



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS**

Proyecto Integrador

Vidrio electrocrómico para evitar
el deslumbramiento del conductor

Que para obtener el título de

Ingeniero en Sistemas Automotrices

Presenta:

Bailon Santiago Juan Daniel

Godínez Pérez Manuel Alejandro

Asesores:

Dra. Blanca Rosa Briseño Tepepa

Dr. Ottmar Raúl Reyes López

M. en H. Sandra Martínez Solís



Ciudad de México, a 24 mayo del 2022



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS**

Proyecto Integrador

Vidrio electrocrómico para evitar
el deslumbramiento del conductor

Que para obtener el título de

Ingeniero en Sistemas Automotrices

Presenta:

Bailon Santiago Juan Daniel

Godínez Pérez Manuel Alejandro

Asesores:

Dra. Blanca Rosa Briseño Tepepa

Dr. Ottmar Raúl Reyes López

M. en H. Sandra Martínez Solís

Presidente del Jurado

Profesor Titular



Dr. Armando Fabián Lugo Peñalosa

M. en C. Fernández Nava Cecilia



Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Bailon Santiago Juan Daniel
(se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los
derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Vidrio electrocrómico
para evitar el deslumbramiento del conductor

_____, en adelante “La Tesis” y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio
del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal
del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN,
autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente
en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta
directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA “La Tesis” por un periodo de 5
años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará
automáticamente en caso de no dar aviso expreso a “El IPN” de su terminación.

En virtud de lo anterior, “El IPN” deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de
“La Tesis”. Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y
patrimoniales de “La Tesis”, manifiesto que la misma es original y que la presente
autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de “La Tesis”, por lo
que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de “La Tesis” o
la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos
industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de
propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de
cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 24 de mayo de 2022

Atentamente



Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Godínez Pérez Manuel Alejandro (se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Vidrio electrocrómico para evitar el deslumbramiento del conductor

_____, en adelante “La Tesis” y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA “La Tesis” por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a “El IPN” de su terminación.

En virtud de lo anterior, “El IPN” deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de “La Tesis”. Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de “La Tesis”, manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de “La Tesis”, por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de “La Tesis” o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 24 de mayo de 2022

Atentamente

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecemos a la vida, que nos permite seguir adelante con nuestros planes y proyectos, que nos unió como alumnos y amigos permitiéndonos converger actualmente.

Agradecer a todas las personas que han creído en nosotros a lo largo de nuestra trayectoria universitaria, hoy cargamos sus sentimientos en esta etapa final esperando seguir poniéndolos orgullosos de nuestros logros futuros. Así mismo a las personas que ahora no están, ya que, en este periodo de tiempo, la pandemia mundial del COVID 19 nos arrebató a colegas, amigos y profesores muy cercanos, que con mucho cariño recordaremos y llevaremos en nuestros corazones.

Agradecer nuestras familias que nos brindaron apoyo incondicional durante todo este tiempo, dando nos ánimos y esperando pagarles pronto el recibo de luz por todas las noches en vigilia que estuvimos.

A nuestros asesores que siempre nos guiaron a lo largo del proyecto, por el tiempo que nos destinaron y sobre todo por la oportunidad que nos brindaron al poder ser parte de este proyecto.

Finalmente, a las personas que colaboraron indirectamente en el proyecto, como nuestros amigos, profesores e Ingenieros, quienes nos ayudaban a relajarnos o nos aconsejaron en algún momento.

Y sobre todo al Instituto Politécnico Nacional el cual nos abrió las puertas para obtener una vida profesional. A los grandes profesores que tienen las unidades académicas de ESIME y UPIITA que nos impartieron el conocimiento necesario para hacer todo esto posible.

Bailon Santiago Juan Daniel

Godínez Pérez Manuel Alejandro

Índice

Lista de acrónimos, variables y términos usados	VIII
Abstract	IX
Resumen	X
Objetivos	1
Objetivo General	1
Objetivos específicos	1
Introducción	2
Capítulo 1	5
Marco teórico	5
Antecedentes.....	8
Biosensor electrocrómico	8
Vidrios estáticos y dinámicos.....	8
Contribución al desarrollo de nuevas ayudas electroópticas en rehabilitación visual	9
Optimización de la visión ante el deslumbramiento.....	9
Capítulo 2	11
Planteamiento del problema	11
Propuesta de solución	12
Requerimientos del sistema	13
Alcance del proyecto	14
Capítulo 3 Diseño de sistema	16
Diseño de vidrio electrocrómico	16
3.1 Método con procesos químicos	17
3.2 Diseño de vidrio con material electrocrómico	18
3.2.1 Azul de Prusia	18
3.2.2 Trióxido de Tungsteno con óxido de titanio	21
3.2.3 PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal)	28
3.3 Diseño de fuente de alimentación	30
3.3.1 Regulador CD a CD	30
3.3.2 Convertidor CD a CA	33
Capítulo 4 Especificación de sistema	45
Capítulo 5 Simulación.....	52

Capítulo 6 Desarrollo del sistema	56
6.1 Resultados de convertidor	63
Capítulo 7 Pruebas	67
7.1 Resultados de manejo con película electrocrómica de día.	70
7.2 Resultados de manejo con película electrocrómica de noche.	71
Conclusiones	73
Trabajos futuros	75
Referencias	76
Apéndice A Lista de materiales para Mini PCB a 70V	80
Apéndice B Hoja de datos técnicos de transistor IRFZ44N	81
Apéndice C Hoja de datos técnicos de Im555 timer	89
Apéndice D Hoja de datos técnicos de LDR	93
Apéndice E Hoja de datos técnicos de LM2596	95
Apéndice F Hoja de datos técnicos de la película PDLC	99

Índice de figuras

Figura 1. Comparativa de consumo energético según tipo de vidrio [11]	9
Figura 2. Metodología V	12
Figura 3. Etapas expresadas en diagrama de bloques	13
Figura 4. A) Película a 2V, B) Película a 1V, C) Película a 0V [22]	20
Figura 5. Método spray pirolisis [19]	22
Figura 6. Equipo para la deposición de películas por spray pirolisis.[19].....	23
Figura 7. Vidrio electrocrómico con WO ₃ -TiO ₂ [25]	27
Figura 8. Diseño de fuente con LM7805 [29]	31
Figura 9. Fuente reguladora con LM317T [30]	31
Figura 10 Componentes internos de 555[29]	35
Figura 11 Funcionamiento en estado alto [29].....	36
Figura 12 Drenado de corriente [29]	37
Figura 13. Generador de onda cuadrada [30]	45
Figura 14. Diagrama de carga y descarga del capacitor [31]	46
Figura 15. Pulso en alto de transistor Q2	47
Figura 16. Pulso en bajo de transistor Q3	48
Figura 17 Circuito del inversor	52
Figura 18 Simulación de transformador	53
Figura 19 Simulación con luz cerca	54
Figura 20 Simulación con luz lejos	54
Figura 21 Simulación de circuito vista superior	55
Figura 22 Simulación de circuito vista lateral	55
Figura 23 Modelado de pistas con componentes	56
Figura 24 Placa fenólica con pistas y perforaciones	57
Figura 25 Placa fenólica después de sumergir en cloruro de hierro	57
Figura 26 Componentes marcados sobre placa fenólica	58
Figura 27 Placa fenólica con componentes soldados	58
Figura 28 Pruebas antes de cerrar carcasa de protección	59
Figura 29 Circuito dentro de carcasa de plástico cerrada	59
Figura 30 Distribución de fusibles	60
Figura 31 Fusible de 7.5 amperes en la caja de fusibles	60
Figura 32 Montaje de circuitos en vehículo	61
Figura 33 Paso de cable por pilar delantero	61
Figura 34 Paso de cable por pilar delantero izquierdo	62
Figura 35 Montaje de switch	62
Figura 36 Onda cuadrada a la salida del pin 3 del CI 555	65
Figura 37 Funcionamiento de fotorresistencia ante luz natural	67
Figura 38 Fotorresistencia con luz artificial	68
Figura 39 Película totalmente transparente.....	68
Figura 40 Película electrocrómica respondiendo a intensidad luminosa en sensor	69
Figura 41 Manejo sin tecnología electrocrómica	70

Figura 42 Manejo con tecnología electrocrómica	70
Figura 43 Película en ausencia de luz artificial	71
Figura 44 Sistema actuando con sensor opacando cierto grado la película	71
Figura 45 Sistema apagado	72
Figura 46 Sistema encendido con ausencia de deslumbramiento a los ojos del conductor	72

Lista de acrónimos, variables y términos usados

ACRÓNIMO	TÉRMINO
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
M	Molaridad
n	Numero de moles
v	Volumen
m	Masa
PM	Peso molecular
Nm	Nanómetro
WO ₃	Trióxido de tungsteno
TiO ₂	Dióxido de titanio
Electro-óptica	Modificación óptica mediante campo eléctrico

Abstract

The aging of the population is increasing, as well as the development of alterations that progressively decrease the visual capacity. Diseases of the retina and optic nerve usually affect patients from 20 to 60 years old, this has been a problem when driving, vision is the main skill for proper driving of the vehicle. The use of filters to eliminate wavelengths becomes beneficial for all types of people, essentially for those who are sensitive to sudden changes in light, a commercial solution is photochromic lenses, when perceiving ultraviolet radiation change coloration, however, do not work properly where radiation does not exist or is filtered, such is the case with the interior of most vehicles.

The following paper presents the development of a prototype which aims to avoid the glare of vehicle drivers after the exit of tunnels or in grazing paths due to the sudden change of luminosity, as well as other reflection factors that prevent correct visibility, such as the reflection of glass in buildings, vehicle headlights. The prototype consists of electrochromic technology, where light sensors will be implemented. In this way, the sensors vary the opacity of the glass automatically.

Key words: Driver, dazzle, brightness, Electrochromic technology.

Resumen

El envejecimiento de la población va en incremento, así como el desarrollo de alteraciones que disminuyen progresivamente la capacidad visual. Enfermedades de la retina y nervio óptico generalmente afectan a pacientes de 20 a 60 años, esto ha resultado un problema a la hora de conducir, ya que la visión es el principal medio para una correcta conducción del vehículo. El uso de filtros con el fin de eliminar longitudes de onda llega a ser beneficioso para todo tipo de personas, esencialmente para quienes son sensibles a los cambios bruscos de luz, una solución comercial son los lentes fotocromáticos, los cuales, al percibir radiación ultravioleta cambian de coloración, sin embargo, no funcionan correctamente donde la radiación no existe o es filtrada, tal es el caso del interior de la mayoría de los vehículos.

El siguiente escrito presenta el desarrollo de un prototipo el cual pretende evitar el deslumbramiento de los conductores de vehículos tras la salida de túneles o en veredas de rozante por el cambio repentino de luminosidad, así como otros factores de reflejo que impidan la correcta visibilidad, como el reflejo de cristales en edificios, luces frontales de vehículos. El prototipo consta de tecnología electrocrómica PDLC, donde se implementaron sensores lumínicos. De esta manera, los sensores varían la opacidad de la película de manera automática cuando detecten algún factor de deslumbramiento que afecte al manejo correcto del conductor.

Palabras clave: Conductor, deslumbramiento, luminosidad, tecnología electrocrómica.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo funcional de tecnología electrocrómica, para evitar el deslumbramiento de los conductores al momento de conducir durante el ocaso y conducción nocturna.

Objetivos específicos

- Investigar el funcionamiento y proceso sobre la tecnología electrocrómica.
- Investigar el comportamiento de los conductores ante el escenario de deslumbramiento.
- Implementar un vidrio electrocrómico con sensores de detección de luz.
- Diseñar y construir un circuito que permita la regulación de la tecnología electrocrómica.

Introducción

A nivel mundial se estima que hay 1300 millones de personas que viven con alguna forma de deficiencia visual. La causa principal son los errores de refracción no corregidos.

El deslumbramiento se origina cuando en el campo visual aparece una fuente luminosa superior a la general. Esto produce una *miosis*¹ máxima y es una molestia visual transitoria.[1]

Los accidentes vehiculares, en su mayoría, se deben a factores relacionados con el conductor, mejor conocido como factor humano, los cuales pueden ser fatiga, distracción, cansancio, uso de celular, fumar, tareas simultáneas al momento de conducir o desatención. Sin embargo, existen otros factores que provocan colisiones, ejemplo de ello es la mala pavimentación del camino, algún agente natural y/o fallas mecánicas del vehículo. De acuerdo con el anuario estadístico de accidentes en carreteras federales (2019), los estados de Coahuila, Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Veracruz y Zacatecas han presentado accidentes a causa del deslumbramiento del conductor. [2]

Con las nuevas tecnologías que se presentan en la industria automotriz y los avances en la química se han desarrollado vidrios hechos de materiales capaces de evitar el deslumbramiento y así evitar accidentes viales, un ejemplo claro de ello, son los vidrios electrocrómicos. Un vidrio electrocrómico es un dispositivo capaz de disminuir el paso de luz aplicando una corriente eléctrica a través de él, esto permite oscurecer u opacar hasta cierto grado un vidrio y así poder evitar el deslumbramiento del conductor.

La tecnología electrocrómica sigue siendo un campo de investigación y desarrollo que no se ha explorado por completo además muchas personas no tienen el conocimiento sobre ella y, desde su invención en el año 1970, ha tenido muy pocas aplicaciones. Sin embargo, puede representar una mejora para muchas personas en el ámbito de seguridad y confort.

En los últimos años se ha retomado el electrocromismo dentro de la industria, especialmente en la construcción, donde se han implementado ventanas inteligentes, las cuales pueden regularse de manera automática o manual específicamente de un tono nítido a otro 100%

¹ Contracción excesiva del tamaño la pupila.

opaco. Dentro de la industria automotriz se han implementado retrovisores con esta tecnología, sin embargo, no son equipados en unidades fabricadas en serie, son exclusivos en vehículos de alta gama como la premium, debido a que se comercializa en países extranjeros y se conoce muy poco de este producto.

Ante el panorama mencionado cabe resaltar la conveniencia de diseñar y elaborar un vidrio electrocrómico el cual al regularse de manera automática dependiendo de la intensidad luminosa evitando oscurecer un 100% el vidrio, ayudando así a los conductores a tener una mejor experiencia de manejo evitando accidentes con esta innovación, además de cumplir con el reglamento de tránsito, esto debido a que no siempre serán opacos los vidrios.

La innovación que se plantea en el presente trabajo es un prototipo funcional el cual consta del uso de tecnología electrocrómica que se oscurezca del 12% al 40% de su tonalidad de manera automática con la ayuda de sensores de luz que detecten la intensidad luminosa en el ambiente para evitar el deslumbramiento del conductor.

Con este proyecto se busca mejorar la experiencia al conducir debido a que la visión es un factor de seguridad para tener en cuenta ya que es el principal medio de operación entre el automóvil y la persona.

Parte 1

Panorama General

Capítulo 1

Marco teórico

Electrocromismo

El electrocromismo se comprende como un cambio reversible de las propiedades ópticas de un material mediante los procesos de oxidación y reducción. [3]

Vidrio electrocrómico

A lo largo del presente proyecto se explicará de forma detallada que es un vidrio electrocrómico, así como su estructura y funcionamiento, sin embargo, de forma general un vidrio electrocrómico es aquel material que tiene la capacidad de cambiar de color y/u opacidad al aplicar una pequeña corriente eléctrica, generando una diferencia de potencial en sus extremos.[4]

Deslumbramiento.

Es una molestia visual provocada por un exceso de luz mayor que a la luminancia a la que se adaptan los ojos provocando una disminución en las facultades visuales de acuerdo con el suceso que lo provoca. Puede suceder durante el día o la noche por diferentes causas.

Deslumbramiento en conductores.

Disminuye la detección de objetos en el camino como a peatones y reduce la probabilidad de estímulos como es la posibilidad de maniobrar de manera adecuada. El deslumbramiento nocturno incrementa la posibilidad de sufrir un accidente.[5]

La fuente de alimentación

Se encarga de convertir la entrada de tensión alterna de la red en una tensión continua y consta de varias etapas, las cuales son: Transformación, rectificación, filtrado y regulación.

Reguladores lineales

Controlan la tensión de salida ajustándola continuamente gracias a un transistor de potencia conectado en serie entre la entrada y la salida; donde el nivel de tensión a la entrada siempre debe ser superior a la de la salida.

Fuentes conmutadas

Utilizan un transistor en la zona de corte y saturación, esto logra convertir la tensión de entrada en una señal cuadrada.[6]

Transformador

Es un componente eléctrico de inducción que transforma un sistema primario de corriente alterna en otro sistema de tensión a otra intensidad, por lo general de diferentes valores, mediante dos bobinas enrolladas alrededor de un núcleo o centro común. El núcleo se forma por una serie de láminas de hierro. Al aplicarle una corriente, se genera un flujo magnético que circula a través del núcleo de hierro, este flujo conduce fuerzas electromotrices variables en los enrollamientos, cuya magnitud es proporcional al número de espiras de cada bobina.[7]

Sensor de Luz

Los sensores de luz o LDR como se les conoce más comúnmente, se construyen a partir de unos componentes selenio, sulfuro de cadmio o sulfuro de plomo que se caracterizan por variar su resistencia en función de la luz que reciben. tiene una respuesta espectral o sensibilidad en el margen de longitudes de onda de luz desde luz infrarroja, luz visible incluso ultravioleta.[8]

Composición de un vidrio electrocrómico

Cuando se habla de un vidrio electrocrómico se entiende como la composición de ciertos materiales con capacidad de cambiar de color al variar la diferencia de potencial eléctrico que se les suministra.

Las longitudes de onda visible por el ojo humano son entre 380 y 850 nm, cuando las ondas inciden sobre una superficie, algunas son reflejadas, otras absorbidas y el resto son transmitidas a través de esta, si ninguna de las longitudes de onda está dentro del rango visible, no se percibe cambio alguno y el material resulta transparente, si se percibe alguna absorción dentro del rango visible, se genera lo que se percibe como color.

La fabricación de un vidrio electrocrómico se compone de esencialmente 7 capas las cuales son:

- 1- Lámina transparente
- 2- Conductor transparente (ITO)
- 3- Material electrocrómico
- 4- Conductor iónico (electrolito)
- 5- Material electrocrómico
- 6- Conductor transparente (ITO)
- 7- Lámina transparente

Estas capas interactúan de forma que al aplicar un potencial eléctrico positivo a manera de inducir su oxidación o un potencial eléctrico negativo para inducir a su reducción, se observará un cambio de color, dependiendo del material electrocrómico usado, el cambio de color se da debido a cambios en la estructura electrónica del material que consiste en la generación de nueva distribución de niveles electrónicos ocupados y desocupados así como una nueva distancia energética entre los mismos, esto da lugar a un cambio en la energía mínima que debe poseer los fotones para ser absorbidos, lo que hace que la radiación no absorbida que atraviesa el material posea un color diferente dando lugar a un cambio en la *densidad óptica*². [9]

² Grado en que un medio refractivo retrasa los rayos de luz transmitidos

Antecedentes

En este capítulo, se presentan modelos tecnológicos relacionados al prototipo que presenta este escrito, mencionando la aplicación e implementación en cada uno de ellos. A continuación, se muestran las investigaciones encontradas que permiten sustentar la propuesta de solución, además muestra los proyectos que actualmente se han comercializado.

Biosensor electrocrómico

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIS) en Madrid realizó una investigación para obtener el cambio de color del material electrocrómico elaborando un biosensor conformado por un ánodo conteniendo una enzima inmovilizadora, un medidor redox, y un cátodo con una molécula electrocrómica, puede estar contenida en forma de gel o de membrana permeable, funciona cuando se deposita un analito oxidación/reducción enzimática que genera un flujo de electrones cerrando el circuito cambiando de color el material electrocrómico y que a su vez manda información al usuario de la presencia del analito contenido en la muestra.[10]

Vidrios estáticos y dinámicos

En la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona se desarrolló una tesina para llevar a cabo la comparación en eficiencia de vidrios dinámicos y estáticos los cuales constan de vidrios electrocrómicos, mismos que han sido una nueva aplicación en la construcción. Se realizó una comparación de acuerdo con un tipo de vidrio diferente en las oficinas de un edificio, llegando a la conclusión que los vidrios electrocrómicos ayudan a protegerse de los rayos UV y disminuyen la temperatura. Además de tener otras ventajas sobre los otros vidrios utilizados. La Figura 1 muestra la comparación en el ahorro energético obtenido por la escuela técnica superior de arquitectura de Barcelona, la cual muestra que los vidrios electrocrómicos producen un ahorro de energía mayor comparado a vidrio doble con persianas manuales. [11]

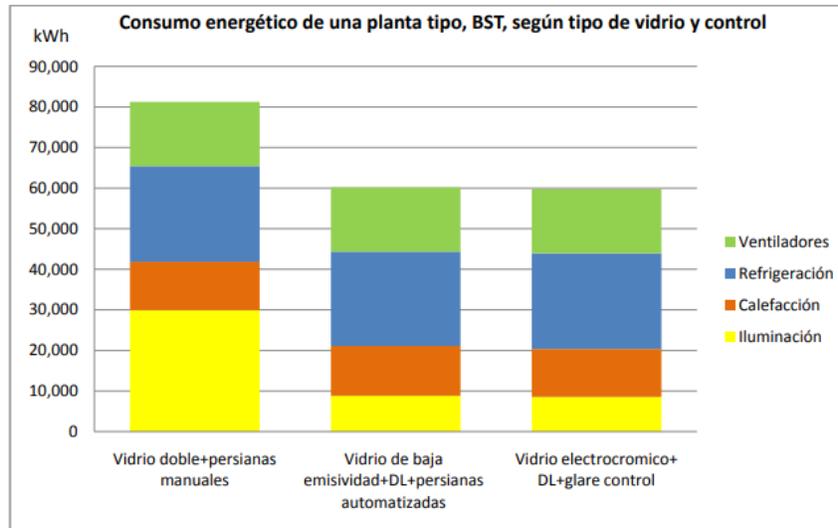


Figura 1. Comparativa de consumo energético según tipo de vidrio [11]

Contribución al desarrollo de nuevas ayudas electroópticas en rehabilitación visual

En la Universidad Carlos III de Madrid en España se desarrolló una tesis Doctoral donde se afirma que la tecnología foto crómica utilizada en lentes, no es factible en lugares donde la radiación ultravioleta no es percibida, además de su baja velocidad de conmutación. Es por ello por lo que se desarrolló la integración de tecnología electrocrómica, así como electrónica, en una montura de gafas convencionales con el objetivo de maximizar los tiempos de respuesta contra los de lentes fotocromáticos, ayudando así a la visión de las personas.[12]

Optimización de la visión ante el deslumbramiento

La Universidad de Valladolid, Facultad de Ciencias fundamentó una tesina para evaluar y reducir el deslumbramiento en la conducción nocturna de los jóvenes, el estudio se realizó con una muestra de 22 sujetos y demostró que la miosis ocular se relaciona con el deslumbramiento al no usar filtros, del mismo modo, la agudeza visual en condición mesópica³ aumenta con el deslumbramiento y se reduce en condiciones de alta iluminación.[13]

³ Visión intermedia, no es completamente oscura, tampoco luz de un día con pleno sol, es una luz artificial

Gracias a los antecedentes que se tienen sobre la tecnología electrocrómica y las aplicaciones específicas de cada uno de estos, se da un punto a favor al usar este tipo de tecnología dentro de un vehículo evitando el deslumbramiento de los conductores, así mismo en este apartado se han estudiado las ventajas que tienen los vidrios y películas electrocrómicas, como lo son un ahorro de energía al filtrar energía solar al interior del habitáculo, maximiza los tiempos de respuesta a comparación de lentes fotocromáticos que son los utilizados comercialmente, una mejor respuesta ante los deslumbramientos presentes a lo largo del día recibidos por el ojo humano.

