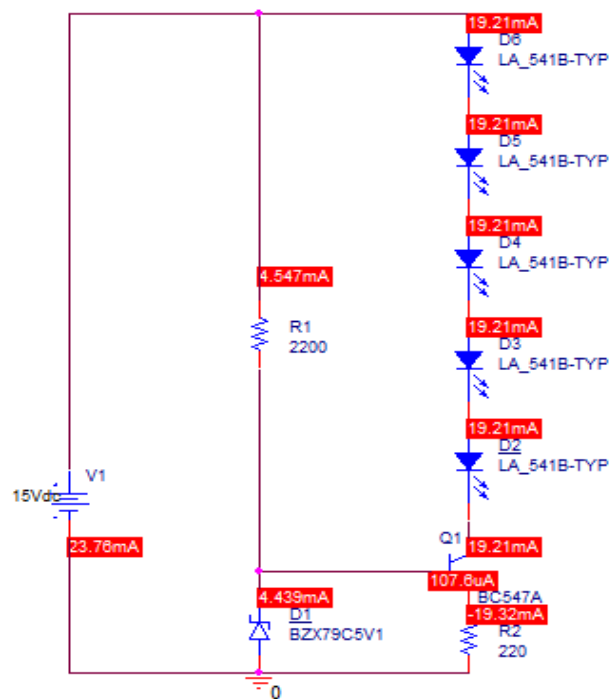


Ilustración 149: Intensidades (5 leds).

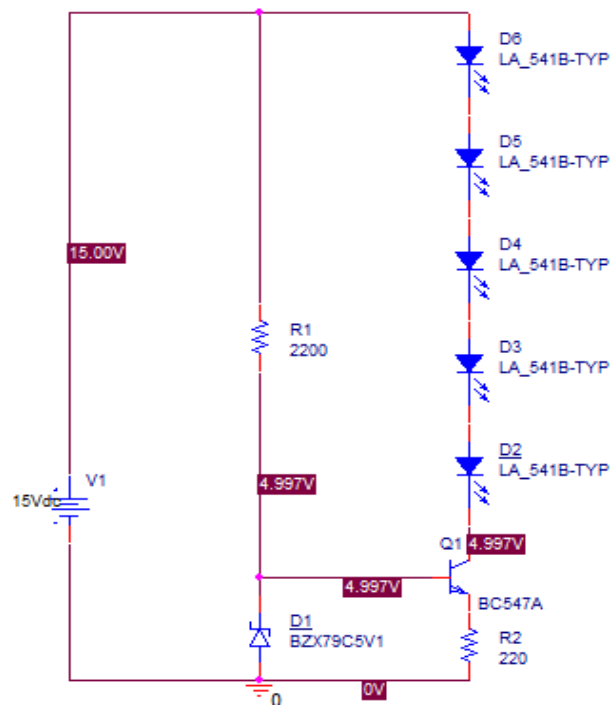


Ilustración 150: Tensiones (5 leds).

COMPARACIÓN DE RESULTADOS (Vcc=9 V, 2 leds)			
	TEÓRICO	LABORATORIO	SIMULADO
I _B	0,18 mA	--	0,108 mA
I _E	20,18 mA	--	19,42 mA
I _C	20 mA	--	19,31 mA
V _{zener}	5,1 V	--	5,02 V
V _{led}	2 V	--	2,01 V
VR1	4,44 V	--	4,27 V
VR2	10,6 V	--	10,67 V

Tabla 68: Comparación de resultados con alimentación a 15 V.

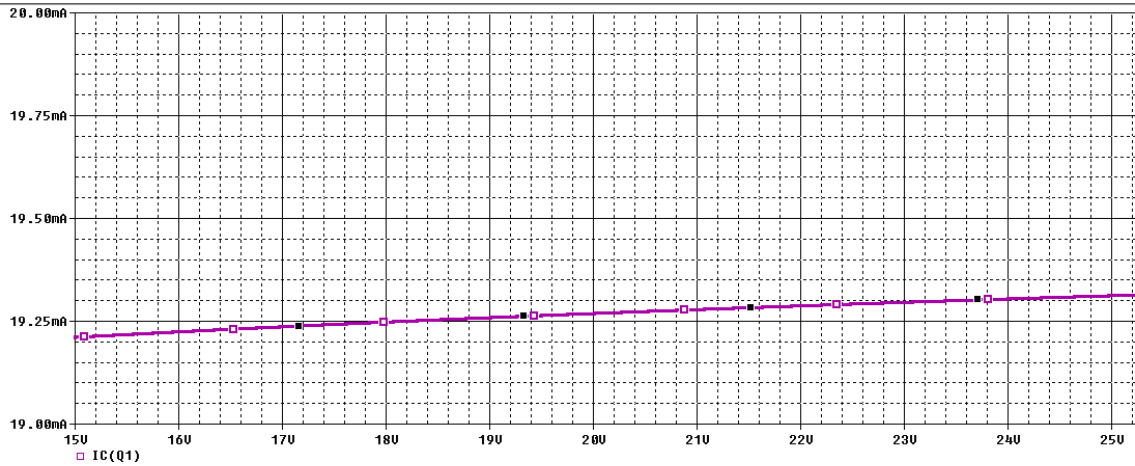
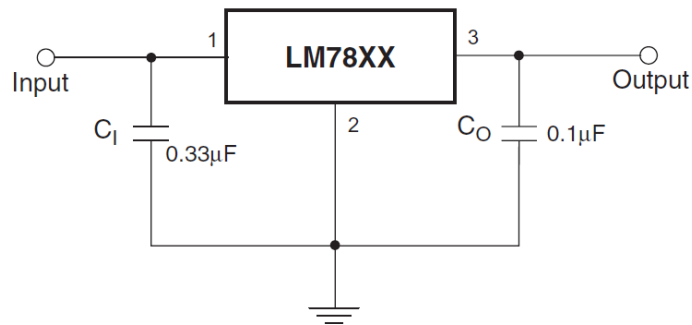


Ilustración 151: Intensidad por los leds frente tensión de alimentación.

10.9. PRÁCTICA 9**10.9.1. REGULADOR DE TENSIÓN****CALCULOS PREVIOS LM7805***Ilustración 152: Esquema regulador de tensión. [40]*

1. Para calcular el valor de corriente de la salida usamos la siguiente fórmula, tomando como valor de corriente de salida aquella que deseamos que circule por el led de 3 W.

$$I_{OUT} = \frac{V_{OUT} - V_{LED}}{R1} \rightarrow R1 = \frac{5 - 3,3}{750 \cdot 10^{-3}}$$

2. La tensión mínima de alimentación para que el regulador funcione correctamente será:

$$V_{CC} = V_{margen} + V_{carga} = 3 V + 5 V = 8 V$$

3. Calcularemos la potencia máxima que disipa el 7805 en condiciones extremas para ver si es necesario colocarle un disipador.

$$P_{MAX} = (V_{CC} - V_{carga}) \cdot I_0 = (9,5 V - 5 V) \cdot 750 \cdot 10^{-3} A = 3,34 W$$

$$P_{MIN} = (V_{CC} - V_{carga}) \cdot I_0 = (9,5 V - 5 V) \cdot 750 \cdot 10^{-3} A = 0,75 W$$

A continuación, realizaremos los cálculos del disipador y extraeremos los datos de la hoja de características del fabricante:

$$P \leq \frac{(T_j - T_a)}{R_{ja}} = \frac{125 - 25}{65} = 1,54 \text{ W}$$

Como sobrepasamos el 1,54 W necesitamos disipador.

$T_j = 125^\circ\text{C}$ $R_{cd} = 0,8^\circ\text{C/W}$ (contacto con mica) $T_a = 25^\circ\text{C}$ $R_{jc} = 5^\circ\text{C/W}$

$$R_{da} = \frac{0,8(125 - 25)}{3,34} - 5 - 0,8 = 18,15^\circ\text{C/W}$$

Necesitamos un disipador con una resistencia térmica de 18.18 °C/W. Escogemos el de 17 °C/W disponible en el laboratorio, el cual puede disipar una potencia máxima de:

$$P_{MAX} = \frac{0,8 \cdot (125 - 25)}{(17 + 5 + 0,8)} = 3,5 \text{ W}$$

La corriente máxima que podremos obtener con este disipador será:

$$I_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{V} = \frac{3,5 \text{ W}}{5 \text{ V}} = 0,7 \text{ A}$$

SIMULACIÓN EN PSPICE CON LM7805:

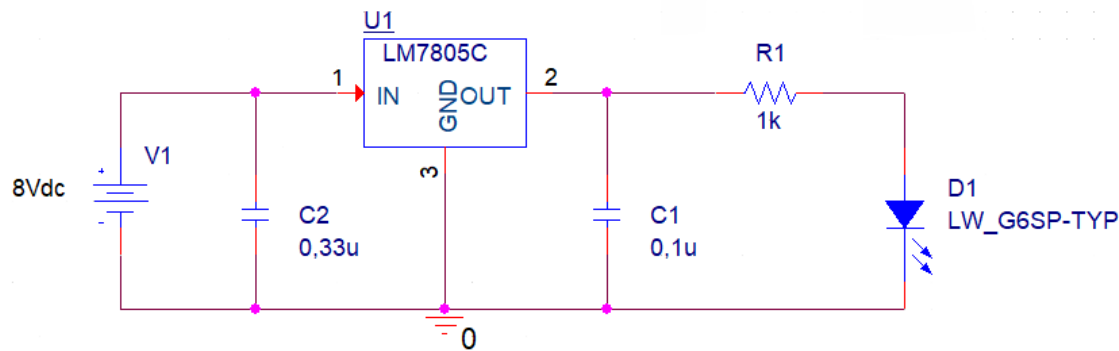


Ilustración 153: Circuito PSPICE.

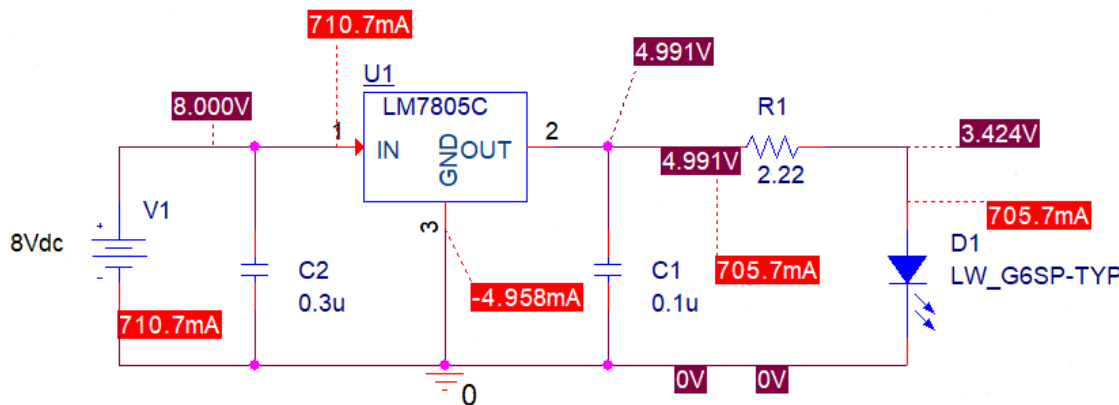


Ilustración 154: Voltajes e intensidades del circuito.

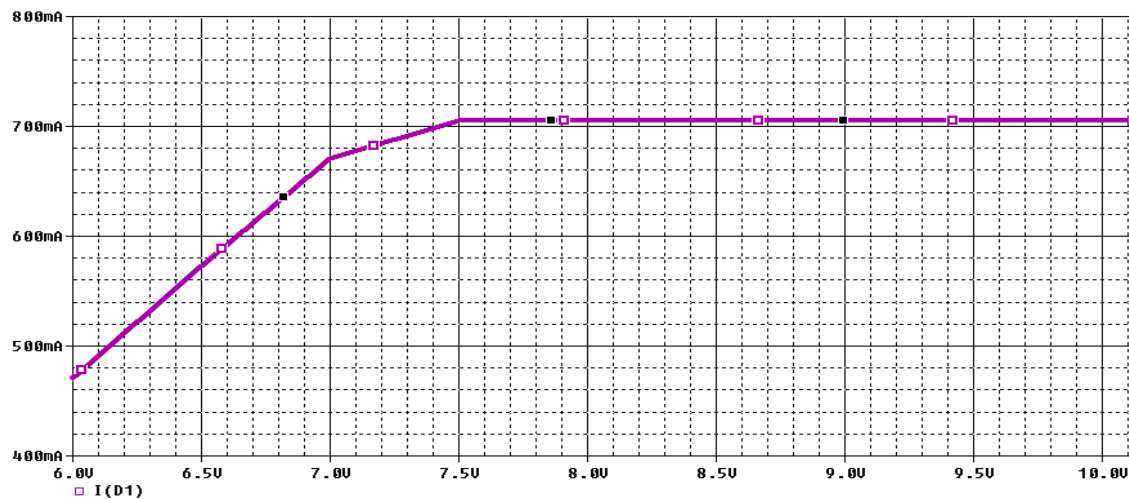


Ilustración 155: Tensión de entrada frente intensidad que circula por el led.