Capítulo 2

Planteamiento del problema

La visión es el 90% de la habilidad al conducir, la cual es de suma importancia para realizar una buena ejecución, existen diferentes factores de riesgo que influyen en la calidad de visión en los conductores, como la edad, conducir por largas horas sin descanso previo o las enfermedades oculares. Pero se ignoran otros como la conducción nocturna, la intensidad lumínica y el deslumbramiento.[14]

El deslumbramiento es un peligro importante para la conducción provocando la pérdida de los estímulos visuales. El tiempo promedio de recuperación al deslumbramiento es de 24.09 segundos, aunque varía de acuerdo con cada persona en un rango de 15 a 35 segundos. Con solo 5 segundos de distracción y/o pérdida visual al manejar, es suficiente para ocasionar un accidente, a una velocidad de 80km/h un conductor recorre “a ciegas” una distancia de 112 metros, prácticamente la longitud de un campo de fútbol.[15]

El deslumbramiento es un problema al que se enfrentan algunas personas durante la conducción, el cual puede manifestarse durante las horas de luz solar o durante la noche con vías fuertemente iluminadas o durante la conducción mesópica que es la luz natural en los crepúsculos matutino y vespertino, o con luz artificial atravesando túneles iluminados y vías insuficientemente iluminadas por la luz de los faros del vehículo.

Una solución a esta problemática puede ser la colocación de vidrios polarizados; sin embargo, según el reglamento de tránsito de la Ciudad de México, el utilizarlos genera multas de hasta 2 mil 400 pesos o lo equivalente a 20 salarios mínimos.[16]

Por ello resulta conveniente realizar un vidrio electrocrómico pues únicamente se oscurecerá cuando exista un haz de luz que deslumbre al conductor y en su estado natural se tornará transparente.

Propuesta de solución

La metodología en la que se basa la elaboración del proyecto es la que se muestra en la figura 2, gracias a esto se da un enfoque de las actividades generales a realizar, las cuales se describen a continuación.

Ingeniería de requisitos: Se delimitó el uso y aplicación para la cual será diseñado el vidrio electrocrómico.

Diseño del sistema: Se realizaron matrices morfológicas las cuales fueron de gran ayuda en la elección óptima para el diseño deseado.

Especificación de sistema: Con el diseño electo, se procedió a realizar la integración de los componentes para la creación de un sistema específico para el vidrio con tecnología electrocrómica.

Pruebas de integración: Una vez diseñado el sistema se llevó a cabo la simulación del sistema de los componentes eléctricos en un software.

Verificación del sistema: Se realizó la conformación de manera física de los componentes tomando como referencia los valores y componentes utilizados en la simulación.

Validación del sistema: Con el sistema unido, se realizan las pruebas en las que toman notas y se comprobó que el sistema funciona correctamente conforme a los objetivos planteados.

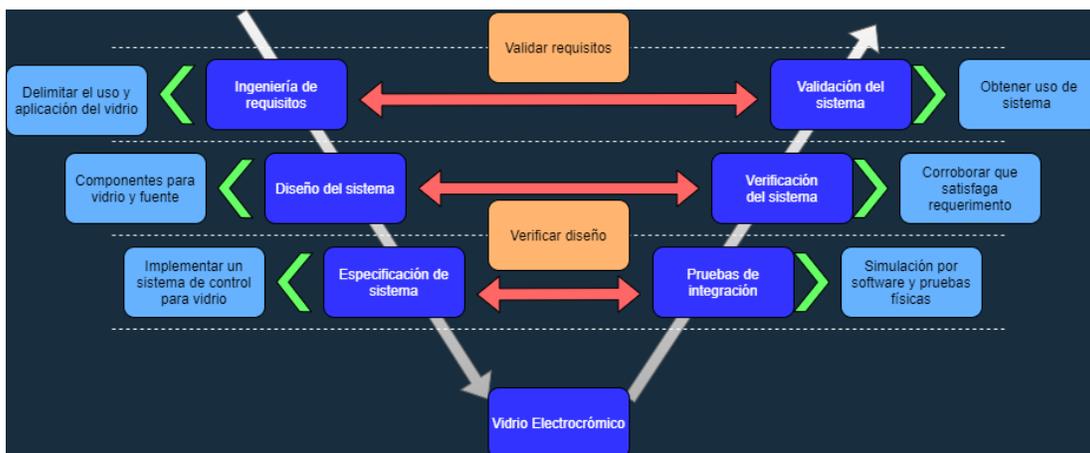


Figura 2. Metodología V

Fuente: Elaboración propia tomando información de [17]

Se desarrolló un prototipo, el cual cuenta con tecnología electrocrómica capaz de oscurecer el vidrio dependiendo de la luz recibida mediante un sensor fotoeléctrico de luz ambiental, según del haz de luz recibido por el sensor luminoso, regula el voltaje proveniente de la fuente conmutada causando la oxidación o reducción en el vidrio electrocrómico y de esta manera dar la claridad u opacidad necesaria. Como se muestra en el diagrama de bloques expresado en la figura 3.



Figura 3. Etapas expresadas en diagrama de bloques

Fuente: Elaboración propia tomando elementos de [18]

Requerimientos del sistema

El sistema será capaz de ayudar al conductor a evitar los deslumbramientos sin perder la percepción del camino, se usó una fuente reguladora de voltaje obteniendo 12 V en corriente directa constantes y no de 11 V a 15 V en corriente directa que suele manejar la batería de un vehículo, los cuales a través de una etapa de potencia convertirán el voltaje de CD a un voltaje de CA la cual estará controlada mediante un sensor luminoso que variara el voltaje que le llegue al dispositivo electrocrómico permitiendo cierto grado de opacidad donde su opacidad máxima será del 60%.

Alcance del proyecto

Con este proyecto se pretende lograr una mejora en la conducción del piloto en situaciones que la vista se vea comprometida a fallar debido a factores de deslumbramiento, como lo son luces de vehículos en flujo contrario cuando se maneja en un horario nocturno, reflejos de alta intensidad luminosa, posición del sol en horarios de ocasos y salidas de túneles, se pretende que con ayuda de tecnología electrocrómica y una fuente capaz de regular la misma, los conductores presenten una satisfacción de confort y seguridad mayor con la que se cuenta en la actualidad.

Con la implementación de tecnología electrocrómica en los cristales de un automóvil, el resultado obtenido es un prototipo, el cual ayuda a evitar el deslumbramiento del conductor donde la zona con la tecnología electrocrómica se opaca del 12% al 60% de su totalidad de manera automática de acuerdo con la intensidad lumínica a la que se exponga, mejorando así la experiencia del conductor ante los escenarios de deslumbramiento mencionados con anterioridad.

Parte 2

Desarrollo

Capítulo 3

Diseño de sistema

Al principio de este proyecto se tenía planteado el desarrollo de un vidrio electrocrómico con las especificaciones y medidas requeridas para un parabrisas o ventana de un automóvil, debido a la situación que se vive en el año 2020-2021 provocada por el COVID - 19 las instalaciones de UPIITA dependiente del Instituto Politécnico Nacional se encuentran temporalmente cerradas, para la experimentación e investigación. Los materiales y equipo necesario para la elaboración particular sin apoyo económico, teórico y práctico de manera presencial, se vuelve muy costoso y complejo, por lo que dificulta la elaboración del vidrio electrocrómico, en el presente escrito se documentan los procesos que son viables para la elaboración de un vidrio con tecnología electrocrómica con diferentes materiales, así mismo los costos a la fecha de la elaboración de este proyecto terminal, así cuando la situación sanitaria se regularice y los laboratorios se encuentren disponibles para el uso de la comunidad estudiantil, pueda realizarse la experimentación, por lo que se deja abierto este documento a trabajos futuros sobre el tema.

Diseño de vidrio electrocrómico

Como se vio anteriormente los materiales necesarios para la elaboración de un vidrio electrocrómico son similares sin importar el tipo de material electrocrómico que se desee usar, para ello se comienza con el uso de una lámina de vidrio o plástico (PET) transparente que funcione como sustrato para la deposición del óxido de indio dopado de estaño, este es un material conductor de iones usado para que el material electrocrómico realice el proceso de oxidación o reducción.

La mezcla de óxido de indio (In_2O_3) dopado de estaño (SnO_2) tiene una proporción de 90% de In_2O_3 y 10% de SnO_2 , es un óxido transparente y semiconductor de tipo n (donador) el cual presenta un band-gap⁴ ancho y con una alta densidad de portadores libres, debido a esto el material posee una alta transmitancia de luz visible de hasta 95% y baja resistencia eléctrica ($1.5 - 2 \times 10^{-4} \Omega/cm$).

⁴ La distancia entre la banda de valencia de los electrones y la banda de conducción.

El óxido de indio dopado de estaño es un material muy utilizado para la realización de películas finas y transparentes en las pantallas de cristal líquido, de tipo LCD, OLED, electrocrómicas, pantallas táctiles, así como su aplicación en celdas solares.

Existen diferentes métodos para la deposición del óxido de indio sobre una superficie, las más comúnmente ocupadas como sustratos son vidrio o plásticos transparentes.

3.1 Método con procesos químicos

En estos procesos, los componentes de un vapor o un líquido reaccionan químicamente cerca de la superficie de un sustrato para formar una película delgada sólida.

Para procesos con vapor, la técnica más usada es el depósito químico en fase vapor (CVD), este proceso consiste en un reactor, dentro del cual se coloca el sustrato, se introducen los gases reactivos, para activar estos gases, se usa un estímulo el cual puede ser temperatura, plasma, radiación electromagnética, entre otros. Este método es muy usado debido a que se pueden depositar una gran variedad de materiales, además de poder controlar la composición de material y preparación de materiales compuestos.

Para los procesos donde se usan elementos en estado líquido el método es conocido como spray pirolisis, esta técnica consiste en pulverizar una solución de sal metálica sobre la superficie de un sustrato caliente, sobre la superficie se lleva a cabo una reacción pirolítica asistida térmicamente, creciendo una película del material. Este método es continuo, es decir, el proceso se realiza en una sola etapa. Una de sus ventajas es el bajo costo y el fácil procesamiento. Aunque la tasa de gasto de solución es muy alta, por lo tanto, se desperdicia mucho material [19]

Este equipo es una herramienta de investigación que se puede encontrar dentro las instalaciones de UPIITA, este cuenta con la calidad y un menor costo que los equipos similares en el mercado, este método es el más viable para el desarrollo de la deposición del óxido de indio.

3.2 Diseño de vidrio con material electrocrómico

Para la segunda etapa en el desarrollo del vidrio electrocrómico, se debe de elegir el material electrocrómico con el que se plantea trabajar, a lo largo de los años se han descubierto materiales que cuentan con la propiedad electrocrómica, un punto a tomar en cuenta es que los métodos de deposición resultan ser costosos y complejos debido a la falta de investigación en este tipo de tecnología, dentro de este escrito se describen procesos los cuales son candidatos a ser investigados para la experimentación, sin embargo la situación medica que se vive en el año 2020-2021 dificulta la investigación y compra de los materiales para la experimentación así como el uso de laboratorios e investigación presencial.

3.2.1 Azul de Prusia

El material azul de Prusia es el primer pigmento sintético artificial, el cual fue descubierto por Diesbach en Berlín en 1704, Diesbach accidentalmente descubrió este material mientras experimentaba con óxido de hierro, en un principio este pigmento fue usado en pinturas principalmente.

En el año de 1978 fue reportado por primera vez que las películas de azul de Prusia pueden cambiar de color mediante la reducción y oxidación de este, si bien las películas no se usaban para tecnología electrocrómica gracias a las propiedades podía ser usado como intercambiador de iones, electrocatalítico y propiedades fotomagnéticas. [20]

Los métodos usados para la creación de películas de azul de Prusia son deposición electroquímica y deposición electrolítica.

La preparación eficiente de este material suele ser por el método de deposición química, esto debido a la simplicidad del proceso y el bajo coste.[21]

Los materiales para llevar a cabo este proceso son descritos en la tabla 1:

Tabla 1 Elementos para la elaboración de Vidrio con azul de Prusia [22]

Nombre de la sustancia	Formula química	Adquirir	Precio (MXN)	Cantidad
Ácido clorhídrico	HCL	Sigma aldrich	800	50 ml
Ácido etilendiaminotetraacético	EDTA	Sigma aldrich	662	100 g
Cloruro de potasio	KCL	Sigma aldrich	503	1 L
Ferrocianuro de potasio	$K_4[Fe(CN)_6]$	Sigma aldrich	1316	25 g
Sulfato de hierro	$Fe_2(SO_4)_4$	Sigma aldrich	885	100 g
Vidrio conductor 1 in*1 in	ITO	Sigma aldrich	1582	10 pzs

La preparación del compuesto para la deposición química se divide en 2 soluciones, la primera es una mezcla de 15 ml de 0.1 mol/dm³ de Sulfato de hierro ($Fe_2(SO_4)_4$), 90 ml de agua (H_2O), 0.5 g de Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y 10 ml de 3 mol/dm³ de ácido clorhídrico (HCL). La segunda solución será de 15 ml de 0.1 mol/dm³ de Ferrocianuro de potasio ($K_4[Fe(CN)_6]$), 90 ml de agua (H_2O) y 10 ml de 3 mol/dm³ de ácido clorhídrico (HCl).

Para la realización de la deposición las sustancias mezcladas se calientan a 60°C, posteriormente, la película de azul de Prusia se hace con la inmersión del vidrio con óxido de indio dentro de la primera solución. El grosor de las películas dependerá de las veces que el sustrato sea inmergido, para una capa de 140 nm el proceso se debe de repetir 20 veces.

Para dar las propiedades electrocromáticas al azul de prusia se debe de realizar la voltamperometría cíclica para ello se usa un equipo especial, puede llegar a ser un el equipo Micro AUTOLAB II el cual contiene 3 electrodos en los cuales, el primero se conecta a el sustrato con la película de azul de Prusia que funcionará como electrodo, en el segundo se

usará un filamento de platino como contraelectrodo y un electrodo saturado de calomelanos⁵ como electrodo de referencia.

El ciclo se lleva a cabo dentro de los rangos potenciales de -0.2 V a $+1.2\text{ V}$ y regresa de nuevo a -0.2 V todo esto mientras está inmerso en la solución de 1 mol/dm^3 de cloruro de potasio (KCL) como electrolito. El voltaje de trabajo del equipo se mide 10 mV/ por cada 1 cm^2 .

Después de este proceso, las propiedades ópticas del azul de Prusia se miden con un espectrómetro, el rango de onda visible varía desde 300 a 900 nm , en el que se puede observar que cuando se le aplica un potencial eléctrico en corriente directa de 2 V cambia de color a verde, con un potencial de 1 V y para que sea transparente es un potencial de 0 V , gracias a esto, la película de azul de prusia logra una transmitancia óptica de 47% para la luz visible como se muestra en la figura 4.

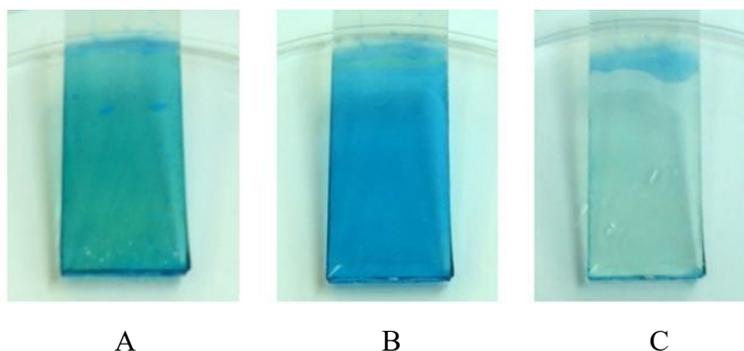


Figura 4. A) Película a 2 V , B) Película a 1 V , C) Película a 0 V [22]

Este elemento es un candidato potencial para funcionar como material electrocrómico, la única desventaja es que debe ser un encapsulado debido a que debe estar inmerso en algún tipo de electrolito (en este caso cloruro de potasio).[22]

⁵ Electrodo de referencia basado en la reacción entre mercurio y cloruro de mercurio

3.2.2 Trióxido de Tungsteno con óxido de titanio

Trióxido de tungsteno (WO_3): Es un semiconductor que se activa bajo la iluminación con luz visible. Puede cambiar su transparencia a un color azul, mediante la oxidación de sus átomos. Mediante la reacción química de oxidación el tungsteno cambia de W+6 a W+5.

Dióxido de titanio (TiO_2): Es un semiconductor que se activa con luz UV, tiene gran estabilidad térmica lo que le permite no ser toxico, es foto químicamente resistente y tiene un potencial de reducción alto; el inconveniente que tiene este material es que presenta una baja actividad sobre la luz visible. Presenta una coloración azul reversible mediante la intercalación de iones.

La coloración se lleva a cabo mediante la intercalación electroquímica de cationes pequeños como H^+ y Li^+ . Este material puede colorarse de forma reversible por medio de la inyección doble de electrones y cationes de forma catódica (WO_3 , Nb_2O_5 , TiO_2). [23]

El método para la elaboración de este diseño es el descrito con anterioridad llamado spray pirolisis, este consiste en depositar una solución compuesta por un precursor de forma automatizada, controlando la temperatura (spray en forma de gotas finas) sobre una superficie, con el objetivo de obtener una reacción permitiendo mejorar y/o modificar las características y propiedades de los elementos, logrando un espesor con valores en nanómetros o micrómetros. Este método es continuo, es decir, el proceso se realiza en una sola etapa. [24]

El proceso general del método de deposición por spray pirolisis se describe a continuación y se muestra en la figura 5. Las gotas están formadas por una solución precursora, la cual estará disuelta en un solvente en fase líquida y serán llevadas a la zona de rocío por medio de una bomba. Durante la trayectoria del precursor las gotas pasarán por un proceso de vaporización. El vapor generado será depositado por medio del aspersor hacia el sustrato, quien será el vidrio con óxido de indio. Produciendo una reacción en fase heterogénea.

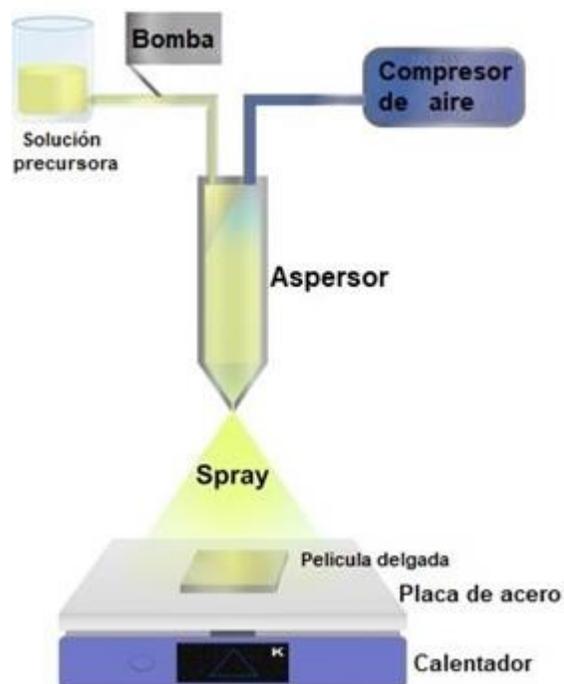


Figura 5. Método spray pirolisis [19]

Los materiales necesarios para la realización de este diseño se muestran en la tabla 2 mostrada a continuación, en la que se describe las cantidades y los precios de cada material.

Tabla 2 Materiales para diseño con Trióxido de Tungsteno y Oxido de Titanio [24]

Nombre de la sustancia	Formula química	Adquirir	Precio (MXP)	Cantidad
Hidrato de metatungstato de amonio	$(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40} \cdot x H_2O$	Sigma Aldrich	2,617	100 g
Dimetilformamida	C_3H_7NO	Fishersci.es	1,621	500 ml
Bromuro de tetrabuttilamonio	$(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NBr_3$	Sigma Aldrich	1,415	25 g
Cloruro de sodio	$NaCl$	Amazon	800	100 g
Nitrato de plata	$AgNO_3$	Sigma Aldrich	747	5 g
Dimetilsulfóxido	$(CH_3)_2SO$	Sigma Aldrich	1,708	100 ml
Polivinil butil	$(C_8H_{14}O_2)_n$	Sigma Aldrich	592	100 g
Sylgard 184 Elastómero	Polidimetilsiloxano	Amazon	3,953	454 g
Agua destilada	H_2O	Mercado libre	290	20 L
Vidrio dopado de óxido de indio (2.5cmx2.5cm)	$In_2O_3(SnO_2)_x$	Sigma Aldrich	3,952	10 Pzs

Para la obtención de la solución precursora se llevaron a cabo los cálculos estequiométricos realizados con el fin de obtener las cantidades aproximadas de los materiales, para la elaboración de un vidrio electrocrómico, mismas que pueden variar dependiendo de las condiciones como temperatura, distancia o superficie del sustrato, así como los instrumentos de laboratorio con los que se cuentan, como el propio equipo de recubrimiento para la deposición de nanomateriales. Como anteriormente se mencionó las instalaciones de UPIITA cuentan con este equipo y se muestra a continuación en la figura 6.



Figura 6. Equipo para la deposición de películas por spray pirolisis.[19]

Solución molar(M): la unidad de medida que se utiliza más en química es el mol. La solución molar se expresa como un mol de soluto disuelto en un litro de solución y se expresa de la siguiente manera:

$$M = \frac{n}{v} \quad (1)$$

Considerando que el número de moles de una sustancia se calcula de la siguiente manera:

$$n = \frac{m}{PM} \quad (2)$$

Sustituyendo la ecuación 2 en la ecuación 1, nos queda:

$$M = \frac{\frac{m}{PM}}{v} \quad (3) \quad \longrightarrow \quad M = \frac{m}{PM * v} \quad (4)$$

Dejando la ecuación 4 en función de la masa:

$$m = M * V * PM \quad (5)$$

La solución precursora se prepara a 0.13 M disuelto en 100 ml de dimetilformamida (disolvente para reacciones químicas (C_3H_7NO), utilizando hidrato de metatungstato de amonio ($(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40} * x H_2O$).[25]

Para ello fue conveniente calcular el gramaje necesario para dicha solución, la cual se describe a continuación:

El peso molecular de esa sustancia es:

$$PM \text{ del } (NH_4)_6H_2W_{12}O_{40} * x H_2O = 2956.30 \left(\frac{g}{mol}\right)$$

De acuerdo con la ecuación 5, el gramaje necesario es:

$$m = (0.13 \frac{mol}{l}) * (0.1 l) * (2956.30 \frac{g}{mol}) = 91.6453 \text{ gramos de } (NH_4)_6H_2W_{12}O_{40} * x H_2O$$

Las sustancias deben mezclarse con un agitador magnético a 1000 rpm.

Puede realizarse un postratamiento térmico para mejorar la cristalinidad de las nanopartículas. La temperatura del postratamiento se fija entre 800 y 1000 °C durante 2h.

Para la preparación del electrolito se debe utilizar los siguientes componentes, del mismo modo la mezcla de los componentes se realiza mediante el proceso de centrifugado.

La preparación de las sustancias se lleva a cabo mediante el mismo procedimiento estequiométrico utilizado con anterioridad aplicando la formula número cinco, esta vez utilizando agua destilada como disolvente.

Para la solución de bromuro de tetrabuttilamonio $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NBr_3$ [25]

Se prepara la solución con una molaridad de 2.5 mmol disuelto en 900 ml

Para ello fue conveniente calcular el gramaje necesario para dicha solución, la cual se describe a continuación:

El peso molecular de esa sustancia es:

$$\text{PM del } (CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NBr_3 = 482.18 \left(\frac{g}{mol}\right)$$

De acuerdo con la ecuación 5, el gramaje necesario es:

$$m = \left(0.0025 \frac{mol}{l}\right) * (.9 l) * \left(482.18 \frac{g}{mol}\right) = 1.0849 \text{ gramos de } (CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NBr_3$$

Para la solución de cloruro de sodio $NaCl$

Se prepara la solución con una molaridad de 0.223 mmol disuelto en 1 L.

Para ello fue conveniente calcular el gramaje necesario para dicha solución, la cual se describe a continuación:

El peso molecular de esa sustancia es:

$$\text{PM del } NaCl = 58.44 \left(\frac{g}{mol}\right)$$

De acuerdo con la ecuación 5, el gramaje necesario es:

$$m = \left(0.000223 \frac{mol}{l}\right) * (1 l) * \left(58.44 \frac{g}{mol}\right) = 0.0130 \text{ gramos de } NaCl$$

Para la solución de nitrato de plata $AgNO_3$ [25]

Se prepara la solución con una molaridad de 0.5 mmol disuelto en 11 L.

Para ello fue conveniente calcular el gramaje necesario para dicha solución, la cual se describe a continuación:

El peso molecular de esa sustancia es:

$$PM \text{ del } AgNO_3 = 169.87 \left(\frac{g}{mol}\right)$$

De acuerdo con la ecuación 5, el gramaje necesario es:

$$m = (0.0005 \frac{mol}{l}) * (11 l) * (169.87 \frac{g}{mol}) = 0.9342 \text{ gramos de } AgNO_3$$

Para la mezcla de las soluciones se añade 10 ml de dimetilsulfóxido $(CH_3)_2SO$. [25]

Para la solución de polivinil butil $(C_8H_{14}O_2)_n$

Se prepara la solución de 10 ml a 1 g

Para ello fue conveniente calcular la molaridad para dicha solución, la cual se describe a continuación:

EL peso molecular de esa sustancia es:

$$PM \text{ del } (C_8H_{14}O_2)_n = 142 \left(\frac{g}{mol}\right)$$

De acuerdo con la ecuación 5, dejándola en función de la molaridad, nos queda de la siguiente manera:

$$M = \frac{(1 g)}{0.01 l * 142 \frac{g}{mol}} = 0.704 \frac{mol}{l} \text{ de } (C_8H_{14}O_2)_n$$

La solución obtenida de la mezcla de los materiales anteriores para la creación del electrolito procede a depositarse mediante el método de recubrimiento por centrifugado. El método consiste en depositar películas delgadas sobre sustratos planos con ayuda de una maquina llamada centrifugadora, la cual esparce el material de revestimiento gracias a la fuerza centrífuga que genera, a una velocidad de hasta 10,000 rpm. La deposición del electrolito se hace a una velocidad de giro de 2000 rpm.

Fabricación del dispositivo electrocrómico

La secuencia de capas utilizada para el dispositivo electrocrómico es la siguiente:

1. Al vidrio con óxido de indio y estaño como electrodo se le depositan las nanopartículas de $\text{WO}_3\text{-TiO}_2$ como capa electrocrómica por el método de spray pirolisis.
2. Los electrolitos que fueron depositados en otra capa de vidrio con óxido de indio por el método de centrifugación son añadidos gracias al Polidimetilsiloxano (Sylgard 184 Elastómero) el cual es un silicón con bajo dieléctrico que suele utilizarse en laboratorios. Para el vidrio electrocrómico se utiliza como espaciador.

En la figura 7 se muestra la composición con el uso de este material el cual se compone de 4 capas. Las nanopartículas de $\text{WO}_3\text{-TiO}_2$ se utilizan como capa electrocrómica, así mismo se utiliza el óxido de indio y estaño como electrodos conductores en la capa superior como inferior. El grosor de las capas debe optimizarse de manera adecuada ya que puede afectar el voltaje que circula, así como el consumo de energía en el vidrio. Se recomienda preparar las nanopartículas de $\text{WO}_3\text{-TiO}_2$ a una velocidad de giro de 2000 rpm con una longitud de onda de 550 nm para obtener una alta transmitancia de hasta el 91.7% generando vidrios más transparentes.[25]

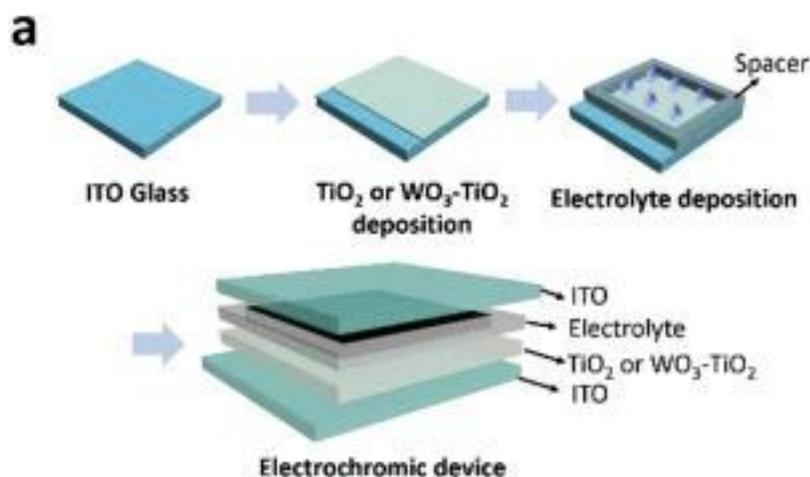


Figura 7. Vidrio electrocrómico con $\text{WO}_3\text{-TiO}_2$ [25]

3.2.3 PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal)

Este material está desarrollado por cristal líquido dispersado de polímero. La película de atenuación es una película que puede ajustar el estado de paso de la luz. Funciona principalmente entre el estado de dispersión y el estado transparente. La película cambia entre transparente y no transparente que es muy semejante a un vidrio esmerilado, la transparencia está regulada por el voltaje.[26]

Los cristales líquidos dispersos en polímeros tienen origen en 1938 en el que Land patentó un material polarizador de la luz formada por una dispersión de pequeños cristales suspendidos en una matriz polimérica transparente. La investigación continuó en 1976 por Hilsun quien introdujo el uso de cristales líquidos como medio birrefringente ⁶ que podían ser controlados por la aplicación de un campo eléctrico, este dispositivo nunca fue adaptado al sector comercial.

En 1982 Craighead reportó la obtención de PDLC la que usaba un cristal líquido confinado, formado por 2 placas de vidrio conductoras, entre ellas se colocó un filtro micro poroso permeado con cristal líquido, la orientación podía ser controlada eléctricamente produciendo una variación en el índice de refracción, cuando este índice coincidía el material se apreciaba transparente, mientras que si este índice de refracción era diferente se mostraba empañado, este modelo tenía problemas de velocidad de respuesta y contraste por lo que no fue fabricado comercialmente.

En 1986, Doane publicó los primeros resultados sobre preparación de PDLCs por separación de fases. En este trabajo, una resina epoxi era mezclada con el cristal líquido para formar una solución isotrópica. Por polimerización del monómero, el cristal líquido separaba en fases formando gotas suspendidas en una matriz continua.

La aplicación de PDLCs en la fabricación de dispositivos electroópticos se ha vuelto la más estudiada. En la actualidad el método más empleado para producir PDLCs es la separación de fases inducida por la polimerización de una mezcla de monómeros.

⁶ Que produce doble refracción de un rayo luminoso

Esta tecnología se activa eléctricamente pasando de un estado transparente a uno opaco, esto se realiza mediante polímeros químicos que responden con la corriente. El medio conductor cuenta con nano gotas de cristales LC (Liquid Cristal) depositadas en un polímero. Las gotas de LC son alineadas o dispersadas por el paso de la corriente eléctrica permitiendo de esta manera la transparencia sobre la superficie, o por el contrario bloqueándola completamente.

El PDLC es muy utilizado en edificios, hoteles centros de negocios etc. Que en los últimos años ha ganado popularidad ya que se tienen pocos fabricantes, así como pocas muestras que se pueden adquirir en el mercado comercial actual. [27]

Este tipo de material se eligió como el más adecuado para la realización de este proyecto, debido a que es capaz de ser regulado con una variación de voltaje y gracias a sus propiedades ayuda a evitar los deslumbramientos del conductor, así mismo es un material que actualmente se comercializa y gracias a la venta al público en general es de fácil acceso, el PDLC ha sido usado por muchas industrias, entre las que se puede mencionar, arquitectura, automotriz, aeronáutica, las cuales ayudan a mantener la privacidad, brindan protección solar y mejoran el ahorro energético en aparatos de refrigeración. Junto a este proyecto se presenta una película de material con tecnología electrocrómica tipo PDLC esta con el fin de ayudar al conductor a evitar los deslumbramientos que se encuentren en el camino, el material utilizado no es el mejor que existe en la actualidad, sus especificaciones son adecuadas para la elaboración de este proyecto. De igual manera se muestra como un prototipo funcional cumpliendo con los objetivos planeados.

3.3 Diseño de fuente de alimentación

3.3.1 Regulador CD a CD

Conforme a las definiciones anotadas en párrafos anteriores, se establece una matriz morfológica representada en la tabla 3, en la que se muestran las diferencias con respecto a una fuente lineal y una conmutada, y se explica la elección de acuerdo con las especificaciones requeridas para los diseños de Azul de prusia y trióxido de tungsteno con óxido de titanio.

La fuente lineal es aquella que no requiere de la etapa de transformación, en comparación a una fuente conmutada, esto refiere a que no requiere un componente adicional como el transformador para reducir altos voltajes, por lo que la fuente lineal resulta en un menor uso de componentes y menor complejidad de diseño en comparación a una fuente conmutada. La fuente lineal se adapta a los diseños de azul de prusia y trióxido de tungsteno con óxido de titanio, ya que se conectará directamente con el vidrio electrocrómico, es conveniente situarla en un lugar pequeño y de fácil acceso, a diferencia de una fuente conmutada. [28]

Tabla 3 Matriz morfológica para la fuente reguladora

Fuente	Lineal	Conmutada
Complejidad		x
Simplicidad	x	
Reparación	x(facilidad)	
Peso		x
Volumen		x
Eficiencia		x
Regulación		x
Ruido	x(menor)	
Costo		x(mayor)

Se realizó un diseño basado en las especificaciones que se requieren con los componentes LM317T mostrado en la figura 8 y el LM7805 como se muestra en la figura 9, los cuales, de acuerdo con su hoja de datos técnica, son muy parecidos en cuanto a sus características de funcionamiento como se muestra en la tabla 4. El diseño que a continuación se presenta es una fuente lineal realizada en una aplicación para la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos, llamada proteus. El circuito tiene una entrada de 12 V en corriente directa, que alimenta una etapa de potencia y con una fotorresistencia, la cual, al variar la intensidad luminosa, suministra un voltaje de entre 3 y 0 volts, lo cual es el rango de voltaje con el que se alimenta el vidrio electrocrómico.

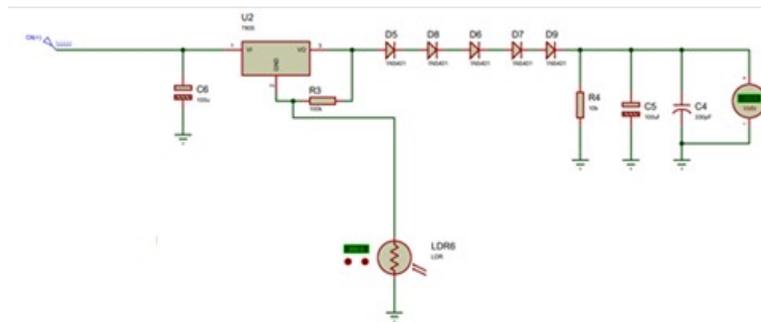


Figura 8. Diseño de fuente con LM7805 [29]

Fuente: elaboración propia tomando datos de la hoja de datos técnicos de Texas instruments

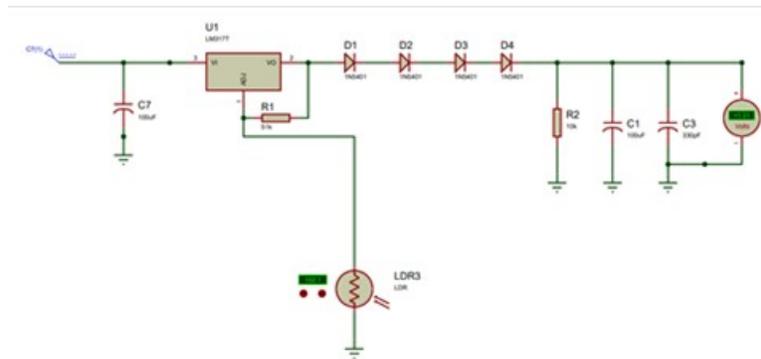


Figura 9. Fuente reguladora con LM317T [30]

Fuente: elaboración propia tomando datos de la hoja de datos técnicos de STMicroelectronics

Tabla 4 Comparativa entre LM317 Y LM7805

Parámetro	Componente	Valor	Unidad
Voltaje de entrada	LM7805	6 a 35	V
	LM317	4 a 40	
Voltaje de salida	LM7805	5	V
	LM317	1.2 a 37	
Corriente de salida	LM7805	>1	A
	LM317	> 1.5	
Temperatura de operación	LM7805	-40 a 125	°C
	LM317	0 a 125	
Precio	LM7805	10	MXN
	LM317	9	

Como se aprecia en la tabla 4, son muy parecidos los valores de los componentes, el más conveniente para el uso requerido es el LM317T esto debido a que maneja un voltaje de salida y un costo menor.

3.3.2 Convertidor CD a CA

Basado en los requerimientos para la película de cristales líquidos dispersos en polímeros (PDLC) ocupada en este proyecto, la cual trabaja con corriente alterna, se opta por un convertidor de corriente directa a corriente alterna, ya que se usa en el habitáculo del vehículo y los valores que se manejan en un automóvil común son de 11 a 15 V en corriente directa por lo que a continuación se describe el diseño usado dentro del vehículo para la película electrocrómica tipo PDLC.

Un convertidor que cambia el voltaje de entrada en CD a un voltaje de salida en CA se conoce como inversor. Es por ello por lo que, en esta etapa de potencia, se implementó un inversor de onda cuadrada para aplicaciones de mediana y baja potencia.

Por lo antes mencionado se optó por el circuito integrado 555 por sus características técnicas y por su versatilidad en lugares pequeños y discretos. Como se observa en la tabla 5.

Tabla 5 Matriz morfológica de generador de pulsos.

Generador de pulsos		
Generador de pulsos	Características	Precio (MXN)
LM555	8pines	\$ 11.00
	Alimentación 5-15V	
	Circuito integrado	
ATMEGA 328P	28pines	\$ 95.00
	Alimentación 5V	
	Microcontrolador	
STM32F103	76pines	\$ 350.00
	Alimentación 5V	
	Microcontrolador	

Circuito Integrado Temporizador 555

Este circuito integrado está diseñado específicamente para generar señales de oscilación o retraso de tiempo, la descripción de los pines se detalla en la tabla 6. El retraso de tiempo se logra controlar mediante una resistencia y un condensador externos. El funcionamiento como oscilador se controla con precisión gracias a dos resistencias externas y un condensador que determinan la frecuencia de funcionamiento libre, así como el tiempo del ciclo de trabajo. Este integrado está diseñado por una serie de comparadores lineales y un Flip-Flop digital.

El Flip-Flop del que se compone el CI 555 es un RS, este elemento interno responde a sus entradas set (S) y reiniciar (R), en el instante el que estas detecten un pulso ya sea positivo de (BAJO a ALTO) o un pulso negativo (ALTO a BAJO) además cuenta con una salida (O/P) y un reset extra (R1).

Tabla 6 Descripción de pines de 555

Pin	Inglés	Español	Descripción
1	GND (ground)	Masa (tierra)	Negativo del voltaje
2	Trigger	Disparo	Activa la transición del Flip-Flop de set a reset. La salida del temporizador depende de la amplitud de disparo externo aplicado a este pin
3	OUT	Salida	Forma de onda hacia la salida
4	Reset	Reinicio	Pin negativo para deshabilitar o reiniciar el temporizador. Cuando no se utiliza para este propósito, se debe conectar a VCC para evitar falsos disparos
5	Control	Control	Controla los niveles de umbral y disparo determinando el ancho de pulso de la forma de onda de la salida.
6	Threshold	Umbral	Activa el estado establecido del Flip-Flop de acuerdo con la amplitud del voltaje aplicado a este pin.
7	Discharge	Descarga	Abre el colector del transistor permitiéndole al capacitor descargarse
8	VCC	Alimentación	Suministro de voltaje

EL principio de funcionamiento interno del circuito integrado 555 en su configuración que consiste en cambiar de un estado bajo a otro alto (astable) es por medio de dos comparadores y el divisor de voltaje.

Como se puede observar en la figura 10 el voltaje del primer comparador (U1:A) tiene la referencia de $\frac{2}{3}V^-$ por lo tanto el valor correspondiente de comparación para el segundo comparador (U1:B) es de $\frac{1}{3}V^+$ debido a la configuración interna de resistencias, con valores de 5K (ohm), de ahí proveniente el nombre de circuito integrado 555.

Como los pines 6 y 2 son los que dirigen el voltaje directamente a los comparadores estos deberán estar comunicados para monitorear la entrada de voltaje. Los amplificadores operacionales como comparadores determinan cuál de las dos señales en sus entradas es mayor, para que la salida sea máxima o mande un cambio, basta con que una de estas señales sea ligeramente superior. El cambio de los comparadores de un estado bajo a uno alto depende del voltaje de entrada.

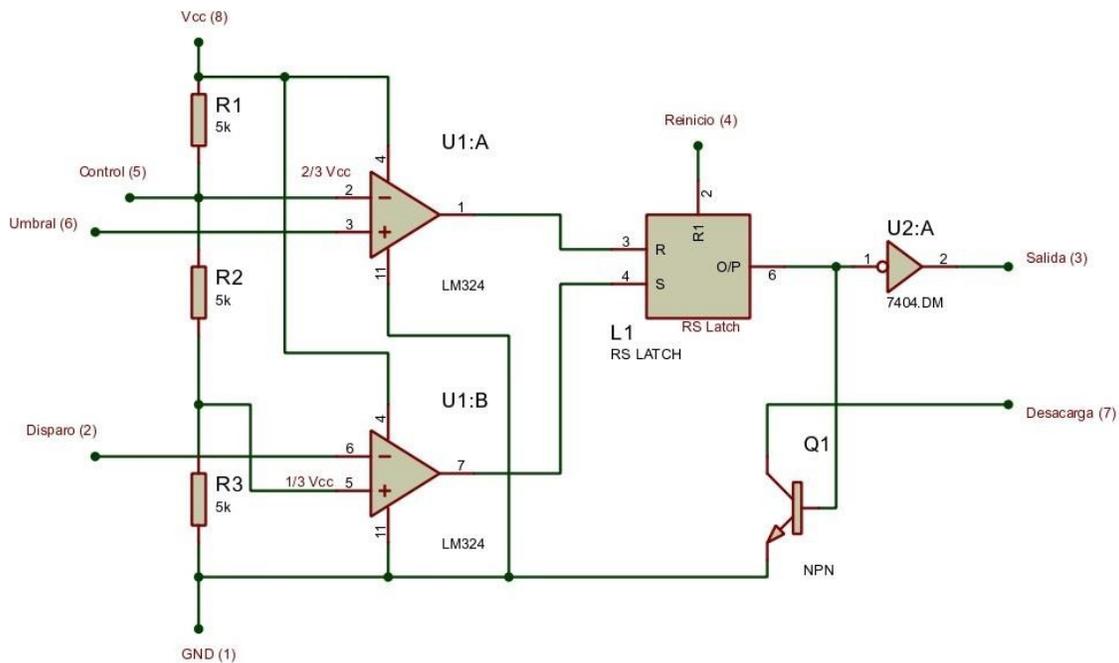


Figura 10 Componentes internos de 555[29]

Al inicio de la suministración de voltaje, si éste se mantiene por debajo de $\frac{1}{3} V$ el comparador uno (U1:A) da un estado bajo (0) y el comparador dos (U1:B), se mantiene en estado alto (1) por lo que se excita el Set (s) del Flip-Flop y a la salida (pin 3) nos da como resultado un estado alto. Como se muestra a continuación en la figura 11.