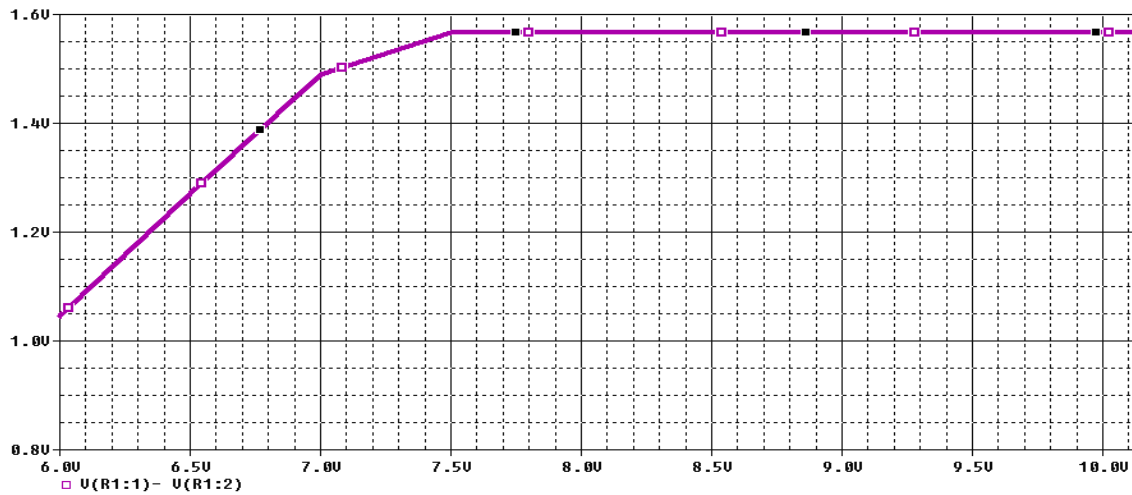
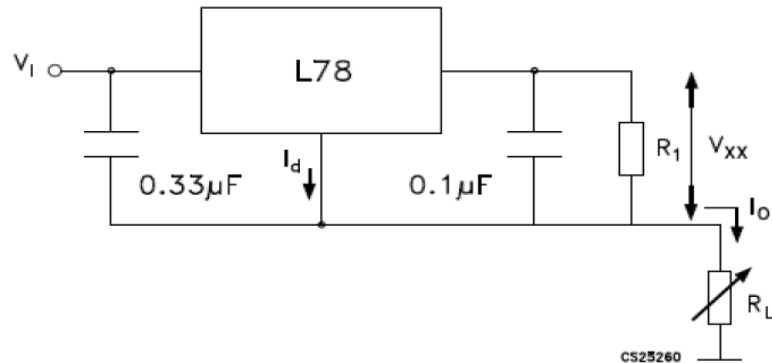


Ilustración 156: Voltaje de entrada frente a voltaje en la resistencia limitadora.

Como observamos en las dos ilustraciones anteriores, hasta que no se alcanzan los 7.5V de tensión de alimentación el circuito no nos proporciona la corriente deseada a la salida, la cual se mantiene constante ante incrementos en la tensión de alimentación.

10.9.2. REGULADOR DE CORRIENTE**CALCULOS PREVIOS LM7805***Ilustración 157: Regulador de corriente. [40]*

4. Para calcular el valor de corriente de la salida usamos la siguiente fórmula, tomando como valor de corriente de salida aquella que deseamos que circule por el led de 1 W. Usaremos el regulador 7805.

$$I_O = \frac{V_{xx}}{R1 + I_D} \rightarrow R1 = \frac{V_{xx}}{I_O} - I_D = \frac{5 V}{350 \cdot 10^{-3} A} - 4,4 \cdot 10^{-3} A = 14.28 \Omega$$

5. La tensión mínima de alimentación para que el regulador funcione correctamente será:

$$V_{CC} = V_{margin} + V_{xx} + V_{carga} = 3V + 5V + 3.3V = 11.3 V$$

6. Calcularemos la potencia máxima que disipa el 7805 en condiciones extremas para ver si es necesario colocarle un disipador.

$$P_{MAX} = (V_{CC} - (V_{xx} + V_{carga})) \cdot I_O = (18 V - (5 V + 3.3V)) \cdot 350 \cdot 10^{-3} = 3,34 W$$

$$P_{MIN} = (V_{CC} - (V_{xx} + V_{carga})) \cdot I_O = (18 V - (5 V + 3.3V)) \cdot 350 \cdot 10^{-3} = 0,75 W$$

El cálculo de la potencia disipada mínima y máxima es para las pruebas. Sin embargo, en condiciones normales, con una Vcc de 12V no es necesario disipador.

A continuación, realizaremos los cálculos del disipador y extraeremos los datos de la hoja de características del fabricante:

$$P \leq \frac{(T_j - T_a)}{R_{ja}} = \frac{125 - 25}{65} = 1,64 \text{ W}$$

Como sobrepasamos el 1,54 W necesitamos disipador.

$T_j = 125^\circ\text{C}$ $R_{cd} = 0,8^\circ\text{C/W}$ (contacto con mica) $T_a = 25^\circ\text{C}$ $R_{jc} = 5^\circ\text{C/W}$

$$R_{da} = \frac{0,8(125 - 25)}{3,4} - 5 - 0,8 = 17,72^\circ\text{C/W}$$

Necesitamos un disipador con una resistencia térmica de $17,72^\circ\text{C/W}$.