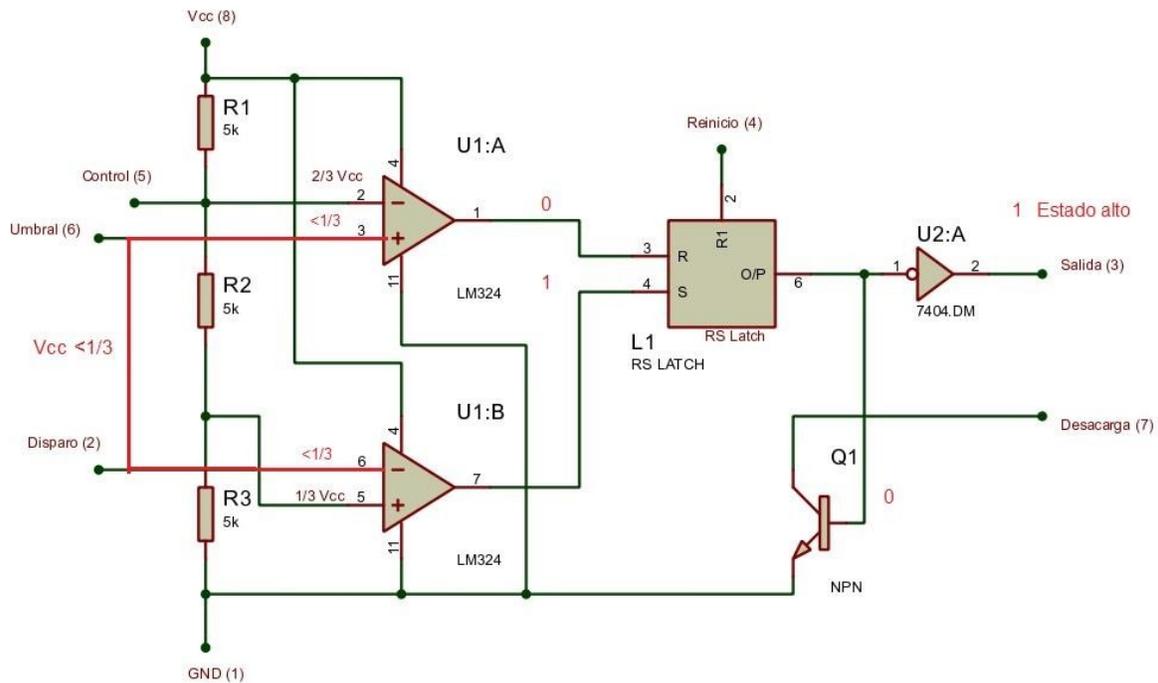


Figura 11 Funcionamiento en estado alto [29]

Cuando en la entrada de los comparadores sobrepasa $\frac{1}{3} V$ el comparador dos (U1:B) está saturado, dándonos a la salida un valor bajo (0) y en el comparador uno (U1:A) se mantiene en el mismo estado, de esta manera el Flip-Flop no cambia del estado anterior.

Si la alimentación en la entrada del umbral sobrepasa $\frac{2}{3} V$ del voltaje de alimentación, el comparador uno (U1:A), cambia a un estado alto (1) y el comparador dos (U1:B) se mantiene en un estado bajo (0). El comparador uno excita reset (R) y en la salida del Flip-Flop da un estado bajo (0) de esta manera el transistor interno se activa drenando la corriente (pin 7) de un circuito RC externo, que consta de un capacitor que está conectado en serie con dos resistencias. Como se muestra en la figura 11 y figura 12

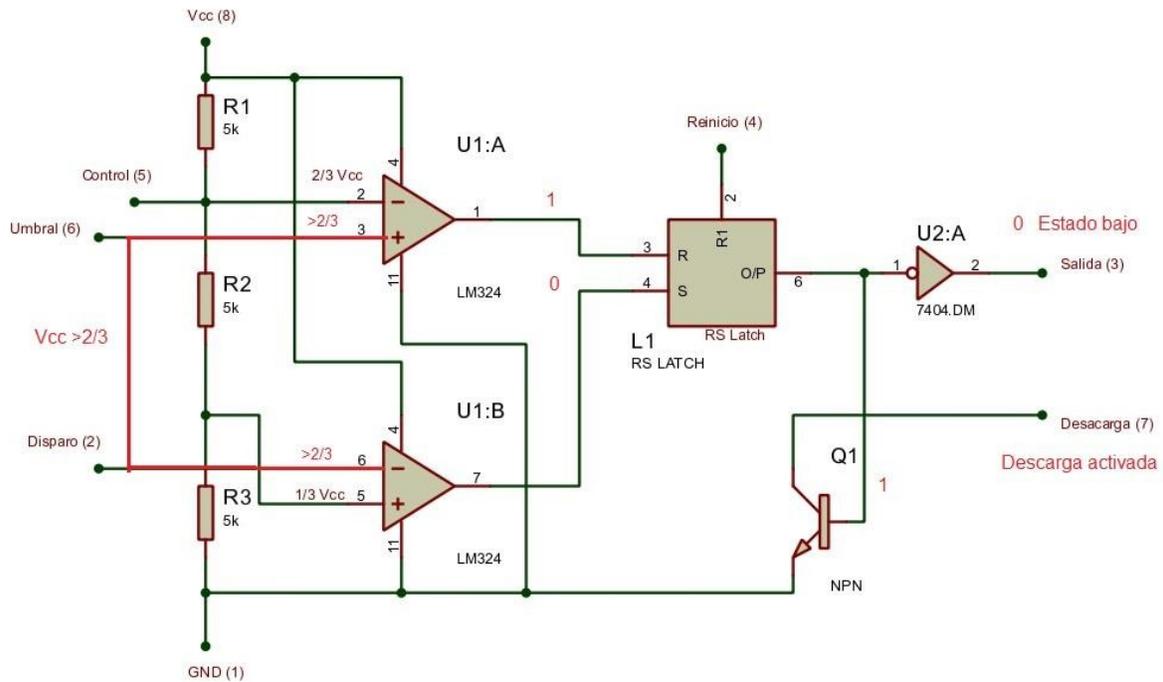


Figura 12 Drenado de corriente [29]

Cuando el capacitor se descarga y mientras en la entrada del umbral cae por debajo de $\frac{2}{3} V$ el comparador uno (U1:A) no puede cambiar otra vez al Flip-Flop, para ello la caída de voltaje debe pasar un instante menor a $\frac{1}{3} V$ haciendo nuevamente el cambio de estado. De esta manera el ciclo se repite generando una onda cuadrada (oscilador) en la salida (pin 3) de nuestro circuito integrado 555.

En concreto para tener a la salida del temporizador 555 un estado bajo (0), el voltaje en el umbral (pin 6) debe sobrepasar a $\frac{2}{3} V$, esto hace que el transistor de descarga se encienda. Por su parte para obtener una salida en estado alto (1), el voltaje en la entrada de disparo (pin 2) debe caer a menos de $\frac{1}{3} V$, de esta manera el transistor de descarga permanece apagado.

Frecuencia en la salida del CI555

Como se mencionó con anterioridad el Capacitor (C1) se carga mediante las resistencias R1 y R2 desde $\frac{1}{3} V$ a $\frac{2}{3} V$. Dando como resultado un estado alto en la salida durante un periodo de tiempo. Ese tiempo en el que se mantiene el estado alto se necesita resolver la siguiente ecuación diferencial:

$$V_{cc} = V_c(t) + (R_1 + R_2)C \frac{dV_c(t)}{dt} \quad (6)$$

Donde la carga del capacitor depende de la corriente:

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} = I_C(t) \quad (7)$$

Se debe dar solución a esta ecuación diferencial en dos partes como se muestra a continuación:

$$V_c(t) = S_{part} + AS_{gen} \quad (8)$$

Donde A es una variable a partir de las condiciones iniciales.

Para obtener los valores de AS_{gen} , asignamos como condición inicial a $V_{cc} = 0$ donde el capacitor está completamente descargado. Hay que tener en cuenta que $V_c(t) = e^{nt}$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 5 nos queda lo siguiente:

$$C(R_1 + R_2) \frac{d(e^{nt})}{dt} + e^{nt} = 0 \quad (9)$$

Resolviendo la diferencial con respecto a n:

$$C(R_1 + R_2)ne^{nt} + e^{nt} = 0 \quad (10)$$

$$e^{nt}(C(R_1 + R_2)n + 1) = 0 \quad (11)$$

Sabiendo que la expresión e^{nt} no es igual a cero, puesto que el capacitor se descarga por debajo de $\frac{1}{3} V$ sin pasar necesariamente por cero para iniciar nuevamente el ciclo, para que se cumpla esta ecuación se desprecia el valor de e^{nt} , después se despeja n:

$$(C(R_1 + R_2)n + 1) = 0 \quad (12)$$

$$C(R_1 + R_2)n = -1 \quad (13)$$

$$n = -\frac{1}{C(R_1 + R_2)} \quad (14)$$

Dado que $S_{gen} = e^{nt}$ sustituimos la ecuación 8

$$AS_{gen} = e^{\frac{-t}{C(R_1 + R_2)}} \quad (15)$$

Para la otra parte de la ecuación donde S_{part} es otro término de la expresión, dado que V_{cc} es una constante, sustituimos el valor de $V_c(t) = X$ en la ecuación 6.

$$V_{cc} = X + (R_1 + R_2)C \frac{d(X)}{dt} \quad (16)$$

Dado que la derivada de una constante es 0 al multiplicarlo con el término de C el valor se convierte en cero dejando:

$$V_{cc} = X \quad (17)$$

Sustituyendo en la ecuación 6 el valor de X y el valor de S_{gen} de la ecuación 15:

$$V_c(t) = V_{cc} + Ae^{\frac{-t}{C(R_1 + R_2)}} \quad (18)$$

Para obtener el valor de A, de acuerdo con las condiciones del sistema, para que el condensador pueda cargarse debe sobrepasar el valor de $\frac{1}{3} V_{cc}$, así que el valor inicial debe ser $\frac{1}{3} V_{cc}$ y el valor t es despreciable puesto que no hay tiempos negativos.

$$\frac{V_{cc}}{3} = V_{cc} + Ae^{\frac{0}{C(R_1 + R_2)}} \quad (19)$$

Dado que una fracción donde el numerador es cero, el resultado es 0, del mismo modo la expresión $e^0 = 1$ dejando la variable a sola, y despejándola queda:

$$\frac{V_{cc}}{3} = V_{cc} + A \quad (20)$$

$$A = \frac{V_{cc}}{3} - V_{cc} \quad (21)$$

$$A = -\frac{2}{3} V_{cc} \quad (22)$$

Sustituyendo este valor de A en la ecuación 18 se obtiene la curva de tensión el en proceso de carga:

$$V_c(t) = V_{cc} - \frac{2}{3} V_{cc} e^{\frac{-t}{C(R_1+R_2)}} \quad (23)$$

Con esta ecuación se calcula el tiempo que nuestro circuito integrado se mantiene en un estado alto. Donde se sustituye el valor de la tensión que debe alcanzar para cambiar de estado, esto es $\frac{2}{3} V_{cc}$:

$$\frac{2}{3} V_{cc} = V_{cc} - \frac{2}{3} V_{cc} e^{\frac{-t}{C(R_1+R_2)}} \quad (24)$$

Para obtener el tiempo que permanece en estado alto resulta:

$$\frac{2}{3} V_{cc} - V_{cc} = -\frac{2}{3} V_{cc} e^{\frac{-t}{C(R_1+R_2)}} \quad (25)$$

$$-\frac{1}{3} V_{cc} = -\frac{2}{3} V_{cc} e^{\frac{-t}{C(R_1+R_2)}} \quad (26)$$

$$\frac{-\frac{1}{3} V_{cc}}{-\frac{2}{3} V_{cc}} = e^{\frac{-t}{C(R_1+R_2)}} \quad (27)$$

$$\frac{3}{6} = e^{\frac{-t}{C(R_1+R_2)}} \quad (28)$$

A esta altura es irrelevante poner V_{cc} ya que es un estado intermedio de $\frac{2}{3} > V_{cc} < \frac{1}{3}$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln\left(e^{\frac{-t}{C(R_1+R_2)}}\right) \quad (29)$$

de acuerdo a las propiedades de los logaritmos naturales fraccionarios (ln(1)-ln(2)) y eliminando e:

$$-\ln(2) = \frac{-t}{C(R_1+R_2)} \quad (30)$$

Por lo tanto:

$$t_{alto} = C(R_1 + R_2) \ln(2) \quad (31)$$

Recordando que para calcular el tiempo en estado bajo se resuelve una ecuación diferencial, se toma en cuenta que la descarga del capacitor es a través de la resistencia R2 se expresa de la siguiente manera:

$$V_c(t) + R_2 C \frac{dV_c(t)}{dt} = 0 \quad (32)$$

El resultado de esta ecuación ya la hemos resuelto para calcular el tiempo en el que el circuito interno permanece en un estado alto tomamos en cuenta la siguiente ecuación.

$$V_c(t) = A e^{\frac{-t}{C(R_2)}} \quad (33)$$

De acuerdo con los valores iniciales como se ha venido manejando, $t=0$; $V_{cc}=\frac{2}{3}$

$$V_{cc} \frac{2}{3} = A e^0 \quad (34)$$

$$V_{cc} \frac{2}{3} = A \quad (35)$$

Sustituyendo A en la ecuación 33:

$$V_c(t) = V_{cc} \frac{2}{3} e^{\frac{-t}{C(R_2)}} \quad (36)$$

Cuando la tensión cae por debajo de $\frac{1}{3}V$ se calcula en estado bajo:

$$V_{cc} \frac{1}{3} = V_{cc} \frac{2}{3} e^{\frac{-t}{C(R_2)}} \quad (37)$$

$$\frac{V_{cc} \frac{1}{3}}{V_{cc} \frac{2}{3}} = e^{\frac{-t}{C(R_2)}} \quad (38)$$

$$\frac{3}{6} = e^{\frac{-t}{C(R_2)}} \quad (39)$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln\left(e^{\frac{-t}{C(R_2)}}\right) \quad (40)$$

$$-\ln(2) = \frac{-t}{C(R_2)} \quad (41)$$

Por lo tanto:

$$t_{bajo} = C(R_2) \ln(2) \quad (42)$$

Con la suma de los tiempos de carga y descarga del capacitor (C1) obtenemos el periodo de oscilación:

$$T = t_{bajo} + t_{alto} \quad (43)$$

$$T = C(R_2) \ln(2) + C(R_1 + R_2) \ln(2) \quad (44)$$

$$T = C(R_2) \ln(2) + C(R_1) \ln(2) + C(R_2) \ln(2) \quad (45)$$

$$T = C(R_1) \ln(2) + 2C(R_2) \ln(2) \quad (46)$$

Factorizando nos queda:

$$T = \ln(2)C(R_1 + 2R_2) \quad (47)$$

Debido a que al aplicar la inversa del periodo obtenemos la frecuencia:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln(2)C(R_1+2R_2)} \quad (48)$$

Ciclo de trabajo: Es la relación que existen entre el tiempo en estado bajo entre el tiempo total de carga y descarga.[31]

$$D = \frac{t_{bajo}}{T} = \frac{R_2}{(R_1+2R_2)} \quad (49)$$

Transistores

El transistor bipolar (BJT, bipolar junction transistor) es un dispositivo semiconductor compuesto de tres regiones. Con dos regiones n y una P, se forma un transistor NPN: Consta de tres terminales conocidas como colector (C), emisor (E) y base(B). Consta de dos uniones internas, la unión colector base (CBJ) y la unión base emisor (BEJ). [31]

El transistor trabaja mediante tres etapas o regiones de operación: corte, activa y saturación.

- Corte: La corriente en la base no suficiente para activar el transistor este se mantiene desactivado.
- Activa: Actúa como un amplificador, donde el voltaje colector- emisor disminuye con la corriente de la base y la corriente del colector queda como una ganancia.
- Saturación: El transistor funciona como un interruptor ya que la corriente de base es lo suficientemente alta para tener un voltaje bajo en colector emisor.

En base a los parámetros de trabajo de los transistores de potencia, como se muestra en la matriz morfológica mostrada en la tabla 7 se optó por utilizar el transistor IRFZ44N ya que la capacidad de transición conveniente de acuerdo con las especificaciones requeridas para este proyecto.

Tabla 7 Matriz morfológica de transistores

Mosfet de potencia				
Tipo	Símbolo	Parámetro	Unidad Max.	Costo (MXN)
IRFZ44N	VDS	Tensión drenador-fuente	55 V	\$ 20.00
	ID	Corriente continua máxima	49 A	
	Coss	Capacidad de transición	330 pF	
IRF520N	VDS	Tensión drenador-fuente	100 V	\$ 20.00
	ID	Corriente continua máxima	9.7 A	
	Coss	Capacidad de transición	92 pF	

Capítulo 4

Especificación de sistema

En el presente capítulo se explica el funcionamiento de los componentes en conjunto, con el fin de entender cómo se realizan las pulsaciones para generar corriente alterna.

La corriente máxima de salida del circuito integrado 555 es 200 mA, ideal para circuitos de bajo consumo. De acuerdo con la tabla 5 se mencionan las características de los pines. Para este proyecto se utilizó el temporizador 555 en su modo astable, debido a la necesidad de generar un oscilador de onda cuadrada para la construcción de un dispositivo capaz de cambiar la entrada de voltaje, de corriente directa a corriente alterna (inversor) ya que la tecnología electrocrómica que se utilizó trabaja con 70 V de corriente alterna. Por lo que se realizaron las conexiones como se muestra en la figura 13.

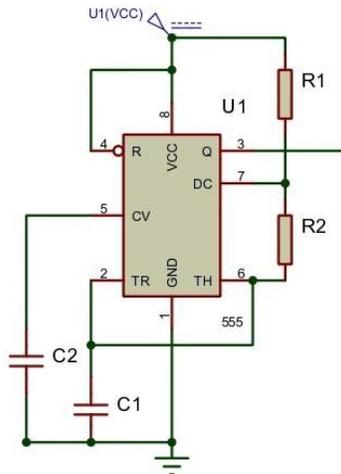


Figura 13. Generador de onda cuadrada [30]

VCC (pin 8): Se conectó al positivo del circuito el cual es alimentado con 12 V en corriente directa.

GND (pin 1): Se conectó a tierra para cerrar el circuito y el circuito integrado pueda operar con normalidad.

El control (pin 5): Es capaz de controlar los niveles de interrupción de umbral y disparo de acuerdo con el voltaje aplicado, sin embargo, en este proyecto no se usó con ese propósito por lo que el fabricante recomienda conectar un capacitor (C2) de 0.01 μ F entre este pin y tierra (GND) previniendo de esta manera un falso disparo.

El reset (pin 4): Si se conecta a un estado bajo o negativamente, permite sincronizar o restablecer al inicio la operación del circuito integrado. En esta ocasión no se utilizó con este propósito, por lo que se conectó a VCC para evitar falsos disparos.

La salida (pin 3): Se conecta a los mosfet de potencia para generar una onda positiva y otra negativa.

De acuerdo con la breve explicación que se dio con anterioridad sobre el funcionamiento interno del circuito es importante destacar que el capacitor externo (C1) se carga mediante R1 y R2 hasta que el voltaje excede $\frac{2}{3} V$. Este voltaje entra en los pines 6 y 2 (umbral y disparo) los cuales están conectados entre sí para que los comparadores operacionales internos causen un valor bajo (0), provocando que el transistor interno de descarga se encienda. El capacitor se descarga a través de R2 pasando por el transistor interno y llegando hasta el pin 7 (descarga) como se muestra en la figura 14.

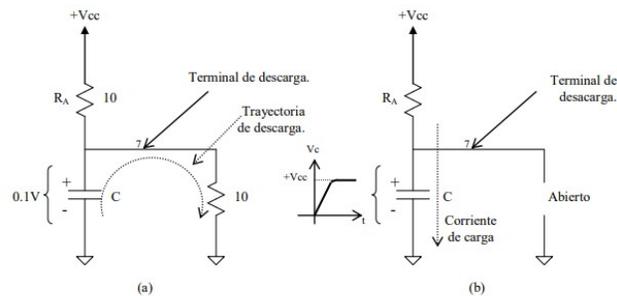


Figura 14. Diagrama de carga y descarga del capacitor [31]

En la otra etapa la salida, nos da 0 V, ahora Q1 y Q2 se mantienen en corte. Entonces la corriente circula por la resistencia 5 (R5) llegando una tensión alta en Q3 entre la puerta y la fuente, pasando a conducción, cambiando el estado de la onda a uno negativo como se muestra en la figura 16.

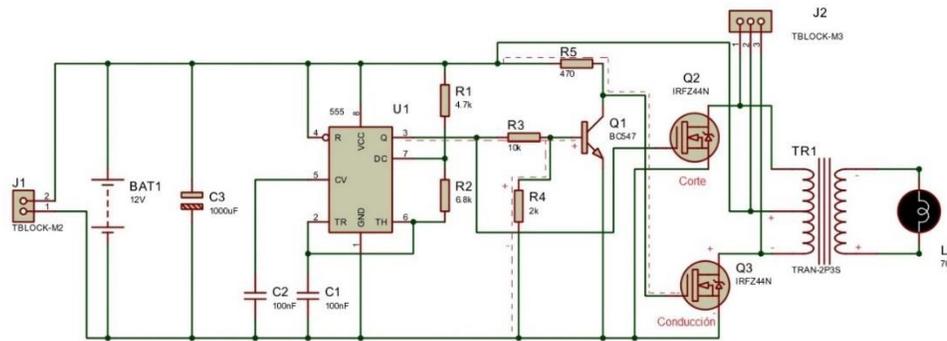


Figura 16. Pulso en bajo de transistor Q3

Mosfet de potencia

En el presente proyecto se utilizaron 3 transistores uno BJT de baja potencia y dos MOSFET para generar mayor potencia, el mosfet IRFZ44N ocupado en el circuito es conocido por su alta corriente de drenaje y rápida velocidad de conmutación, la cual funciona para poder realizar los cambios y de esta manera conseguir una onda cuadrada. Además de eso, también tiene un bajo valor R_{DS}^7 que ayuda a aumentar la eficiencia de los circuitos de conmutación. El mosfet comienza a encenderse con un pequeño voltaje de compuerta de 4 V, pero la corriente de drenaje será máxima solo cuando se aplique un voltaje de compuerta de 10 V. Es utilizado como interruptor de medio puente como a continuación se explica.

El voltaje monofásico de medio puente se refiere a que se utilizan dos transistores como pulsadores. Cuando se enciende el transistor Q2 durante un periodo de tiempo, el voltaje es instantáneo a la carga. Lo mismo ocurre con Q3. Hay que tener en cuenta que Q2 y Q3 no estén activos en el mismo periodo de tiempo ya que de ser así ocasionaría un cortocircuito a través de los elementos.[32]

⁷ Parámetro para determinar la pérdida de conducción en aplicaciones de suministro de corriente en modo conmutado

Sensor de luz

De acuerdo con la variedad de sensores de luz que se encuentran en el mercado, se establece una matriz morfológica representada en la tabla 8 en la que se determinó el sensor de luz más adecuado con respecto a las necesidades para la elaboración del presente proyecto y el diseño elegido.

La fotorresistencia tiene la peculiaridad de tener una alta sensibilidad, bajo costo y fácil empleo, lo que es necesario para adaptarla en lugares discretos, a diferencia de los sensores que ya cuentan con sus propios módulos de operación y diferentes valores de alimentación, así como la salida, los cuales ya están delimitados. Por lo que se optó por el uso de una LDR permitiendo un buen trabajo con voltaje CA.

Tabla 8 Matriz morfológica de sensor de luz

Sensor de Luz		
Tipo	Descripción	Precio
Lilypad	La salida esta limita de 0 a 5 V en situaciones de iluminación interior	\$ 92.00
GA1A12S202	Tiene una resistencia interna de 68 K limitando una salida analógica de 3 V	\$ 132.00
LDR	Voltaje máximo de trabajo 320 V (CD-CA) a una temperatura de -60 a +75 °C	\$ 7.00

Salida de voltaje AC

Para el correcto funcionamiento del prototipo se utilizó un transformador con 3 pines en la entrada de la bobina primaria, los cuales son el medio y dos extremos (12 0 12) con 200 mA valor que nos entrega el CI 555. Debido a que al suministrar un voltaje positivo en el pin central, tenemos el control de saber que pin del primario está conectado a tierra y con ello generar campos magnéticos con polaridad invertida y de este modo se obtiene voltaje de polaridad invertida en la salida del transformador.

Para calcular el número de vueltas en el transformador se consideran los parámetros de entrada y de salida

- Voltaje de entrada = 12 V
- Voltaje de salida sin carga 110 V

La salida es de 110 V dado que es el voltaje domestico en corriente alterna en México; además son los valores promedio en los que se comercializan transformadores para diferentes aplicaciones, el cual en el presente proyecto se utiliza como amplificador de voltaje en lugar de reductor.

Tecnológica electrocrómica

La película de tecnología electrocrómica tipo PDLC maneja los parámetros mostrados en la tabla 9 los cuales son dados por el fabricante.

Tabla 9 Datos técnicos de película electrocrómica

Smart Film México	
Descripción	Valores
Dimensiones	A4 (21x29.7cm)
Color	Blanco
Voltaje de trabajo	65+-5V AC
Consumo	3.2 w – 3.7 w

Para determinar los valores de las resistencias se utiliza la ecuación de potencia dado que se tienen los valores de potencia y el voltaje con el que trabaja el dispositivo con tecnología electrocrómica. Suponiendo los máximos parámetros establecidos para tener la mayor claridad en la película tenemos:

$$3.7 \text{ w} = 70 \text{ V} * I \quad (50)$$

Despejando la intensidad de trabajo:

$$I = \frac{3.7 \text{ w}}{70 \text{ v}} \quad (51)$$

$$I = 52.86 \text{ mA}$$

Dado que el inversor ideal maneja valores de 60 Hz para la frecuencia y resistencias de diferentes valores se ajustaron las necesarias para este proyecto con un potenciómetro.

Utilizando valores comerciales, se aprobaron las siguientes resistencias las cuales indican valores cercanos a 80 V sin carga a la salida:

$$R_1 = 4.7 \text{ Kohms}$$

$$R_2 = 115 \text{ Kohms}$$

Capítulo 5

Simulación

En este capítulo se presentan las simulaciones de los diseños finalmente propuestos, para la realización de este proyecto, en las cuales se comprende en condiciones ideales, como lo son temperatura estable, ambiente sin humedad, voltaje constante sin importar la corriente consumida, la forma en la que la película PDLC reacciona ante la intensidad luminosa percibida por el sensor. Debido a que la tecnología electrocrómica no se puede simular en el software proteus, este elemento se sustituyó por una lampara con las mismas características de alimentación y consumo. Como se muestra en la figura 17.

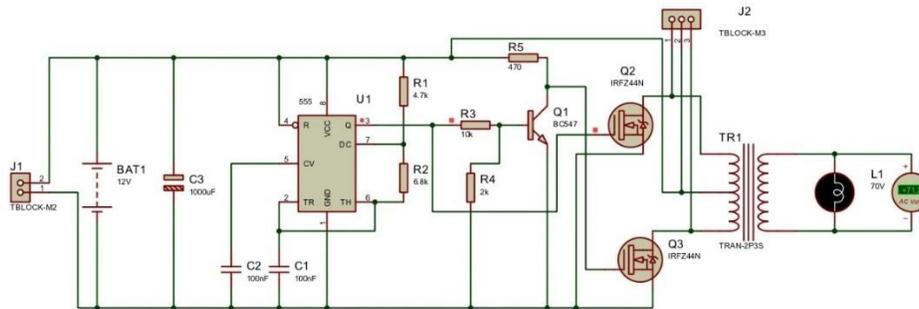


Figura 17 Circuito del inversor

Valores del transformador dentro de la simulación (proteus)

El cálculo que se realizó fue con los parámetros establecidos anteriormente y mostrados en la tabla 10, debido a que el simulador proteus tiene una gran variedad de componentes, los valores calculados son ideales por lo que puede generar una diferencia a los valores reales.

Tabla 10 Parámetros comerciales

Transformador	
Primario	Secundario
$V_p = 12 \text{ V}$	$V_s = 110 \text{ V}$
$N_p = 12 \text{ espiras}$	$N_s = 110 \text{ espiras}$
$i_p = 200 \text{ mA}$	$i_s = 21.8 \text{ mA}$

Los valores que son sometidos a simulación están dados por la siguiente formula, en la cual se calculó la impedancia del primario para que sea lo más semejante a la vida real. Donde L_s es el factor de acoplamiento. Se toma en cuenta que este valor dado en el simulador debe ser menor o igual a 1, como se usan parámetros ideales máximos se maneja a 1.

$$V_i = 120$$

$$V_o = 12$$

$$L_s = 1$$

Sustituyendo los valores en la siguiente formula:

$$L_p = \left(\frac{V_i}{V_o}\right)^2 * L_s \quad (52)$$

$$L_p = \left(\frac{120v}{12v}\right)^2 * 1 \quad (53)$$

$$L_p = 100$$

Con este resultado podemos comprobar en la figura 18 que el transformador es el correcto.

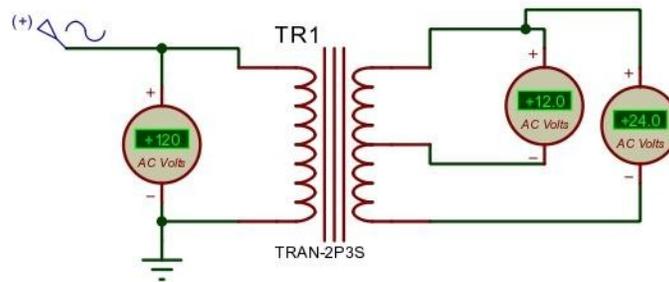


Figura 18 Simulación de transformador

Se realizó la simulación del sensor de luz, conectando una resistencia en serie con una fotorresistencia como se muestra en la figura 19, cuando tenemos un haz de luz bastante cerca el voltaje es inferior al usado, se debe a que cuando el vidrio detecta menor voltaje este se opaca y no da paso a la luz intensa, a comparación de la figura 20, cuando el haz de luz se encuentra retirado el valor de voltaje aumenta, haciendo que la película se encuentre totalmente transparente.

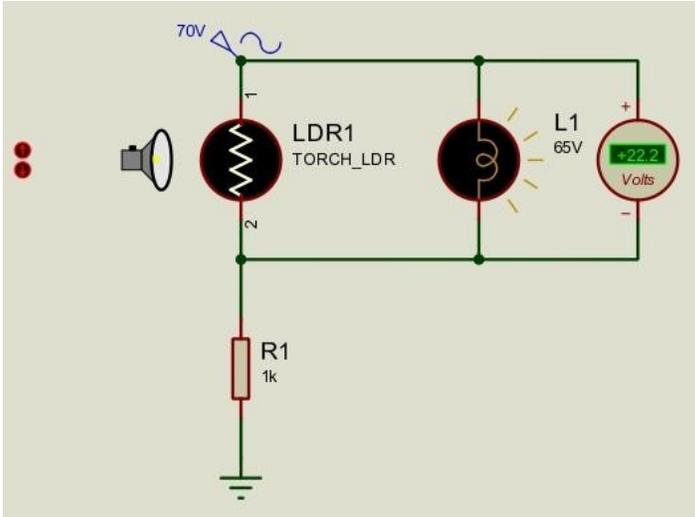


Figura 19 Simulación con luz cerca

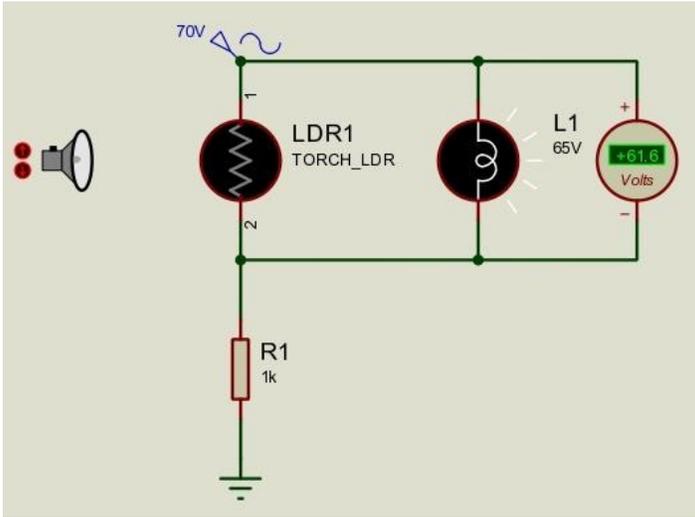


Figura 20 Simulación con luz lejos

De igual manera se simuló el ensamble del circuito montado, mostrado en la figura 17, antes de imprimir y soldar los componentes, de esta manera se puede buscar una base donde adaptar la placa con las dimensiones especificadas que en este caso es de 40 mm x 35 mm.

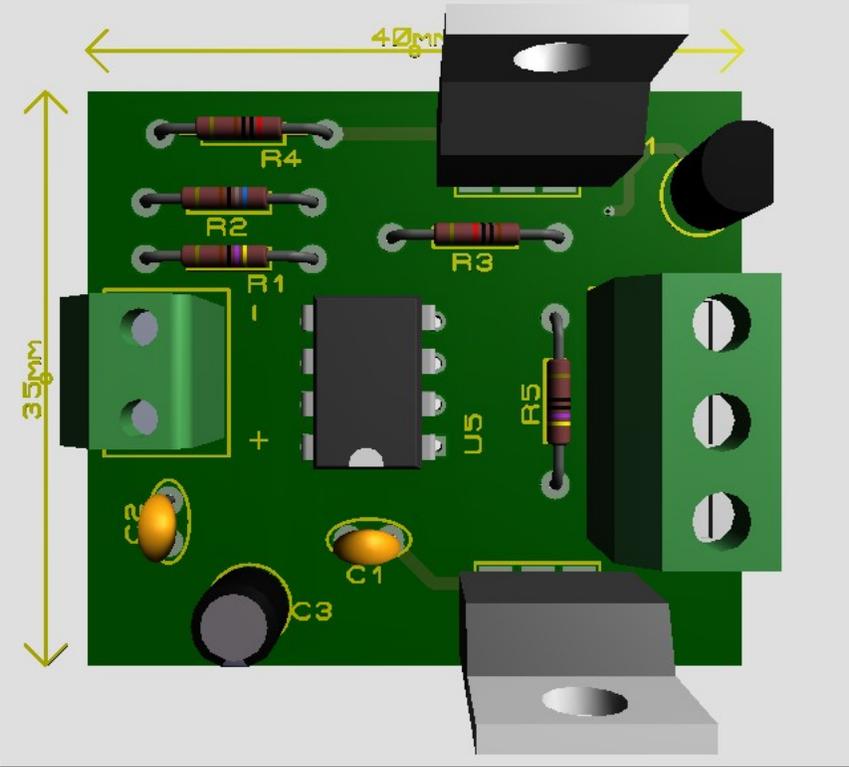


Figura 21 Simulación de circuito vista superior

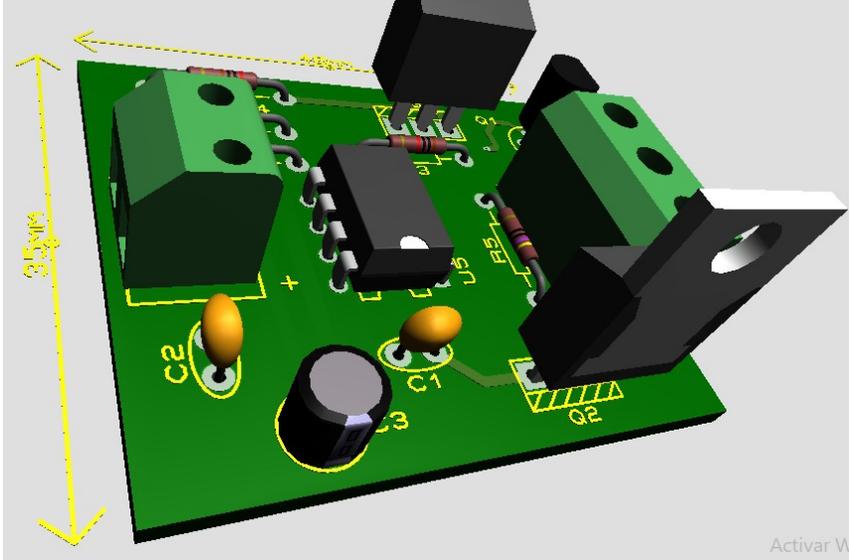


Figura 22 Simulación de circuito vista lateral

Capítulo 6

Desarrollo del sistema

En este capítulo se describen los procesos que se utilizaron desde el diseño de la placa de componentes electrónicos, hasta el montaje en un vehículo automotor, de esta manera se tiene una evidencia que respalda el funcionamiento del sistema, así como su puesta en marcha.

Para la elaboración del diseño propuesto con las simulaciones realizadas para el tipo de película que se ocupa en el proyecto, se lleva a cabo la fuente, capaz de regular la opacidad de la película para ayudar al conductor evitando los deslumbramientos que se puedan presentar a lo largo de un viaje.

El primero paso para la creación de forma física fue elaborar una plantilla en la que se puedan colocar los componentes a utilizar, como se muestra en la figura 23 con ayuda del software proteus se crean las pistas con los componentes a usar.

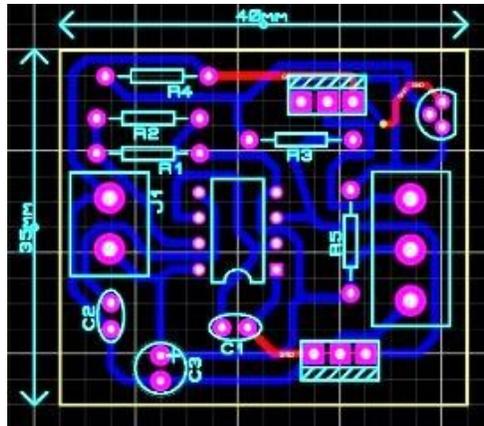


Figura 23 Modelado de pistas con componentes

Para el segundo paso, se utilizó el método del planchado sobre una tabla fenólica con medidas delimitadas, con esto se consigue plasmar las pistas del circuito sobre la cara de cobre, y se perforaron las partes donde fueron colocados los pines de los componentes. Como se muestra en la figura 24.

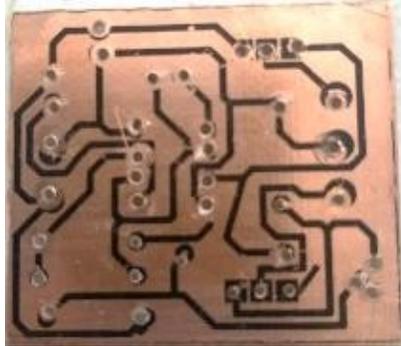


Figura 24 Placa fenólica con pistas y perforaciones

Una vez marcadas las pistas, la tabla fenólica se sumergió en cloruro de hierro por 1 hora aproximadamente, esto con el fin de eliminar el cobre que no se marcó como pista, una vez eliminados los excedentes, se lavó con agua natural, se limpió con alcohol y una fibra metálica para eliminar la tinta y dejar libre la zona de cobre, como se muestra en la figura 25.

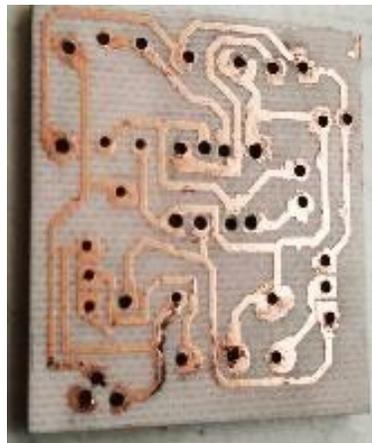


Figura 25 Placa fenólica después de sumergir en cloruro de hierro

Una vez libre la zona, nuevamente con la técnica del planchado, se plasmaron las marcas de posición, donde se incrustaron los componentes electrónicos, de esta manera el proceso de ensamble se volvió más rápido y detallado, como se logra apreciar en la figura 26.

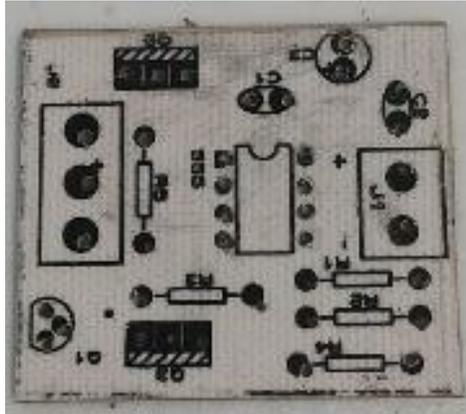


Figura 26 Componentes marcados sobre placa fenólica

Una vez montados los componentes en sus lugares correspondientes, se soldaron por la parte inferior de la placa fenólica, como se aprecia en la figura 27, los componentes tienen buen espacio entre sí y de esta manera se evita una generación de calor en el circuito.

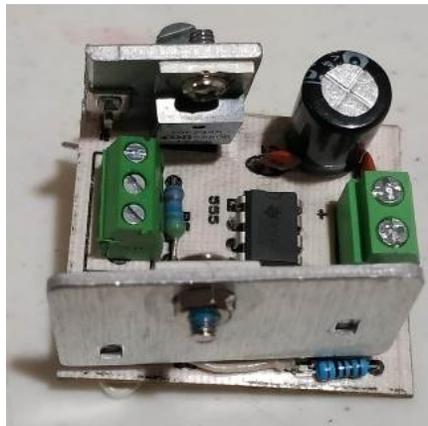


Figura 27 Placa fenólica con componentes soldados

Posteriormente, se realizaron las pruebas correspondientes antes de cerrar su carcasa de protección, como se muestra en la figura 28, y de esta manera se comprobó que el circuito funciona correctamente, no se calienta y no tiene ningún falso contacto.



Figura 28 Pruebas antes de cerrar carcasa de protección

Se procedió a cerrar la carcasa mostrada en la figura 29. Para este diseño se utilizó una carcasa con ventilación, de esta manera se consiguió tener una refrigeración mayor en caso de que el circuito llegue a calentarse, de igual manera se elige una carcasa resistente a impactos, esto debido a que es colocada dentro del vehículo en movimiento, por lo que se contemplan las irregularidades del camino.



Figura 29 Circuito dentro de carcasa de plástico cerrada

Gracias al diseño de la fuente, así como la elección de la película PDLC, se llega a una validación en función de los objetivos que se tiene para este sistema, por lo que se procede a realizar las pruebas montadas en un vehículo.

Una vez probados los sistemas se procede a colocar el regulador de voltaje que es alimentado de la caja de fusibles en la posición número 31, debido a que el fabricante indica que es un lugar que no tiene uso en el sistema y se encuentra libre como se muestra en la figura 30, se colocó un fusible de 7.5 amperes como se aprecia en la figura 31, de esta manera en caso de fallo en el circuito y mayor amperaje en el sistema, la corriente se cortará impidiendo dañar el sistema por completo.

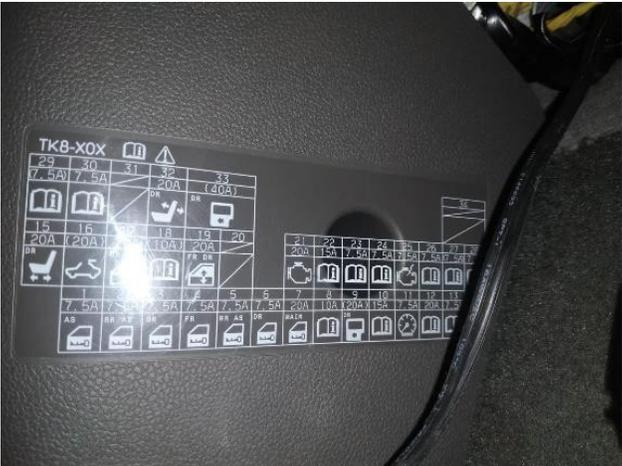


Figura 30 Distribución de fusibles



Figura 31 Fusible de 7.5 amperes en la caja de fusibles

Se procedió a colocar las cajas que contienen el regulador(derecho) y el inversor(izquierdo) en una posición que no estorbe las actividades del conductor y sea discreto como se aprecia en la figura 32, esto sin afectar a los demás sistemas en su correcto funcionamiento.



Figura 32 Montaje de circuitos en vehículo

Se colocó un cable que pase por el pilar de la carrocería dentro de los plásticos, de esta manera se evita cable a simple vista que pueda incomodar al conductor, el paso del cable se puede apreciar en las figuras 33 y 34.

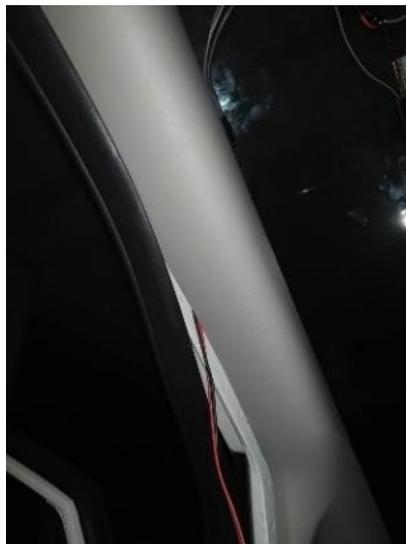


Figura 33 Paso de cable por pilar delantero



Figura 34 Paso de cable por pilar delantero izquierdo

Finalmente se colocó un switch capaz de encender y apagar el sistema si así lo desea el conductor como se muestra en la figura 35, cabe resaltar que el sistema no funcionará si el vehículo se encuentra apagado, esto protege la alimentación general en caso de que el conductor deje encendido el sistema por accidente y pueda descargar el acumulador del automóvil.