La temperatura que alcanzará funcionando será de:

$$T_d = R_{da} \cdot P + T_a = 17 \cdot 3,4 + 25 = 82,8^\circ\text{C}$$

SIMULACIÓN EN PSPICE LM7805:

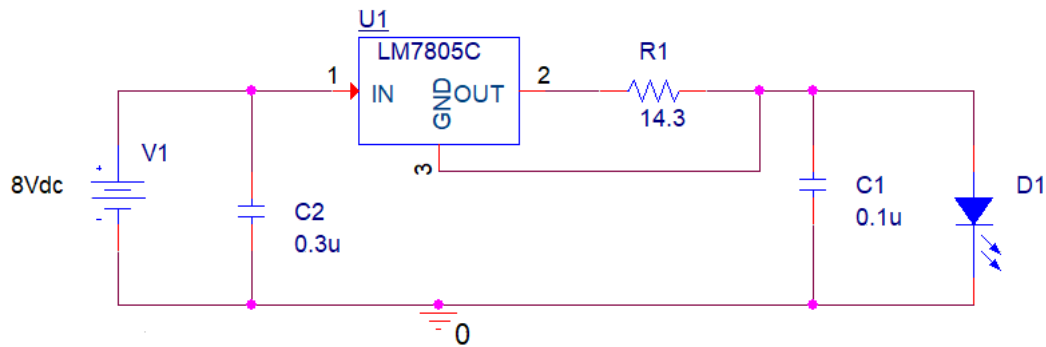


Ilustración 158: Esquema PSPICE regulador de corriente.

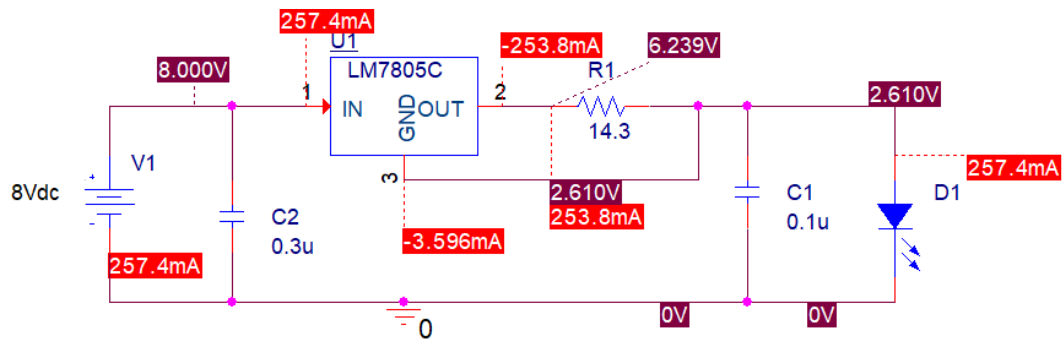


Ilustración 159: Voltajes e intensidades del circuito.

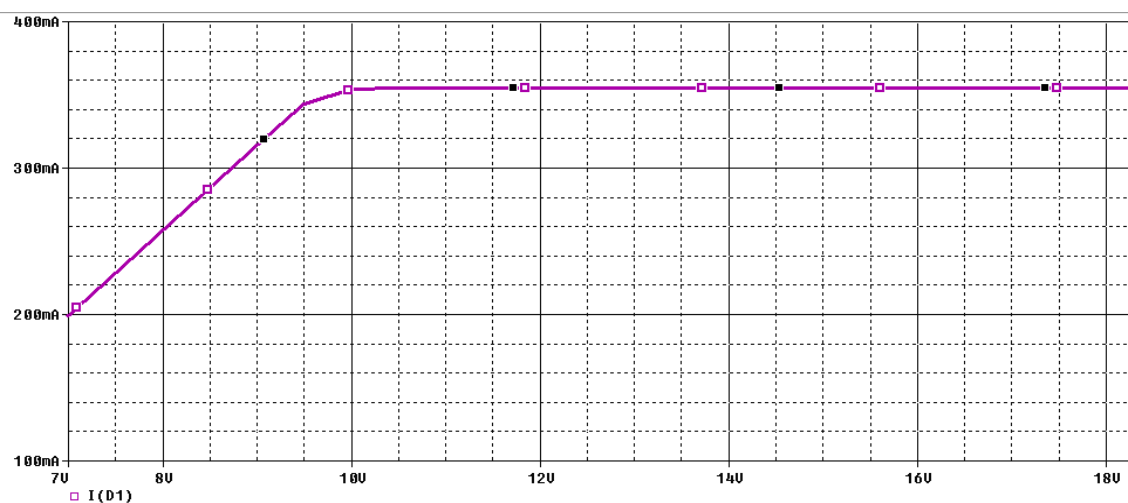


Ilustración 160: Tensión de entrada frente intensidad por el led.

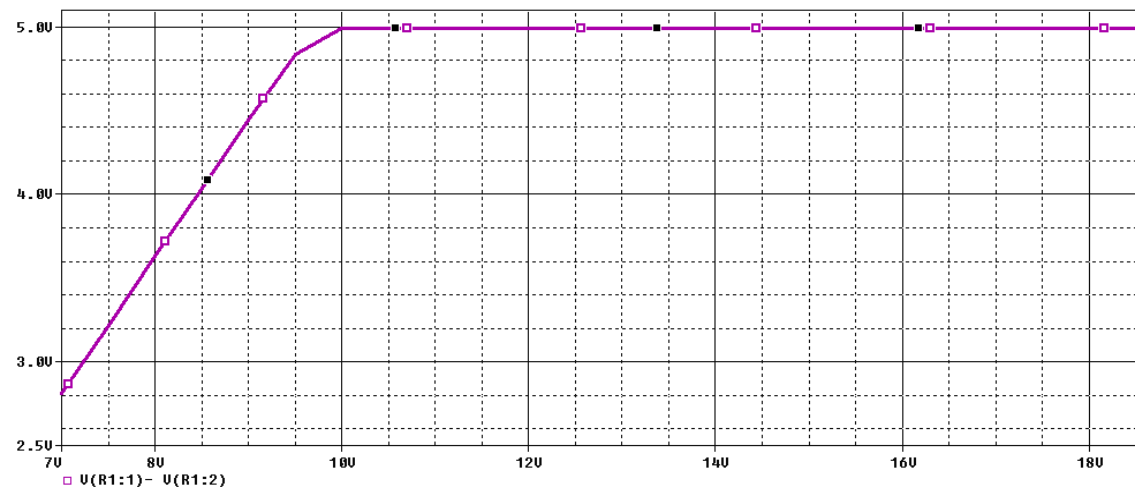


Ilustración 161: Tensión de entrada frente a voltaje en la resistencia limitadora.