Figura 35 Montaje de switch

6.1 Resultados de convertidor

Para calcular la frecuencia a la que trabaja este circuito se utiliza la ecuación 48, que se ha calculado con anterioridad. Dado que los valores de salida están delimitados por la tecnología electrocrómica por 70 VCA máximo, la frecuencia y el periodo de tiempo son distintos a los establecidos en el inversor ideal.

$$f = \frac{1}{\ln(2)1x10^{-7}F(4,700ohms+2*115000ohms)} \quad (54)$$

$$f = 61.47 \text{ Hz}$$

Ciclo de trabajo

Calcularemos el tiempo de trabajo con ayuda de la ecuación 49 demostrada con anterioridad.

$$D = \frac{115k}{(4.7k+2*115k)} \quad (55)$$

$$D = 0.489$$

$$t_{bajo} = 1x10^{-7}F(115000ohms)\ln(2) \quad (56)$$

$$t_{bajo} = 7.97 \text{ ms}$$

$$T = \ln(2)1x10^{-7}F(4700 + (2 * 115000)) \quad (57)$$

$$T = 16.26 \text{ ms}$$

$$t_{alto} = 1x10^{-7}F(4700 + 115000) \ln(2) \quad (58)$$

$$t_{alto} = 8.29 \text{ ms}$$

$$Amp = 0.28 \text{ A (salida)}$$

Los valores reales son

$$R_1 = 115 \text{ k}$$

$$R_2 = 4.7 \text{ k}$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

$$t_{alto} = 8.29 \text{ ms}$$

$$t_{bajo} = 7.97 \text{ ms}$$

$$T = 16.26 \text{ ms}$$

$$f = 61.47 \text{ Hz}$$

$$D = 0.489$$

$$Amp = 0.5 \text{ A (salida)}$$

Con ayuda de la siguiente formula muestra el porcentaje de error tomando como parámetro exacto los valores ideales en el simulador, contra los valores reales obtenidos.

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{aprox} - \text{exacto}}{\text{exacto}} \right| * 100 \quad (59)$$

$$\% \text{ Amperaje} = \left| \frac{0.5 - 0.45}{0.45} \right| * 100 = 11.11\% \quad (60)$$

$$\% \text{ Freceuncia} = \left| \frac{61.47 - 60}{60} \right| * 100 = 2.45\% \quad (61)$$

$$\% \text{ Voltaje} = \left| \frac{70 - 110}{110} \right| * 100 = 36.36\% \quad (62)$$

El voltaje que alimenta el circuito antes de llegar al transformador es de 12VCD. Lo cual nos da una onda cuadrada (color amarillo) a la salida del pin 3 del LM555 como se muestra en la figura 34.

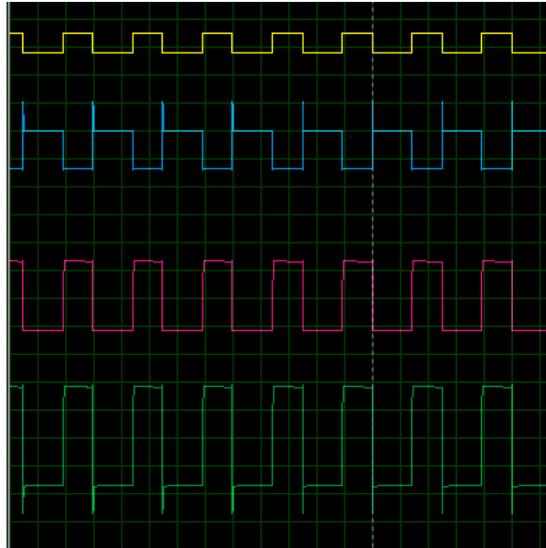


Figura 36 Onda cuadrada a la salida del pin 3 del CI 555

Para observar el comportamiento de los transistores en la simulación, se conectó un osciloscopio en la salida de los transistores. Debido a que el circuito es ideal en la simulación nos da un panorama general de la señal generada en el mismo, ya que no se cuenta con un osciloscopio de forma física para comparar estas señales. La caída de voltaje de las bases en los transistores es de 0.7 V los cuales están configurados para que no se mantengan activos en el mismo periodo de tiempo como se explicó con anterioridad. Los transistores de potencia deben funcionar de manera alternada ya que cuando Q2 esta activado (onda azul), Q3 se mantiene apagado (onda roja), permitiendo al transformado con derivación central inducir un voltaje hacia el secundario con una relación de 5.5:1 para generar los 65 V promedio (onda verde) que se necesitan para hacer funcionar de manera adecuada la película con tecnología electrocrómica. Se sabe que este proceso se lleva a cabo ya que puede observarse en la figura anterior, obteniendo de este modo una señal cuadrada positiva y otra negativa.

III

Validación

Capítulo 7

Pruebas

En este capítulo se muestran las pruebas realizadas a los sistemas anteriormente diseñados, debido a que el ojo humano percibe entre 3 y 10,000 luxes la luz no presenta ser un impedimento al ojo humano, sin embargo, cuando se coloca la fuente de luz a un ángulo menor de 45° respecto a la fuente de iluminación se empieza a presentar una mayor molestia, cuanto más cerca este el enfoque de la visión con respecto al haz de luz proveniente se considera un deslumbramiento. Teniendo en cuenta estos datos se procede a realizar las pruebas.

En la figura 37 se realizó una prueba con luz natural pasado medio día, con un sol a su máxima intensidad de un pequeño circuito para verificar que efectivamente las características de la foto resistencia son las adecuadas. El circuito de prueba se alimentó a 5 V con la finalidad de encender un led, el sensor foto resistivo responde a la ausencia de luz, por el contrario, al tener contacto con la luz percibida el led se apaga, de esta manera se comprobó el funcionamiento del sensor con luz del ambiente, que emite un promedio de 27,000 luxes.

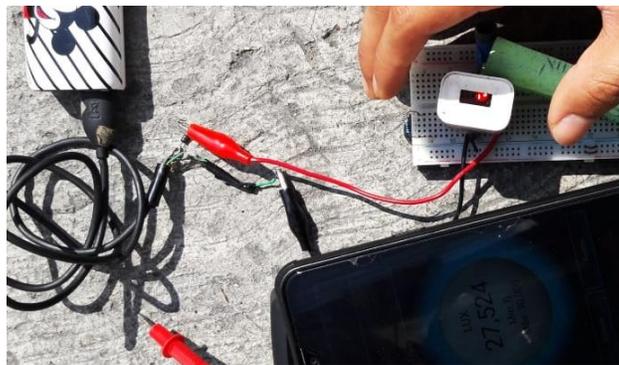


Figura 37 Funcionamiento de fotorresistencia ante luz natural

También se realizó la prueba con luz artificial acercando y alejando la intensidad luminosa (200-50 luxes), simulando las luces de los vehículos, con ello se percibe un cambio en la intensidad de brillo notorio en el led, lo cual sirvió para verificar que efectivamente el sensor funciona con luz artificial, como se muestra en la figura 38.



Figura 38 Fotorresistencia con luz artificial

En esta prueba el inversor se construyó en una tablilla de pruebas antes de ser montado en algún vehículo. Se complementó esta vez con el sensor de luz para poder observar los cambios de opacidad en la tecnología electrocrómica tipo PDLC. La intensidad lumínica utilizada fue la luz blanca artificial, donde el funcionamiento fue realmente el esperado, al incidir un haz de luz de 1000-1500 luxes a un ángulo de 45° a una distancia de 50 cm el sensor impide el paso de voltaje a la película electrocrómica, presentando un cambio a tonalidad opaca en la película de PDLC. En la figura 39 se logra observar la claridad total de la película electrocrómica tipo PDLC y en la figura 40 conmuta, logrando opacar la película.



Figura 39 Película totalmente transparente



Figura 40 Película electrocrómica respondiendo a intensidad luminosa en sensor

Así mismo se midió el voltaje en la salida de la película electrocrómica con el fin de observar la caída de voltaje en cada ángulo con ayuda de una lámpara de 12000 lúmenes, como se muestra en la tabla 11. De esta manera se ajustó la inclinación del sensor en un ángulo de 45° respecto a la horizontal ya que es el umbral más efectivo para tener la mayor opacidad con respecto a la tecnología electrocrómica.

Tabla 11 Medición de voltaje con respecto a diferentes ángulos

Voltajes con luz artificial		
Distancia	Angulo	Voltaje
10 m	0°	40.5
	30°	43.6
	45°	45.1
	60°	48
3 m	0°	38.7
	30°	41.4
	45°	42.7
	60°	44.6

7.1 Resultados de manejo con película electrocrómica de día.

Los resultados obtenidos de las pruebas de manejo obtenidas durante la conducción diurna se aprecian en la figura 41, el conductor presenta molestias al momento de conducir debido a la luz que incide sobre la cara, sin ningún tipo de protección contra este tipo de deslumbramiento durante el ocaso.



Figura 41 Manejo sin tecnología electrocrómica

Cuando el conductor maneja en presencia de la película con tecnología electrocrómica, presenta menos dificultad a enfocar su visión en el camino, debido a que presenta protección contra deslumbramientos durante el ocaso.



Figura 42 Manejo con tecnología electrocrómica

7.2 Resultados de manejo con película electrocrómica de noche.

Al salir a la carretera a manera de comprobar el funcionamiento automático con el prototipo funcionando e implementado en un vehículo, teniendo las medidas de seguridad apropiadas. El sistema se probó con luz artificial que emana de los coches en sentido contrario al flujo vehicular, en un horario nocturno pasadas las 20:00 horas. El sistema respondió excelente de modo que cuando existía ausencia de luz, la tecnología electrocrómica se perdía con el vidrio natural del vehículo, mostrándose de manera transparente como se observa en la figura 43.



Figura 43 Película en ausencia de luz artificial

El sistema responde de manera adecuada puesto que no ciega al 100% al conductor permitiéndole la visibilidad de los objetos en su camino y con esto evita el deslumbramiento que sería directo en ausencia de la película, en la figura 44 se logra apreciar cómo responde el sistema ante las luces de un vehículo en flujo contrario, a percepción del conductor los objetos no se distorsionan o confunden.



Figura 44 Sistema actuando con sensor opacando cierto grado la película

La opacidad se puede distinguir fácilmente ya que cuando el sistema se mantiene apagado, los objetos no son perceptibles como se muestra en la figura 45 a comparación de la figura 46, cuando el sistema se mantiene encendido se percibe con una transparencia mayor al 90%



Figura 45 Sistema apagado



Figura 46 Sistema encendido con ausencia de deslumbramiento a los ojos del conductor

Conclusiones

Del presente proyecto se obtienen varias conclusiones, por un lado, las conclusiones generales y por otro unas conclusiones específicas en cuanto al comportamiento de la película electrocrómica montada en el vehículo para evitar el deslumbramiento del conductor.

Debido a la pandemia de COVID-19 los diseños investigados en el presente proyecto para el vidrio electrocrómico, se volvieron muy complejos para la creación y experimentación con los materiales propuestos, debido a que, se requiere equipo y materiales especiales, de cualquier manera se ha conseguido diseñar y desarrollar un prototipo funcional con tecnología electrocrómica con un material que se empieza a vender de manera comercial, el cual logró ser implementado en el parabrisas de un vehículo automotor el cual logra ser regulado mediante un sensor luminoso, el cual es capaz de ajustar automáticamente, el voltaje que se suministra a la película electrocrómica y de esta manera ayuda a disminuir la cantidad de luxes que llegan a los ojos cuando un conductor se encuentra tras el volante y de esta manera evitar el deslumbramiento por factores externos como los ocasos y conducción nocturna, esto con una velocidad de conmutación en ambos casos de 20 milisegundos en promedio.

Se ha logrado mostrar cómo funciona la tecnología electrocrómica tanto en películas como en vidrios para diferentes tipos de materiales electrocrómicos.

Basado en la investigación del comportamiento de los conductores ante los deslumbramientos que se presentan a lo largo del día en un conductor promedio, este tipo de tecnología ayuda a todo tipo de persona evitando el desgaste de la vista a largo plazo por el esfuerzo que realizan los ojos al conducir en condiciones de deslumbramiento.

De acuerdo con las pruebas realizadas del sistema en conjunto, hay que tener en cuenta que los diferentes tipos de luminosidad, así como su intensidad, a las que puede estar expuesto el sistema (día, noche, luz artificial) puede ocasionar complicaciones en el correcto funcionamiento de la película electrocrómica, debido al ángulo de inclinación del sensor con respecto a la fuente de luz, provocando una diferencia en la frecuencia o una conmutación inadecuada.

El presente sistema ha logrado cumplir con la función de evitar el deslumbramiento del conductor, sin presentar un consumo significativo al vehículo en general, esto se debe a que el vidrio consume alrededor de 35 W/h con todo y etapa de potencia lo cual es la mitad del consumo en un faro delantero h4 halógeno que va desde 80 a 100 W/h.

Trabajos futuros

Finalmente, se proponen en esta sección una serie de mejoras o trabajos futuros.

Estudiar la degradación de la película electrocrómica a un mayor tiempo de uso del sistema, a fin de comprobar el comportamiento y desgaste de esta, ante una ruta cotidiana de un ciudadano promedio. De la misma manera estudiar el comportamiento de la película ante la variedad de fuentes luminosas de luz artificial.

Llevar a cabo los primeros 2 diseños propuestos que suponen una mejora ante las películas electrocrómicas tipo PDLC.

Realizar un análisis con el uso de esta tecnología a diferentes tipos de conductores para lograr conocer las brechas de oportunidad a desarrollar.

Caracterizar el uso de un sensor foto resistivo, buscando mejores opciones para obtener un umbral más efectivo, a manera de tener un mejor control de voltaje

Referencias

- [1] Organización Panamericana de la Salud, «paho,» OMS, [En línea]. Available: <https://www.paho.org/es/temas/salud-ocular>. [Último acceso: 07 2021].
- [2] A. C. Cuevas Colunga, M. Cadengo Ramírez y A. Mendoza Díaz, Anuario estadístico de accidentes en, Querétaro, 2020.
- [3] J. González Velasco, Temas de Electroquímica moderna, España: CULTIVA LIBROS (IBD), 2012.
- [4] L. Lympelopoulou, «Vidrios estáticos y dinámicos,» Barcelona, 2011.
- [5] M. C. Puell, «Umbral de luminancia diferencial y adaptacion a la luz,» Madrid, 2020.
- [6] D. Ramirez, «Fuentes de alimentación,» Buenos Aires.
- [7] J. J. Correa Acosta , «Calculo, simulacion e implementacion de un transformador para aplicacion en descargas con barrera dielectrica.,» Bogotá, 2011.
- [8] A. Serna Ruiz, F. Ros Garcia y J. C. Rico Noguera, Guia practica de sensores, España: Creación, 2010.
- [9] J. Padilla y T. Fernandez Otero, «Dispositivos electrocrómicos orgánicos,» España, 2007.
- [10] F. J. Del Campo Garcia, B. A. Guimerá, M. Kitsara y M. Aller Pellitero.España Patente WO2017098076A1, 2017.
- [11] C. V. Colorado, Contribución al desarrollo de nuevas ayudas electroópticas en rehabilitación visual, Madrid, 2015.
- [12] A. Herrero Sinovas, «Optimizacion de la vision ante el deslumbramiento,» Valladolid, 2019.
- [13] A. D. Torres, Dispersión de la luz y deslumbramiento asociado al envejecimiento, España, 2019.
- [14] Cesvi Mexico, «Factor vial,» 09 10 2019. [En línea]. Available: <http://cesvimexico.com.mx/factor/blog-single.php?id=14>. [Último acceso: 04 2021].
- [15] Europa press, «El 5% de los accidentes de tráfico se producen por deslumbramientos de noche,» 06 06 2018. [En línea]. Available: <https://www.europapress.es/sociedad/noticia-accidentes-trafico-producen-deslumbramientos-noche-20180606174845.html>. [Último acceso: 04 2020].
- [16] Transito, «Reglamento de transito del Distrito Federal,» 08, 17, 2015.
- [17] J. P. Zumba Gamboa y C. A. León Arreaga, «Evolución de las Metodologías y Modelos utilizados en el Desarrollo de Software,» 07 2018. [En línea]. Available:

http://zeus.inf.ucv.cl/~bcrawford/AULA_ICI_3242/Dialnet-EvolucionDeLasMetodologiasYModelosUtilizadosEnElDe-6777227.pdf. [Último acceso: 08 2021].

- [18] Draft Federal Information, «Integration definition for function modeling,» 21 12 1993. [En línea]. Available: <https://www.idef.com/wp-content/uploads/2016/02/idef0.pdf>. [Último acceso: 11 2021].
- [19] A. R. Santiago Godínez y A. Araujo Aguilar, «Sistema para el deposito de peliculas delgadas semiconductoras mediante Spray Pyrolysis.,» México, 2014.
- [20] E. S. Cruz Ramos, «Electrodeposición y caracterizacion del óxido de aluminio sobre placas de óxido de indio y estaño.,» México, 2018.
- [21] M. B. P. Najafisayar, «Pulse electrodeposition of Prussian Blue thin films.,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040609013010808>.
- [22] M. N. J. V. Sani Demiri, «A simple chemical method for deposition of electrochromic Prussian blue thin films.,» 2011.
- [23] V. Silva Castro, «Foto-electrooxidacion del bisfenol a (BPA) empleando un oxido mixto de WO3-TiO2.,» México, 2018.
- [24] Y. H. K. Joo Won Han, «High performance electrochromic devices based on WO3TiO2 nanoparticles synthesized by flame spray pyrolysis.,» *sciencedirect*, vol. 89, pp. 559-562, 2019.
- [25] J. M. Castro Servin, «Manual de procedimiento para la preparacion de soluciones en los laboratorios de caracterizacion y calidad del agua y operacion de plantas de tratamiento de aguas-,» México, 2013.
- [26] Huichi Industrial Development Co.,Ltd., «¿Como funciona la pelicula PDLC?,» 03 2019. [En línea]. Available: <http://www.pdlcvidrio.com/info/how-does-the-pdlc-film-work-33902923.html>. [Último acceso: 10 2021].
- [27] F. A., Polymer-dispersed liquid crystal films for light control., vol. 31, New York: Springer, 1990.
- [28] T. Maloney, Electronica industrial moderna., Mexico: Pearson, 206.
- [29] T. Instruments, «Terminal Adjustable Regulator,» 2011. [En línea]. [Último acceso: 10 2021].
- [30] T. Instruments, «Fixed Voltage Regulators.,» 2015. [En línea]. [Último acceso: 10 2021].
- [31] M. F. B., «Desarrollo de un circuito electronico par a un arpa electrica,» Veracruz, 2019.

[32] V. M. Gallino Cardona, A. H. Calero Vega y A. E. Marquez Yagual, «Inversor Trifasico de voltaje constante con variacion de frecuencia desde 80 hasta 400hz e interdase optoacopladora,» Guayaquil, 2009.

[33] S. J. Chapman, Maquinas Electricas, Australia: McGrawHill, 2005.

IV

Apéndices

Apéndice A Lista de materiales para Mini PCB a 70V

Notas: Las resistencias se compraron por paquete de 600u/diferentes valores así mismo para el circuito integrado 555, en paquete de 5 unidades

3 Condensadores					
<u>Cantidad</u>	<u>Referencias</u>	<u>Valor</u>	<u>Stock Code</u>	<u>Tipo</u>	<u>Coste unitario</u>
2	C1-C2	100nF	http://sanher-uni...	Generico	\$1.00
1	C3	1000uF	www.net electroni...	Electrolítico	\$11.00
SubTotal:					\$13.00
5 Resistencias					
<u>Cantidad</u>	<u>Referencias</u>	<u>Valor</u>	<u>Stock Code</u>	<u>Tipo</u>	<u>Coste unitario</u>
1	R1	4.7k		Generico	
1	R2	1.5K		Generico	
1	R3	10k		Generico	
1	R4	2k		Generico	
1	R5	470	https://uelectron...	Generico	\$74.00
SubTotal:					\$74.00
5 Integrados					
<u>Cantidad</u>	<u>Referencias</u>	<u>Valor</u>	<u>Stock Code</u>	<u>Tipo</u>	<u>Coste unitario</u>
4	U1-U4	555		Timers	
1	U5	555	https://articulo...	Timers	\$55.00
SubTotal:					\$55.00
3 Transistores					
<u>Cantidad</u>	<u>Referencias</u>	<u>Valor</u>	<u>Stock Code</u>	<u>Tipo</u>	<u>Coste unitario</u>
1	Q1	S9014	https://uelectron...	Bipolar	\$5.00
2	Q2-Q3	IRFZ44N	http://sanher-uni...	MOSFET	\$20.00
SubTotal:					\$45.00
11 Miscelánea					
<u>Cantidad</u>	<u>Referencias</u>	<u>Valor</u>	<u>Stock Code</u>	<u>Tipo</u>	<u>Coste unitario</u>
1	B1	12V		Sources	
1	BORNERA 2PIN	TBLOCK-M2	http://sanher-uni...	Terminal Blocks	\$4.00
1	BORNERA 3PIN	TBLOCK-M3	http://sanher-uni...	Terminal Blocks	\$11.00
1	BROCA1	1/16	www.net electroni...	Generico	\$18.00
1	BROCA2	1/32	www.net electroni...	Generico	\$15.00
1	CLORURO FÉRRICO1	220ml	www.net electroni...	Generico	\$35.00
1	DISIPADOR DE CALOR1	TO-220	http://sanher-uni...	Generico	\$20.00
1	LDR1	TORCH_LDR	http://sanher-uni...	Generico	\$7.00
1	PDLC 1	70V	https://www.amazo...	Película PDLC	\$744.00
1	PLACA FENOLICA1	10x10cm	www.net electroni...	PCB	\$20.00
1	TRANSFORMADOR	TRAN-2P3S	http://sanher-uni...	Transformadores	\$68.00
SubTotal:					\$942.00
Total:					\$1,129.00

Apéndice B Hoja de datos técnicos de transistor IRFZ44N

Philips Semiconductors

Product specification

N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

GENERAL DESCRIPTION

N-channel enhancement mode standard level field-effect power transistor in a plastic envelope using 'trench' technology. The device features very low on-state resistance and has integral zener diodes giving ESD protection up to 2kV. It is intended for use in switched mode power supplies and general purpose switching applications.