Como se observa para que funcione bien el regulador la tensión de entrada debe estar por encima de 11V. Cuando disponemos de una tensión a la entrada adecuada el regulador se encarga de mantener constante el valor de corriente que atraviesa el led.

Vcc	Iled	VRLIM
7 V	0,2 A	2,8 V
9 V	0,32 A	4,5 V
12 V	0,35 A	5 V
13 V	0,35 A	5 V

Tabla 69: Resumen simulación.

En la tabla anterior podemos ver como aumenta la intensidad de forma proporcional al aumento de la tensión de alimentación. Pudiéndose observar que con 10 V de alimentación es más que suficiente para mantener la intensidad deseada y que por encima de ese valor estamos perdiendo energía.

CALCULOS PREVIOS LM7812:

7. El valor de la resistencia para limitar la intensidad será:

$$I_o = \frac{V_{xx}}{R1 + I_D} \rightarrow R1 = \frac{V_{xx}}{I_o} - I_D = \frac{12 V}{300 \cdot 10^{-3} A} - 4,4 \cdot 10^{-3} A = 40 \Omega$$

8. Ahora calculamos el valor de la tensión de alimentación mínima:

$$V_{CC} = V_{margin} + V_{xx} + V_{carga} = 3V + 12V + 12V = 27 V$$

9. Calcularemos la potencia máxima que disipa el 7812 en condiciones extremas para ver si es necesario colocarle un disipador.

$$P_{MAX} = (V_{CC} - (V_{xx} + V_{carga})) \cdot I_o = (30 V - (12 V + 12V)) \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 3,34 W$$

$$P_{MIN} = (V_{CC} - (V_{xx} + V_{carga})) \cdot I_o = (18 V - (12 V + 12V)) \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 0,75 W$$

El cálculo de la potencia disipada mínima y máxima es para las pruebas. Sin embargo, en condiciones normales, con una Vcc de 27V no es necesario disipador.

A continuación, realizaremos los cálculos del disipador y extraeremos los datos de la hoja de características del fabricante:

$$P \leq \frac{(T_j - T_a)}{R_{ja}} = \frac{125 - 25}{65} = 1,64 W$$

Como sobrepasamos el 1,54 W necesitamos disipador.

T_j = 125°C R_{cd}=0.8°C/W (contacto con mica) T_a=25°C R_{jc}=5°C/W

$$R_{da} = \frac{0,8(125 - 25)}{1,8} - 5 - 0,8 = 38,64 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Necesitamos un disipador con una resistencia térmica de 38,64 °C/W.

La temperatura que alcanzará el dispositivo, si utilizamos un radiador de 17 °C/W, cuando funcione a la máxima potencia será:

La temperatura que alcanzará funcionando será de:

$$T_d = R_{da} \cdot P + T_a = 17 \cdot 1,8 + 25 = 55,6^{\circ}\text{C}$$

SIMULACIÓN EN PSPICE LM7805:

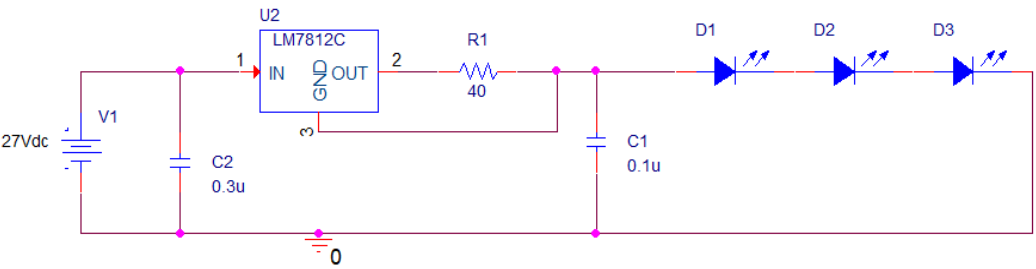


Ilustración 162: Esquema en PSPICE como fuente de corriente.

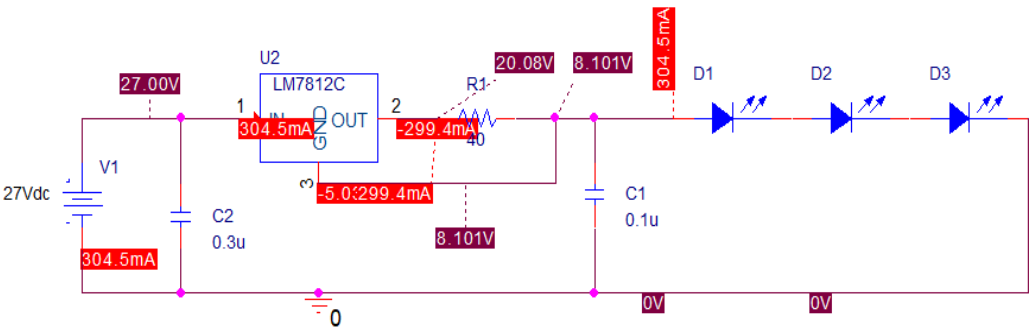


Ilustración 163: Voltajes e intensidades del circuito.

A partir de la simulación con una tensión de entrada entre 20 V y 25 V, se obtienen los siguientes resultados:

Vcc	Iled	V _{R1}
20 V	0,26 A	10,4 V
21 V	0,28 A	11,2 V
22 V	0,3 A	11,8 V
23 V	0,31 A	11,9 V
24V	0,31 A	11,9 V
25 V	0,31 A	11,9 V

Tabla 70: Resultados simulación.

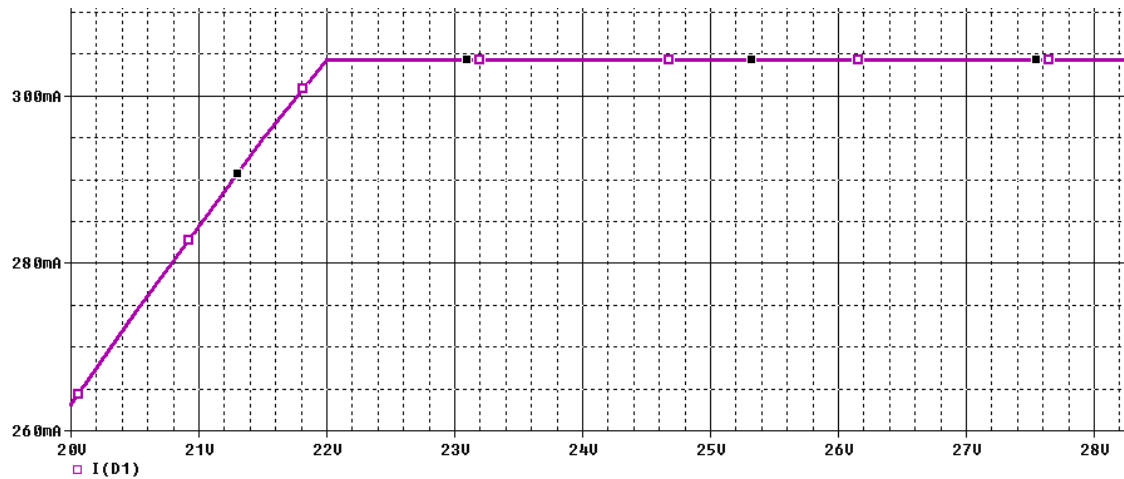


Ilustración 164: Tensión de alimentación frente intensidad por el led.

Como vemos en la simulación siguiente, hasta que no se alcanzan los 22 V de tensión de entrada no se obtiene el valor de corriente deseada, la cual se mantiene en un valor constante conforme aumenta la tensión de alimentación hasta el máximo permitido por el regulador.

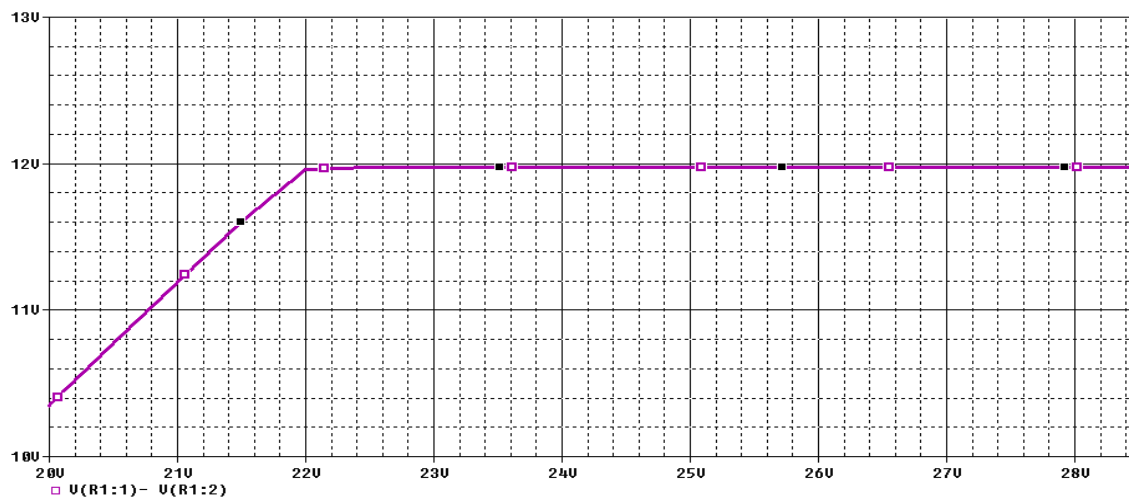


Ilustración 165: Tensión de alimentación frente voltaje en la resistencia limitadora.

Lo mismo ocurre con la tensión en la resistencia limitadora. Hasta que no se alcanzan los 22V de tensión de entrada no tenemos los 12V a la salida del regulador.

10.10. PRÁCTICA 10

En la siguiente tabla, se resumen todos los elementos que forman el circuito, así como su tamaño, necesario para realizar la simulación, debajo de la misma también se puede ver el código en CIR.

Parámetros del circuito	
V_s	20 V
V_o	8 V
Inductancia	100 μ H
R_L	2 Ω
Capacitancia	80 μ F
R_C	0,6 Ω
R_{CARGA}	5 Ω
V_P	3 V
R1	1 k Ω
R2	33 k Ω
C1	1,45 nF
C2	161 nF

Tabla 71: Datos de la simulación.

EL código CIR se crea en un block de notas con terminación .CIR, después se abre con el PSPICE, para terminar, se simula y seleccionamos el trace que se necesita.

NOTA: Todos los parámetros y elementos del circuito vienen definidos por el código, el cual se ha obtenido del ejercicio de simulación en PSpice por realimentación de libro “*Introducción a la electrónica de potencia*” de D. W. HART.

```

CONTROL DEL CONVERTIDOR REDUCTOR (buckcont.cir)
***** la tensión de salida es V (4) *****
***** PARÁMETROS DEL CIRCUITO Y DE CONTROL *****
.PARAM Vs=20
.PARAM Vref=8
.PARAM L=100UH rL=2

```

```

.PARAM C=80UF rC=.6
.PARAM RLOAD=5
.PARAM Vp=3 ;(pico de la rampa en el modulador)
.PARAM R1=1k R2=33K C1=1.45.nF C2=161pF ; parámetros del
amplificador de error
***** DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO *****
VS 1 0 DC {Vs}
XSWITCH 1 0 2 8 SWITCH
rL 2 3 {rL}
L 3 4 {L} IC={Vref/RLOAD}
rC 4 5 {rC}
C 5 0 {C} IC={Vref}
R 4 0 {RLOAD}
XCOMP 4 6 7 COMP ; amplificador de error compensado
Vref 6 0 {Vref}
XMOD 7 8 MODULATOR; controlador PWM
***** ESCALÓN DE CARGA *****
R2 4 4S {RLOAD} ; CONEXIÓN RESISTENCIA DE CARGA ADICIONAL
SW 4S 0 SCNT 0 SMOD
.MODEL SMOD VSWITCH(RON=.001)
VPULSE SCNT 0 PULSE (-10 10 .5M 1N 1N .5MS 10MS)
***SUBCIRCUITO DEL AMPLIFICADOR DE ERROR COMPENSADO ***
.SUBCKT COMP 1 5 3
*RED DE COMPENSACIÓN TIPO 2 1=INPUT; 5=+ (ENTRADA NO
INVERSORA);3=OUTPUT
R1 1 2 {R1}
R2 4 3 {R2}
C1 2 4 {C1}
C2 2 3 {C2}
RIN 2 5 1E6
EAMP 3 0 TABLE {V(5,2)} (-15U,-15) (15U,15) ; incluye la saturación a +/- 15
voltios
.ENDS COMP
***** SUBCIRCUITO DEL CONTROLADOR PWM *****
.SUBCKT MODULATOR 1 2
*modulador de anchura de pulso- convierte el error amplificado en ciclo de
trabajo
RX 1 0 1G
EMOD 2 0 TABLE {V(1)/VP} (0,0) (1,1)
RY 1 0 1G
.ENDS MODULATOR
***SUBCIRCUITO DEL MODELO PROMEDIADO DEL INTERRUPTOR ***
*MODELO DE INTERRUPTOR DE VORPERIAN
.SUBCKT SWITCH A P C D
GAP A X VALUE {V(D)*I(Vc)}
ECP X P VALUE={V(D)*V(A, 0)}
VC X C 0
RCONV D 0 1G
.ENDS SWITCH
.PROBE