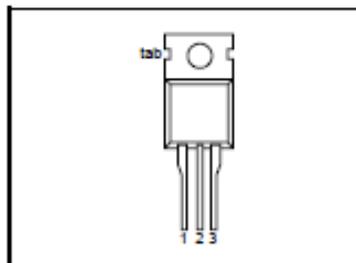
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	55	V
I_D	Drain current (DC)	49	A
P_{tot}	Total power dissipation	110	W
T_J	Junction temperature	175	°C
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance $V_{GS} = 10\text{ V}$	22	mΩ

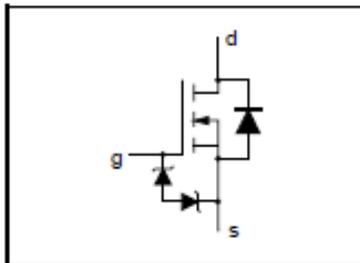
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	-	-	55	V
V_{DGR}	Drain-gate voltage	$R_{GS} = 20\text{ k}\Omega$	-	55	V
$\pm V_{GS}$	Gate-source voltage	-	-	20	V
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	49	A
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$	-	35	A
I_{DM}	Drain current (pulse peak value)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	160	A
P_{tot}	Total power dissipation	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	110	W
T_{stg}, T_J	Storage & operating temperature	-	-55	175	°C

ESD LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_C	Electrostatic discharge capacitor voltage, all pins	Human body model (100 pF, 1.5 kΩ)	-	2	kV

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th,jmb}$	Thermal resistance junction to mounting base	-	-	1.4	K/W
$R_{th,ja}$	Thermal resistance junction to ambient	in free air	60	-	K/W

STATIC CHARACTERISTICS

$T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}; I_D = 0.25\text{ mA}; T_J = -55^\circ\text{C}$	55	-	-	V
$V_{GS(TO)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}; I_D = 1\text{ mA}; T_J = 175^\circ\text{C}$	2.0	3.0	4.0	V
		$T_J = -55^\circ\text{C}$	1.0	-	-	V
I_{DSS}	Zero gate voltage drain current	$V_{DS} = 55\text{ V}; V_{GS} = 0\text{ V}; T_J = 175^\circ\text{C}$	-	0.05	10	μA
I_{OSS}	Gate source leakage current	$V_{GS} = \pm 10\text{ V}; V_{DS} = 0\text{ V}; T_J = 175^\circ\text{C}$	-	0.04	1	μA
$\pm V_{(BR)OSS}$	Gate source breakdown voltage	$I_G = \pm 1\text{ mA}; T_J = 175^\circ\text{C}$	16	-	-	V
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; T_J = 175^\circ\text{C}$	-	15	22	$\text{m}\Omega$
			-	-	42	$\text{m}\Omega$

DYNAMIC CHARACTERISTICS

$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
g_{fs}	Forward transconductance	$V_{DS} = 25\text{ V}; I_D = 25\text{ A}$	6	-	-	S
C_{iss}	Input capacitance	$V_{GS} = 0\text{ V}; V_{DS} = 25\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	-	1350	1800	pF
C_{oss}	Output capacitance		-	330	400	pF
C_{rss}	Feedback capacitance		-	155	215	pF
Q_g	Total gate charge	$V_{DD} = 44\text{ V}; I_D = 50\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}$	-	-	62	nC
Q_{gs}	Gate-source charge		-	-	15	nC
Q_{gd}	Gate-drain (miller) charge		-	-	26	nC
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{DD} = 30\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}; R_G = 10\ \Omega$	-	18	26	ns
t_r	Turn-on rise time	Resistive load	-	50	75	ns
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time		-	40	50	ns
t_f	Turn-off fall time		-	30	40	ns
L_d	Internal drain inductance	Measured from contact screw on tab to centre of die	-	3.5	-	nH
L_d	Internal drain inductance	Measured from drain lead 6 mm from package to centre of die	-	4.5	-	nH
L_s	Internal source inductance	Measured from source lead 6 mm from package to source bond pad	-	7.5	-	nH

REVERSE DIODE LIMITING VALUES AND CHARACTERISTICS

$T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

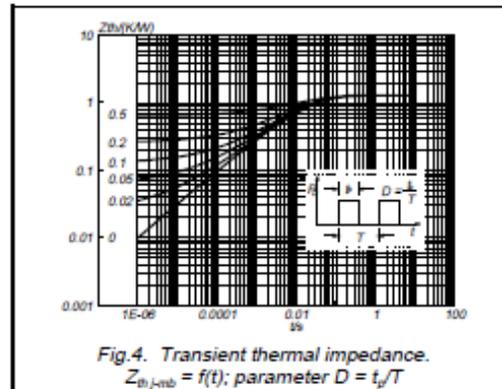
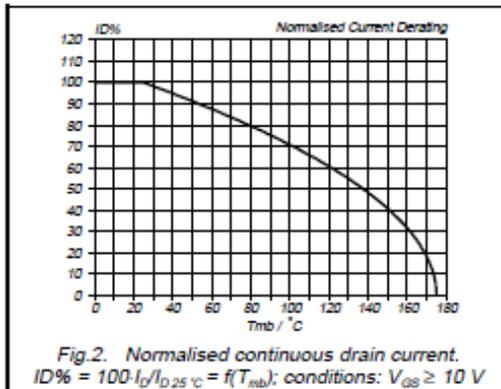
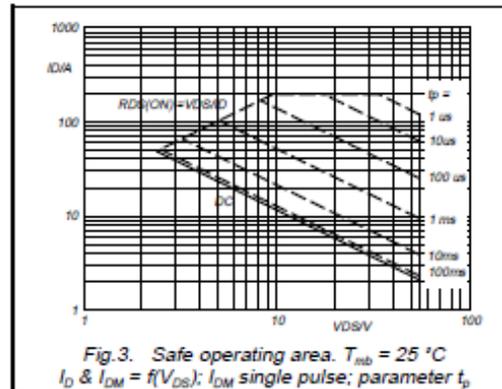
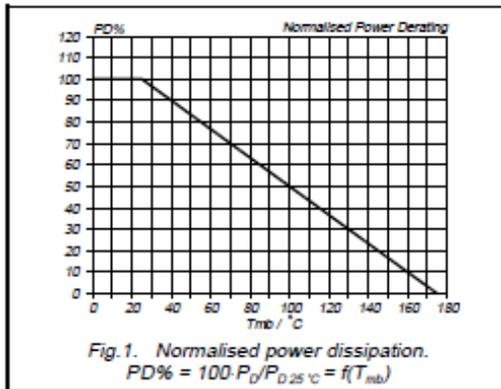
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{DR}	Continuous reverse drain current		-	-	49	A
I_{DRM}	Pulsed reverse drain current		-	-	160	A
V_{SD}	Diode forward voltage	$I_F = 25\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	0.95	1.2	V
		$I_F = 40\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	1.0	-	
t_{rr}	Reverse recovery time	$I_F = 40\text{ A}; -di_F/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}; V_{GS} = -10\text{ V}; V_R = 30\text{ V}$	-	47	-	ns
Q_{rr}	Reverse recovery charge		-	0.15	-	μC

N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

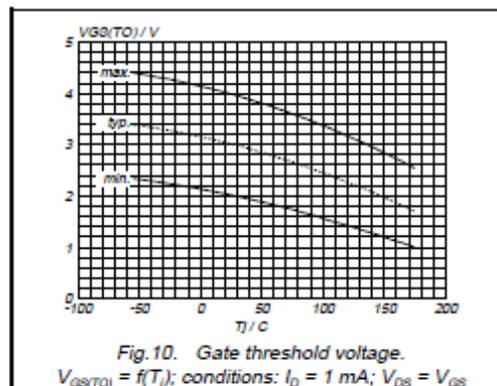
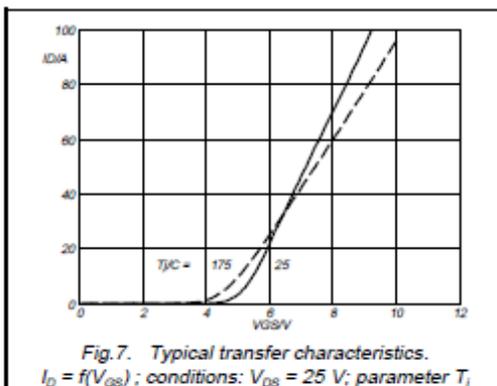
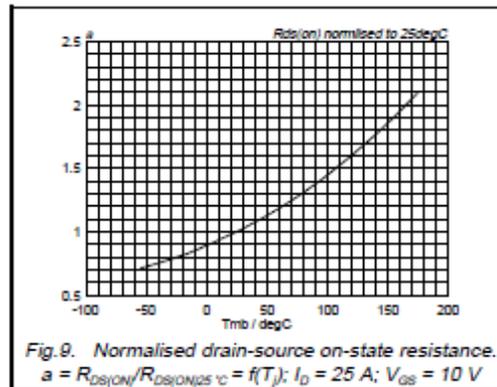
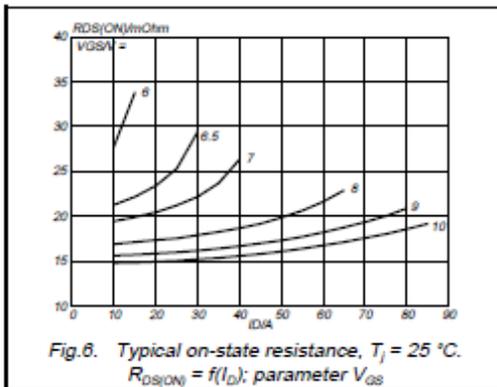
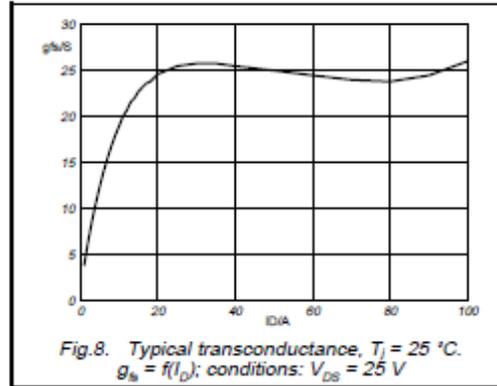
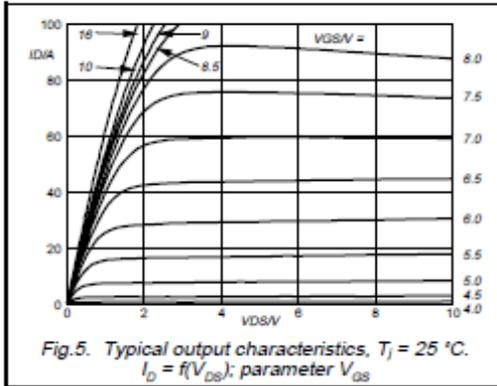
AVALANCHE LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
W_{OSS}	Drain-source non-repetitive unclamped inductive turn-off energy	$I_D = 45\text{ A}; V_{DS} \leq 25\text{ V};$ $V_{GS} = 10\text{ V}; R_{\theta S} = 50\ \Omega; T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	110	mJ



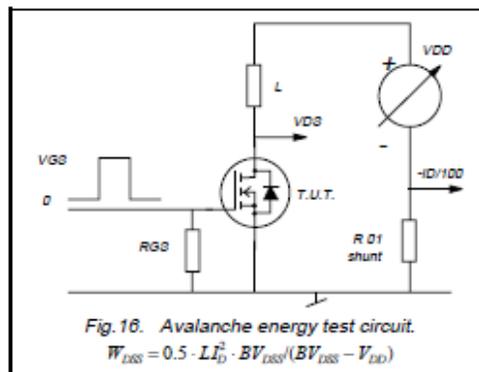
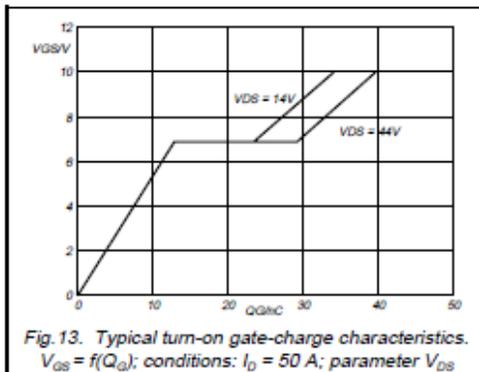
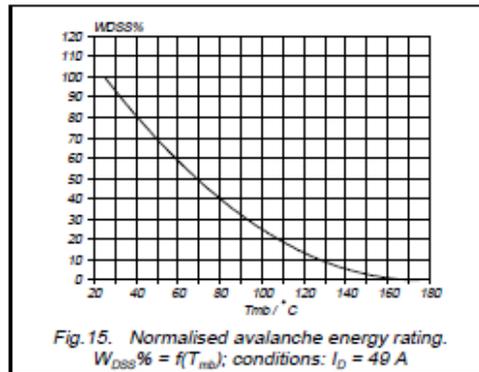
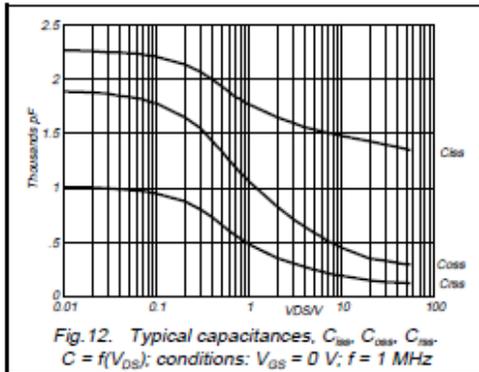
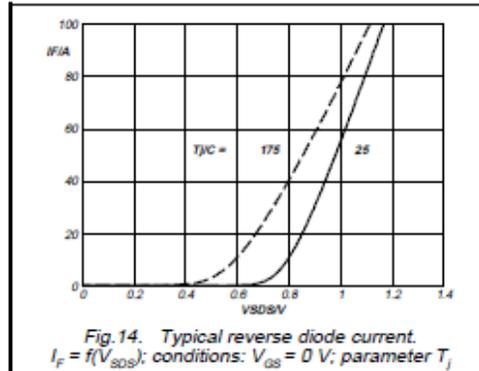
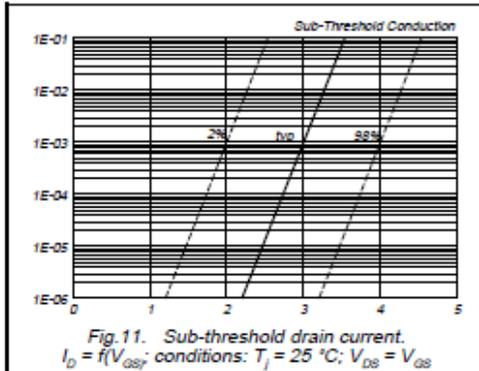
N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

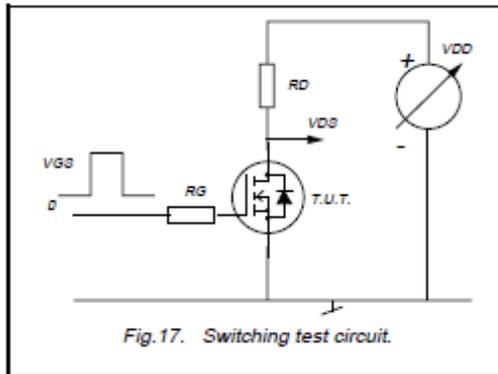


N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N



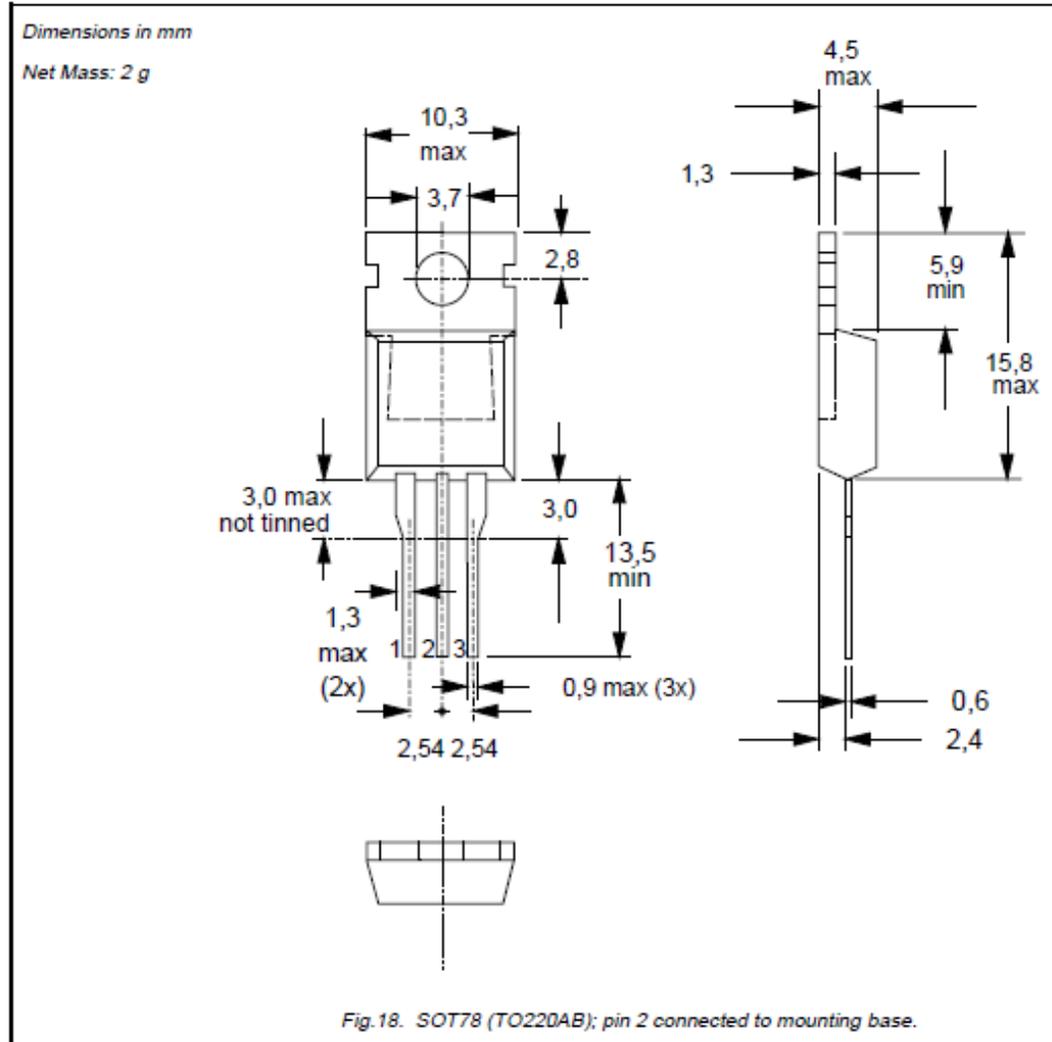
**N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor**

IRFZ44N

N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

MECHANICAL DATA



Notes

1. Observe the general handling precautions for electrostatic-discharge sensitive devices (ESDs) to prevent damage to MOS gate oxide.
2. Refer to mounting instructions for SOT78 (TO220) envelopes.
3. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".

N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values are given in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of this specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	
© Philips Electronics N.V. 1999	
All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.	
The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, it is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent or other industrial or intellectual property rights.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can be reasonably expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

Apéndice C Hoja de datos técnicos de lm555 timer

Dado que la hoja de datos técnicos es extensa, se colocan las hojas ocupadas.