```

```
.TRAN 10U 2M UIC
.END
```

Una vez tenemos el código y los parámetros para realizar la simulación, la llevamos a cabo. Primero se simulará el voltaje de salida y la intensidad que circula por la bobina.

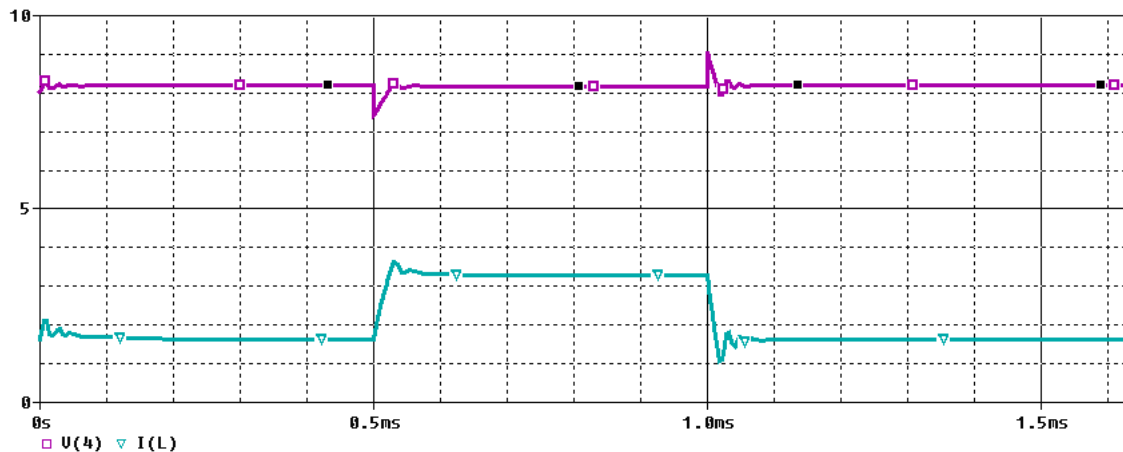


Ilustración 166: Voltaje de salida e intensidad por la bobina.

Podemos ver que el voltaje de salida apenas sufre cambios al variar la carga, solo una pequeña caída de 0,75 V que se recupera 0.05 ms después siendo inapreciable prácticamente. Al quitar la carga se produce un pico de 0,75 V que se recupera 0.05 ms después. La intensidad por la bobina al igual que el voltaje de salida se adapta rápidamente a los cambios de carga tardando 0.05 ms en estabilizarse. Esto nos dice que el circuito nos ofrece una salida muy estable ante perturbaciones en la carga.

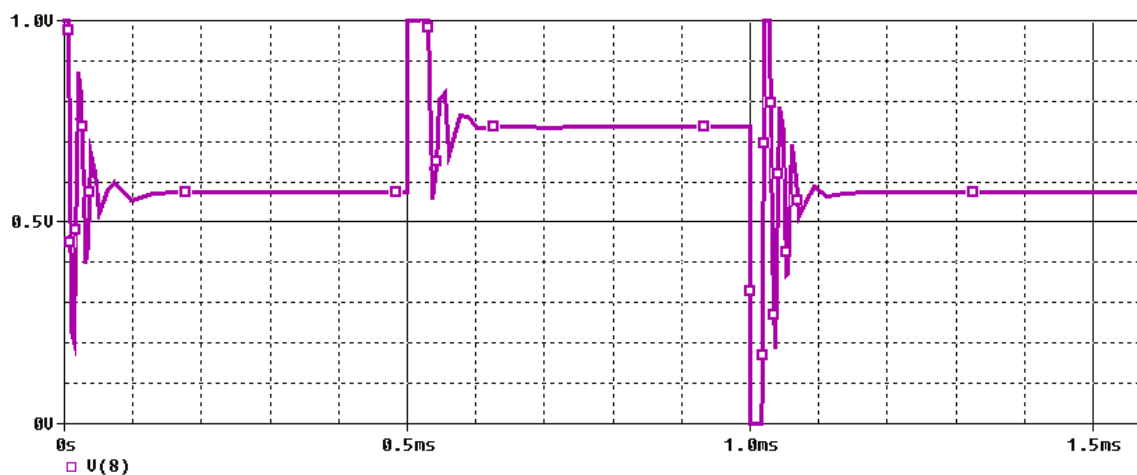


Ilustración 167: Ciclo de trabajo.

Podemos observar como el ciclo de trabajo se estabiliza al inicio y después de variar la carga, manteniendo el voltaje de salida en 8 V. Se puede

ver claramente que la resistencia en paralelo se añade a los 0,5 ms ya que se producen oscilaciones en el ciclo de trabajo y la intensidad se duplica. Cuando se alcanza 1 ms se retira nuevamente provocando oscilaciones nuevamente y se reduce la intensidad.

Bibliografía

- [1] M. Rojas, “Revista de iluminación online”, 2014. [En línea]. Disponible en: www.iluminet.com/historia-del-led.
- [2] V. García, “Diario Electronico” 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.diarioelectronico hoy.com/blog/el-transistor-mosfet>
- [3] G. W. Neudeck. “El transistor bipolar.” 2ª edición. Addison-Wesley Iberoamericana, 1994.
- [4] Y. Wang, J. M. Alonso, y X. Ruan, “TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS”, vol. 64, no. 7, jul. 2017.
- [5] M. H. Rashid. *Microelectronics Circuits: Analysis and Desing*. Ed. Cengage Learning, abril, 2010.
- [6] “Ledavance” [En línea]. Disponible en: <https://www.ledvance.es/index.jsp>.
- [7] “MecatronicaLATAM”, 2019. [En línea]. Disponible en: www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/electronica/componentes-electronicos/diodo/diodo-led/
- [8] “Practical Heat Sink Design for Illumination. Lumileds” [En línea]. Disponible en: <https://www.lumileds.com/uploads/747/WP31-pdf>.
- [9] “LUMILEDS. Lumen maintenance of white luxeon power light sources” [En línea]. Disponible en: <https://www.lumileds.com/technology/luxeon-technology/lumen-maintenance-and-reliability>.»
- [10] “Upsbatterycenter”, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.upsbatterycenter.com/blog/led/>
- [11] A. AHMED. “Power electronics for technology”. Ed. Prentice Hall, 1999
- [12] “Motorpasión”, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/audi/tras-las-luces-led-el-rayo-laser-de-audi>
- [13] “Visual led”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://visualled.com/glosario/led-dip/>
- [14] Luis Carlos, “Revista de iluminación”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.auto10.com/reportajes/faros-laser-como-funcionan/5708>
- [15] S. Fernandez, “Xataka”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.xatakamovil.com/otras/foxconn-invierte-microled-vista-puesta-futuros-iphone>

- [16] “Espectro electromagnético” [En línea]. Disponible en:
<https://astrojem.com/teorias/espectroelectromagnetico.html>
- [17] “HELLA” [En línea]. Disponible en:
<https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Iluminacion/Piloto-de-senalizacion-del-coche-523/> <https://www.xatakamovil.com/otras/foxconn-invierte-microled-vista-puesta-futuros-iphone>
- [18] C. Alfaro, “Senati”, 2017. [En línea]. Disponible en:
www.slideshare.net/luisencoral/faros-y-focos-nomenclaturas
- [19] S. Viñuela, “Autobild”, 2017. [En línea]. Disponible en:
<https://www.autobild.es/noticias/bmw-laserlight-precios-espana-242991>
- [20] Hella, “LA TECNOLOGIA DE LA LUZ. CONOCIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL PROFESIONAL DEL TALLER.” 2011.
- [21] Jörg Wallaschek, Donald D. Hoffman, Peter Boyce, Burkard Wördenweber “Automotive Lighting and Human Vision”, Springer, 2007.
- [22] Estudio RACE, “Iluminación del automóvil” [En línea]. Disponible en: www.race.es/
- [23] T. L., Floyd, “DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS,” 8th ed., Madrid, España, Pearson, p. 141, 2008.
- [24] “Filtrado y fuentes reguladas. Apuntes de clase del profesor J. D. A. Peña del departamento de Ingeniería Electrónica y Automática de la Escuela Politécnica Superior de Jaén”.
- [25] LUTRON. “Dimming LEDs via PWM and CCR”, November, 2016.
- [26] D. W. Hart, “Introducción a la electrónica de potencia”, Madrid: Prentice Hall, 2001.
- [27] H.J.Zang, “Modelado y diseño de compensación de lazo en fuentes de alimentación conmutadas (Parte 1)”, Rev.Española electrónica, no.731, pp.96-101, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/77632666-Modelado-y-diseno-de-compensacion-de-lazo-en-fuentes-de-alimentacion-conmutadas.html>
- [28] “OSRAM. Package-related thermal resistance of LEDs” [En línea]. Disponible en:
www.osram-os.com
- [29] “Ficha técnica LT3746” [En línea]. Disponible en:
<https://www.analog.com/en/products/lt3746.html>

- [30] “Ficha técnica MAX16834” [En línea]. Disponible en:
<https://www.maximintegrated.com/en/products/power/led-drivers/MAX16834.html>
- [31] “Ficha técnica LC75843” [En línea]. Disponible en:
<https://www.digikey.ca/en/products/detail/onsemiconductor/LC75843UGAGEVB/5892413>
- [32] “Texas Instruments. LED lighting” [En línea]. Disponible en:
<https://www.webench.ti.com/>
- [33] “STMicroelectronics. LED lighting” [En línea]. Disponible en: www.st.com/
- [34] “Linear Technology” [En línea]. Disponible en: www.analog.com/
- [35] “Ficha técnica LM317” [En línea]. Disponible en:
<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/LM317-D.PDF>
- [36] “Ficha técnica LM2596” [En línea]. Disponible en:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1596503314071&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.es%252F
- [37] “Ficha técnica XL6009” [En línea]. Disponible en:
<https://datasheetspdf.com/pdf/775384/XLSEMI/XL6009/1>
- [38] “Ficha técnica LM2575” [En línea]. Disponible en:
<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/LM2575-D.PDF>
- [39] “Ficha técnica CL2N3-G” [En línea]. Disponible en:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005448A.pdf>
- [40] “Ficha técnica LM78XX” [En línea]. Disponible en:
<http://ee-classes.usc.edu/ee459/library/datasheets/LM7805.pdf>
- [41] K74, “Fullcustom”, 2005. [En línea]. Disponible en:
<http://www.fullcustom.es/guias/instalacion-diodos-led>
- [42] “Ficha técnica LW-G6SP-TYP” [En línea]. Disponible en:
<https://www.infinite-electronic.ae/datasheet/fd-LW-G6SP-EAFA-JKQL-1-Z.pdf>
- [43] E. F. Schubert, “Light-Emitting Diodes.” Cambridge University Press, 2006.
- [44] J. G. Velasco, “Energías renovables”, Editorial Reverte, 2009.
- [45] On semiconductor, “Led lighting solutions” [En línea]. Disponible en:
www.onsemi.com

- [46] [En línea]. Disponible en:
http://www.iuma.ulpgc.es/~roberto/asignaturas/EI/transparencias/EI_Tema_3.2.Transistor_potencia.pdf

- [47] BLED, “Barcelona led blog”, 2016. [En línea]. Disponible en:
<https://www.barcelonaed.com/blog/informacion-led/luz-led-blanca-calida-fria-o- neutra/>

- [48] “Maxim Integrated” [En línea]. Disponible en:
<http://www.datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX16834.pdf>

- [49] Y. Benkler, El Pingüino y el Leviatán: Por qué la cooperación es nuestra arma más valiosa para mejorar el bienestar de la sociedad, 2012.

- [50] L. Pérez, “Regulación PWM”, 2017. [En línea]. Disponible en:
<https://luipermom.wordpress.com/2017/08/19/que-es-la-regulacion-mediante-pwm/>