Product Folder



Sample & Buy



Technical Documents



Tools & Software



Support & Community



LM555

SNAS548D – FEBRUARY 2000 – REVISED JANUARY 2015

LM555 Timer

1 Features

- Direct Replacement for SE555/NE555
- Timing from Microseconds through Hours
- Operates in Both Astable and Monostable Modes
- Adjustable Duty Cycle
- Output Can Source or Sink 200 mA
- Output and Supply TTL Compatible
- Temperature Stability Better than 0.005% per °C
- Normally On and Normally Off Output
- Available in 8-pin VSSOP Package

2 Applications

- Precision Timing
- Pulse Generation
- Sequential Timing
- Time Delay Generation
- Pulse Width Modulation
- Pulse Position Modulation
- Linear Ramp Generator

3 Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM555	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
	VSSOP (8)	3.00 mm × 3.00 mm

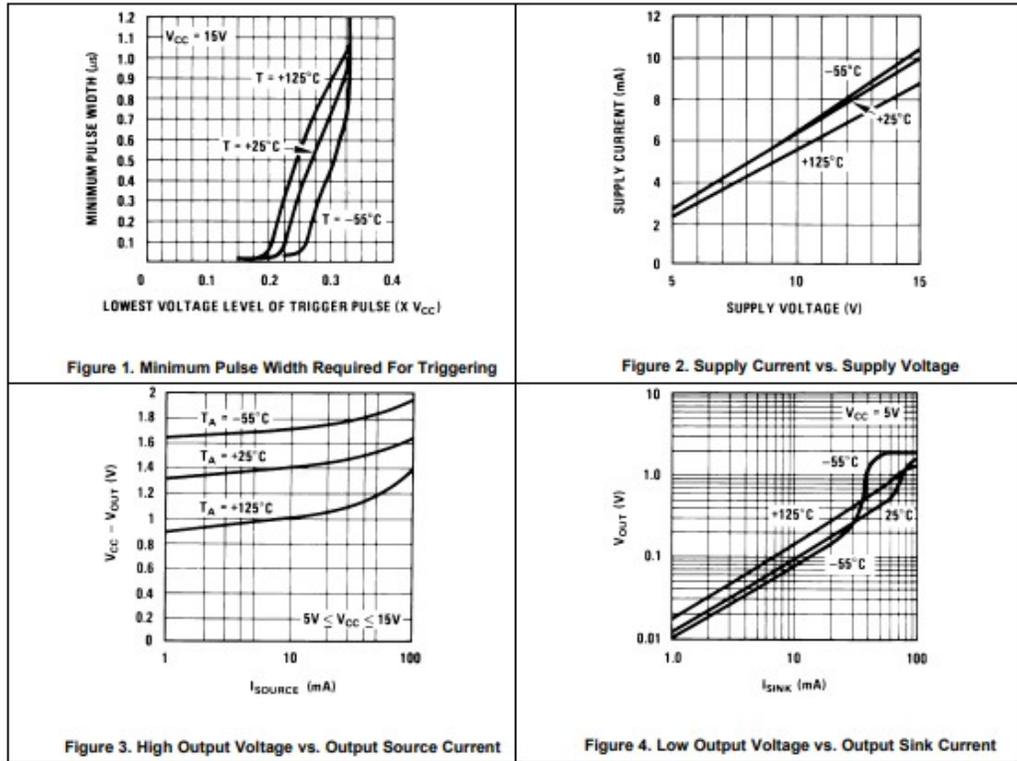
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Electrical Characteristics (continued)

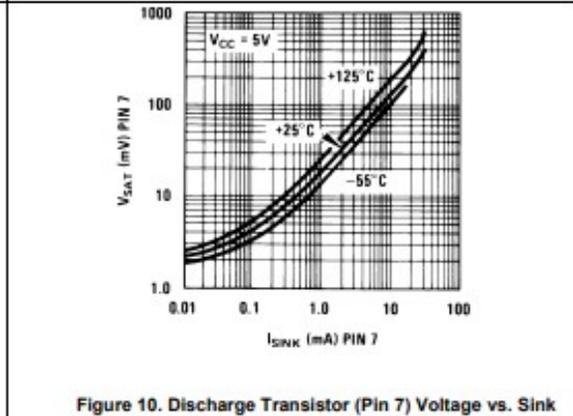
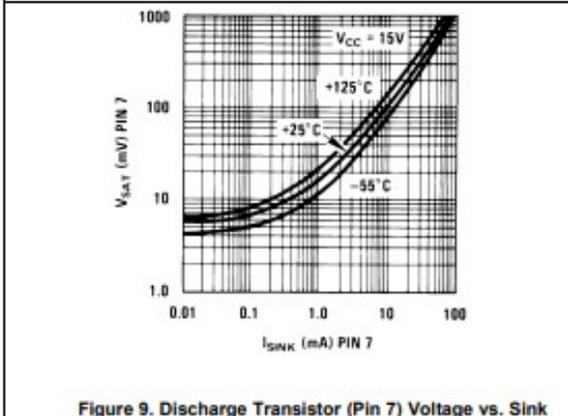
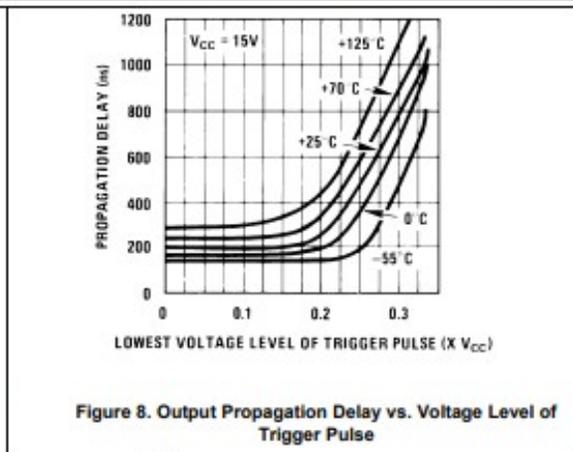
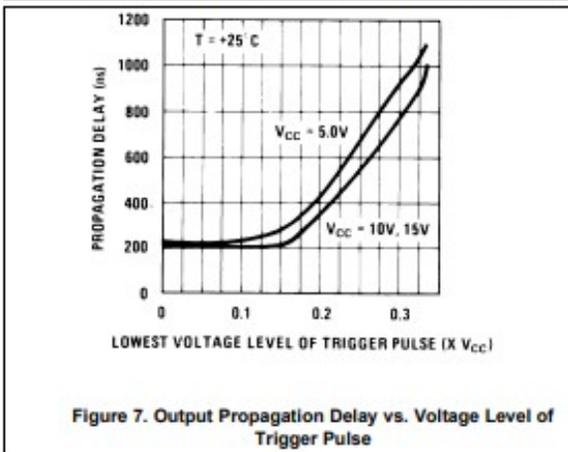
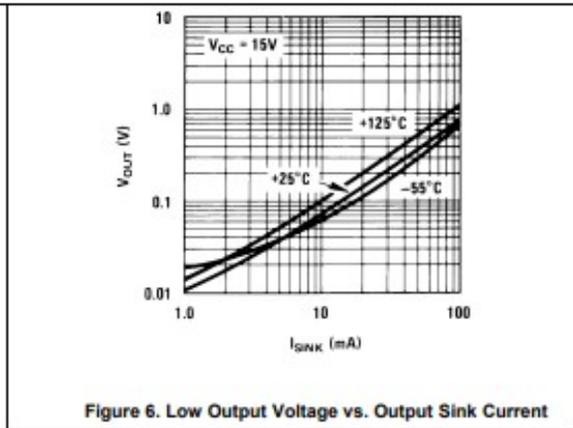
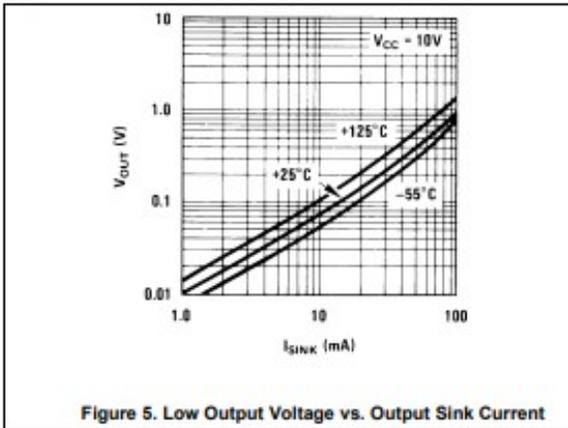
($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{ V to }15\text{ V}$, unless otherwise specified)⁽¹⁾⁽²⁾

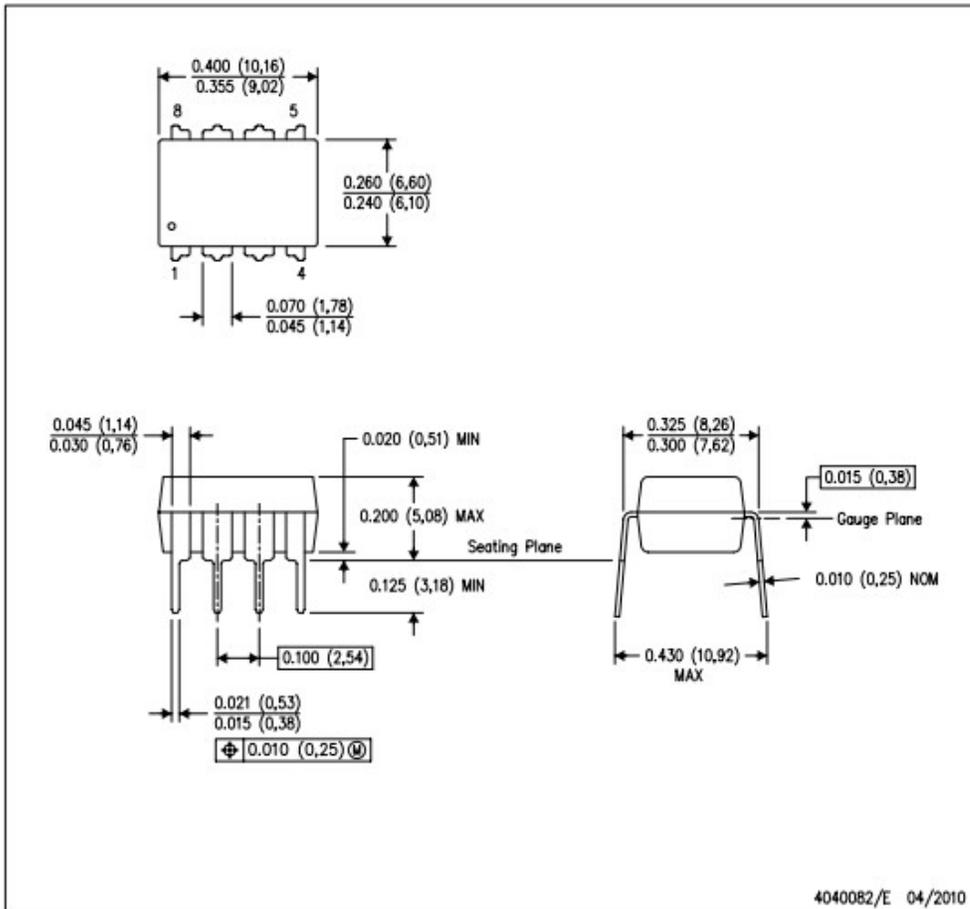
PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage Drop (High)	$I_{\text{SOURCE}} = 200\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$		12.5		V
	$I_{\text{SOURCE}} = 100\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{ V}$	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

6.6 Typical Characteristics



Typical Characteristics (continued)





- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

Apéndice D Hoja de datos técnicos de LDR



Email: info@sunrom.com or sunrom@pcworld.com

Visit us at <http://www.sunrom.com>

Document: Datasheet

Date: 28-Jul-08

Model #: 3190

Product's Page: www.sunrom.com/p-510.html

Light Dependent Resistor - LDR

Two cadmium sulphide(cds) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.



Applications

Photoconductive cells are used in many different types of circuits and applications.

Analog Applications

- Camera Exposure Control
- Auto Slide Focus - dual cell
- Photocopy Machines - density of toner
- Colorimetric Test Equipment
- Densitometer
- Electronic Scales - dual cell
- Automatic Gain Control – modulated light source
- Automated Rear View Mirror

Digital Applications

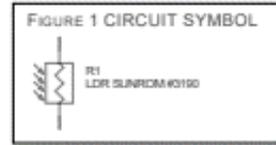
- Automatic Headlight Dimmer
- Night Light Control
- Oil Burner Flame Out
- Street Light Control
- Absence / Presence (beam breaker)
- Position Sensor

Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Cell resistance	1000 LUX	-	400	-	Ohm
	10 LUX	-	9	-	K Ohm
Dark Resistance	-	-	1	-	M Ohm
Dark Capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise Time	1000 LUX	-	2.8	-	ms
	10 LUX	-	18	-	ms
Fall Time	1000 LUX	-	48	-	ms
	10 LUX	-	120	-	ms
Voltage AC/DC Peak		-	-	320	V max
Current		-	-	75	mA max
Power Dissipation				100	mW max
Operating Temperature		-60	-	+75	Deg. C

Guide to source illuminations

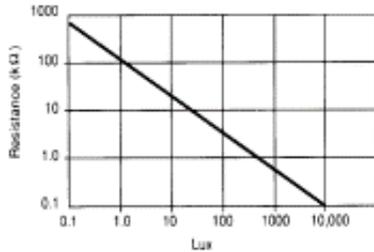
Light source illumination	LUX
Moonlight	0.1
60W Bulb at 1m	50
1W MES Bulb at 0.1m	100
Fluorescent Lighting	500
Bright Sunlight	30,000



Sensitivity

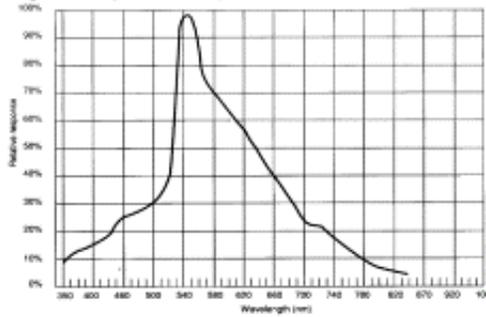
The sensitivity of a photodetector is the relationship between the light falling on the device and the resulting output signal. In the case of a photocell, one is dealing with the relationship between the incident light and the corresponding resistance of the cell.

FIGURE 2 RESISTANCE AS FUNCTION OF ILLUMINATION



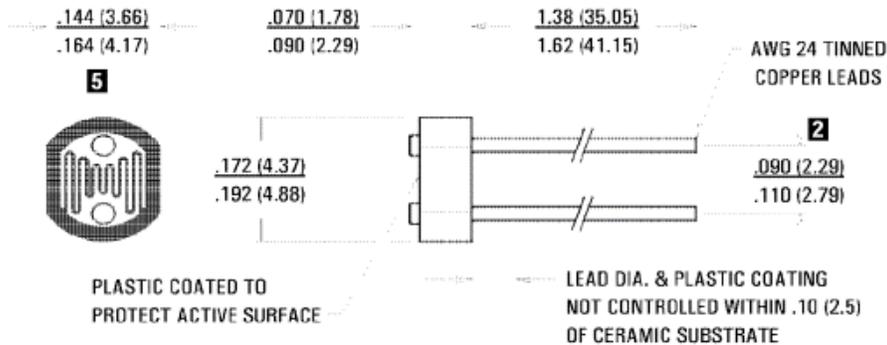
Spectral Response

Figure 3 Spectral response



Like the human eye, the relative sensitivity of a photoconductive cell is dependent on the wavelength (color) of the incident light. Each photoconductor material type has its own unique spectral response curve or plot of the relative response of the photocell versus wavelength of light.

Dimensions



Apéndice E Hoja de datos técnicos de LM2596

Dado que la hoja de datos técnicos es extensa, se colocan las hojas ocupadas



LM2596 Simple switcher Power Converter 150kHz 3A Step-Down Voltage Regulator

GENERAL DESCRIPTION

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, and an adjustable output version. Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-lead TO-220 package with several different lead bend options, and a 5-lead TO-263 surface mount package.

A standard series of inductors are available from several different manufacturers optimized for use with the LM2596 series. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage under specified input voltage and output load conditions, and $\pm 15\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring typically 80 μA standby current. Self protection features include a two stage frequency reducing current limit for the output switch and an over temperature shutdown for complete protection under fault conditions.

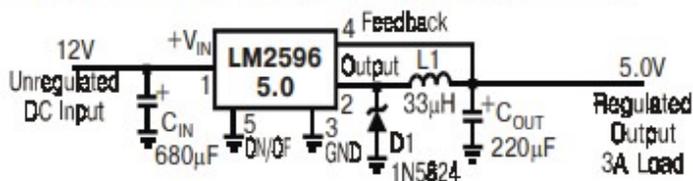
FEATURES

- 3.3V, 5V, 12V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.2V to 37V
- $\pm 4\%$ max over line and load conditions
- Available in TO-220 and TO-263 packages
- Guaranteed 3A output load current
- Input voltage range up to 40V
- Requires only 4 external components
- Excellent line and load regulation specifications
- 150 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability
- Low power standby mode, I_Q typically 80 μA
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection

APPLICATIONS

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter

TYPICAL APPLICATION (Fixed Output Voltage Versions)





LM2596 Simple switcher Power Converter 150kHz 3A Step-Down Voltage Regulator

PIN FUNCTIONS

+V_{IN} - This is the positive input supply for the IC switching regulator. A suitable input bypass capacitor must be present at this pin to minimize voltage transients and to supply the switching currents needed by the regulator.

Ground - Circuit ground.

Output - Internal switch. The voltage at this pin switches between (+V_{IN} - V_{SAT}) and approximately -0.5V, with a duty cycle of approximately V_{OUT}/V_{IN}. To minimize coupling to sensitive circuitry, the PC board copper area connected to this pin should be kept to a minimum.

Feedback —Senses the regulated output voltage to complete the feedback loop.

ON/OFF - Allows the switching regulator circuit to be shut down using logic level signals thus dropping the total input supply current to approximately 80 uA. Pulling this pin below a threshold voltage of approximately 1.3V turns the regulator on, and pulling this pin above 1.3V (up to a maximum of 25V) shuts the regulator down. If this shutdown feature is not needed, the ON /OFF pin can be wired to the ground pin or it can be left open, in either case the regulator will be in the ON condition.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Maximum Supply Voltage	45V
ON /OFF Pin Input Voltage	-0.3 ≤ V ≤ +25V
Feedback Pin Voltage	-0.3 ≤ V ≤ +25V
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally limited
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
ESD Susceptibility	
Human Body Model (Note 2)	2 kV
Lead Temperature S Package	
Vapor Phase (60 sec.)	+215°C
Infrared (10 sec.)	+245°C
T Package (Soldering, 10 sec.)	+260°C
Maximum Junction Temperature	+150°C

OPERATING CONDITIONS

Temperature Range	-40°C ≤ T _J ≤ +125°C
Supply Voltage	4.5V to 40V

LM2596-12

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Specifications with standard type face are for T_J = 25°C, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-12		Units (Limits)
			Typ (Note 3)	Limit (Note 4)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 5) Test Circuit Figure 1					
V _{OUT}	Output Voltage	15V ≤ V _{IN} ≤ 40V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 3A	12.0	11.52/ 11.40 12.48/ 12.60	V V(min) V(max)
η	Efficiency	V _{IN} = 12V, I _{LOAD} = 3A	90		%

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}\text{C}$, and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version and $V_{IN} = 24\text{V}$ for the 12V version. $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-XX		Units (Limits)
			Typ (Note 3)	Limit (Note 4)	
DEVICE PARAMETERS					
I_B	Feedback Bias Current	Adjustable Version Only, $V_{FB}=1.3\text{V}$	10	50/ 100	nA (max)
f_O	Oscillator Frequency	(Note 6)	150	127/ 110 173/ 173	kHz kHz (min) kHz (max)
V_{SAT}	Saturation Voltage	$I_{OUT}=3\text{A}$ (Notes 7, 8)	1.16	1.4/ 1.5	V V (max)
DC	Max Duty Cycle (ON) Min Duty Cycle (OFF)	(Note 8) (Note 9)	100 0		%
I_{CL}	Current Limit	Peak Current (Notes 7, 8)	4.5	3.6/ 3.4 6.9/ 7.5	A A (min) A (max)
I_L	Output Leakage Current	Output=0V (Notes 7, 9) Output=-1V (Note 10)		50 30	μA (max) mA mA (max)
I_Q	Quiescent Current	(Note 9)	5	10	mA mA (max)
I_{STBY}	Standby Quiescent Current	ON/OFF pin=5V (OFF) (Note 10)	80	200/ 250	μA μA (max)
θ_{JC} θ_{JA} θ_{JA} θ_{JA} θ_{JA}	Thermal Resistance	TO-220 or TO-263 Package, Junction to Case TO-220 Package, Junction to Ambient (Note 11) TO-263 Package, Junction to Ambient (Note 12) TO-263 Package, Junction to Ambient (Note 13) TO-263 Package, Junction to Ambient (Note 14)	2 50 50 30 20		$^{\circ}\text{C}/\text{W}$ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$
ON/OFF CONTROL Test Circuit Figure 1					
V_{IH} V_{IL}	ON/OFF Pin Logic Input Threshold Voltage	Low (Regulator ON) High (Regulator OFF)	1.3	0.6 2.0	V V (max) V (min)
I_H	ON/OFF Pin Input Current	$V_{LOGIC}=2.5\text{V}$ (Regulator OFF)	5	15	μA μA (max)
I_L		$V_{LOGIC}=0.5\text{V}$ (Regulator ON)	0.02	5	μA μA (max)

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

Note 2: The human body model is a 100 pF capacitor discharged through a 1.5k resistor into each pin.

Note 3: Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.

Note 4: All limits guaranteed at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are guaranteed via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).

Note 5: External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as



LM2596 Simple switcher Power Converter 150kHz 3A Step-Down Voltage Regulator

shown in the Figure 1 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section of Electrical Characteristics.

Note 6: The switching frequency is reduced when the second stage current limit is activated. The amount of reduction is determined by the severity of current over-load.

Note 7: No diode, inductor or capacitor connected to output pin.

Note 8: Feedback pin removed from output and connected to 0V to force the output transistor switch ON.

Note 9: Feedback pin removed from output and connected to 12V for the 3.3V, 5V, and the ADJ. version, and 15V for the 12V version, to force the output transistor switch OFF.

Note 10: $V_{IN} = 40V$.

Note 11: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the TO-220 package mounted vertically, with the leads soldered to a printed circuit board with (1 oz.) copper area of approximately 1 in²

Note 12: Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single printed circuit board with 0.5 in² of (1 oz.) copper area.

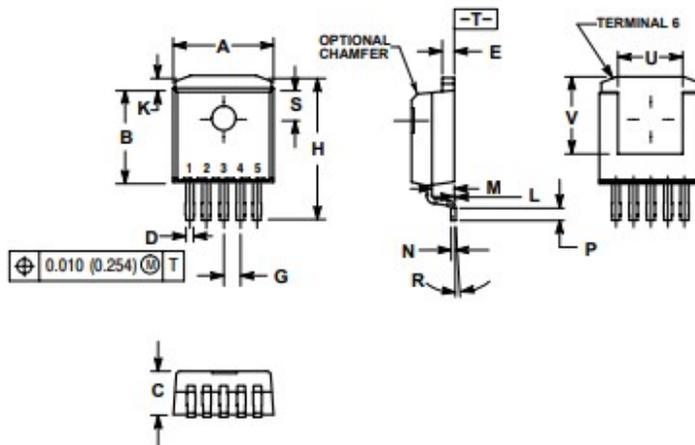
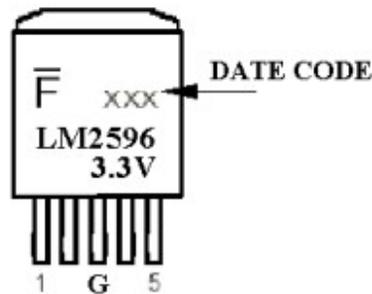
Note 13: Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 2.5 in² of (1 oz.) copper area.

Note 14: Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a double sided printed circuit board with 3 in² of (1 oz.) copper area on the LM2596S side of the board, and approximately 16 in² of copper on the other side of the p-c board.

TO-263-5L(D2PAK)



- Pin 1. V_{in}
2. Output
3. Ground
4. Feedback
5. ON



DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.386	0.403	9.804	10.236
B	0.356	0.368	9.042	9.347
C	0.170	0.180	4.318	4.572
D	0.026	0.036	0.660	0.914
E	0.045	0.055	1.143	1.397
G	0.067 BSC		1.702 BSC	
H	0.539	0.579	13.691	14.707
K	0.050 REF		1.270 REF	
L	0.030	0.010	0.000	0.254
M	0.088	0.102	2.235	2.591
N	0.018	0.026	0.457	0.660
P	0.058	0.078	1.473	1.981
R	5° REF		5° REF	
S	0.116 REF		2.946 REF	
U	0.200 MIN		5.080 MIN	
V	0.250 MIN		6.350 MIN	

Apéndice F Hoja de datos técnicos de la película PDLC

Thickness	0.54mm
Width	1/1.2/1.5m
Length	0-60m
Working Temperature	-10°C—45°C
Storage Temperature	-10°C—45°C
Working Voltage	48—65V (AC50/60HZ)
Current	0.08A/m ²
Power Consumption	5W/m ²
Transparency	78%—82%
Visual Angle	>140°
Switch Speed	<0.02s
Switch Lifetime	>80,000,00 (ON/OFF)
Lifetime	>50000 Hours