# Diseño del prototipo de una lámpara de mesa con iluminación general-difusa que funcione con el circuito Joule Thief utilizando como fuente de energía 2 baterías AA usadas.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

# Diseño del prototipo de una lámpara de mesa con iluminación general-difusa que funcione con el circuito Joule Thief utilizando como fuente de energía 2 baterías AA usadas.

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por
Jim Michael Nowell Barrios
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Tecnología Industrial.

Guatemala,
2017

Vo.Bo.:

(f)_____

Ingeniero Sergio Estuardo Barrera Urrutia

Tribunal Examinador

(f)_____

Ingeniero Sergio Estuardo Barrera Urrutia

(f)_____

Ingeniero Jorge Méndez Costa

(f)_____

Ingeniero Fernando Rivera Turcios

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de enero de 2017.

# Contenido

Lista de cuadros ..... vii

Lista de figuras ..... viii

Resumen ..... x

I. Introducción ..... 1

II. Objetivos ..... 3

A. General ..... 3

B. Específicos ..... 3

III. Justificación ..... 4

IV. Marco teórico ..... 5

C. Electricidad ..... 5

D. Ladrón de Joules. ..... 6

E. Batería ..... 8

F. Pila ..... 8

G. Bobina. ..... 10

H. Transistor ..... 10

I. LED ..... 11

J. Lámparas ..... 11

K. Interruptor ..... 13

L. Circuit Wizard ..... 13

M. SOLIDWORKS Standard ..... 14

N. Pruebas de hipótesis de dos muestras: muestras independientes ..... 15

O. Intervalos de confianza para una media poblacional ..... 16
V. Metodología ..... 17
A. Fase 1: Prueba en un circuito simple con 2 baterías AA nuevas. ..... 18
B. Fase 2: Prueba en circuito Joule Thief con 2 baterías AA nuevas ..... 21
C. Fase 3: Prueba en circuito Joule Thief con 2 baterías AA descartadas. ..... 23
D. Fase 4: Diseño del prototipo de lámpara de iluminación general-difusa. ..... 27
VI. Resultados ..... 31
A. Fase 1: Prueba en un circuito simple con 2 baterías AA nuevas. ..... 31
B. Fase 2: Prueba en circuito Joule Thief con 2 baterías AA nuevas. ..... 31
C. Fase 3: Prueba en circuito Joule Thief con 2 baterías AA descartadas. ..... 32
D. Fase 4: Diseño del prototipo de lámpara de iluminación general-difusa. ..... 32
VII. Análisis de resultados ..... 37
VIII. Conclusiones ..... 40
IX. Recomendaciones ..... 41
X. Bibliografía ..... 42
XI. Anexos ..... 43
ANEXO 1. Manual de especificaciones para LED ultraluminosos de 10milimetros. ..... 43
ANEXO 2. Planos de diseño de lámpara. ..... 45
ANEXO 3. Diagrama electrónico para cambio de circuito automático. ..... 50
XII. Glosario ..... 51

# LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Materiales utilizados para las pruebas. ..... 17
Tabla 2. Horas obtenidas durante las 5 pruebas de la fase 1..... 31
Tabla 3. Horas obtenidas durante las 5 pruebas realizadas en la fase 2..... 31
Tabla 4. Horas obtenidas durante las 5 pruebas realizadas en la fase 3..... 32
Tabla 5. Prueba t de Student para datos independientes realizada en Excel..... 32
Tabla 6. Intervalo de confianza realizado en Excel. ..... 33
Tabla 7. Comparación entre valor estadístico t y valor crítico t. ..... 37

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Joule Thief ..... 7
Figura 2. Clasificación de lámparas ..... 12
Figura 3. Software Circuit Wizard ..... 14
Figura 4 Software SOLIDWORKS standard ..... 15
Figura 5. Baterías RAYOVAC ..... 18
Figura 6. Diagrama par la prueba de la fase 1. ..... 18
Figura 7. Circuito de la fase 1 montado en protoboard. ..... 19
Figura 8. Medición de amperaje durante la primera fase. ..... 20
Figura 9. Medición de voltaje durante la primera fase. ..... 20
Figura 10. Diagrama para la fase 2 implementando el circuito Joule Thief. ..... 21
Figura 11. Circuito para la fase 2 montado en protobard. ..... 21
Figura 12. Medición de amperaje durante la fase 2. ..... 22
Figura 13. Medición de voltaje durante la fase 2. ..... 22
Figura 14. Medición de amperaje durante la fase 3. ..... 23
Figura 15. Medición de voltaje durante la fase 3. ..... 24
Figura 16 Análisis de datos Excel, prueba T para dos muestras. ..... 24
Figura 17. Función de media geométrica en Excel ..... 25
Figura 18. Función de desviación standard en Excel. ..... 26
Figura 19. Intervalo de confianza t en Excel. ..... 26
Figura 20. Diseño en SOLIDWORKS standard de placa con LED. ..... 28
Figura 21. Diseño en SOLIDWORKS standard de placa con circuito Joule Thief. ..... 28
Figura 22. Diseño de la estructura del pie de la lámpara en SOLIDWORKS standard ..... 29
Figura 23. Diseño de la estructura de la pantalla de la lámpara en SOLIDWORKS standard . 30
Figura 24. Ensamblaje final del prototipo de la lámpara en SOLIDWORKS standard ..... 30
Figura 25. Diseño final de prototipo de lámpara ..... 33

Figura 26. Partes del prototipo de la lámpara ..... 34
Figura 27. Corte transversal del prototipo de la lámpara. ..... 34
Figura 28. Circuito final para el prototipo, normal y Joule Thief. ..... 35
Figura 29 Circuito LED final. ..... 36

# RESUMEN

Generalmente, en la mayoría de los hogares existen dispositivos que utilizan baterías para su funcionamiento, comúnmente cuando los dispositivos dejan de funcionar a causa del bajo voltaje de las batearías estas sean reemplazadas, aunque tengan energía para ser usadas en otro dispositivo.

El desarrollo del presente trabajo de graduación determina la mejor manera de reutilizar las baterías que generalmente ya están descartadas para usos con cualquier dispositivo, o alargar la vida de las baterías en un equipo que es de utilidad en todos los hogares, una lámpara LED.

El proceso de investigación se dividió en cuatro fases, en las cuales se realizaron pruebas en dos circuitos diferentes para hacer iluminar 5 LED, utilizando como fuente de energía 2 baterías AA, nuevas, y una prueba donde se utilizaban baterías que por su poco voltaje no eran capaces de encender un LED.

El circuito encargado de aumentar la vida útil de las baterías es el oscilador de bloqueo, conocido como Joule Thief, el cual drena por completo la energía de una batería amplificando el voltaje de la misma.

Al finalizar el proceso de las pruebas se determinó que si se emplean baterías nuevas desde un inicio en el circuito Joule Thief estas serán drenadas más rápido que utilizando un circuito normal, por lo que en la cuarta fase se diseñó un prototipo de lámpara LED que mezcla ambos circuitos, el cual con un interruptor se puede elegir entre utilizar el circuito simple donde las baterías alimenten directamente a los LED y en la otra posición permite a las baterías alimentar el Joule Thief cuando las mismas están descargadas.

# I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayoría de lámparas están evolucionando y están dejando de utilizar las bombillas incandescentes para empezar a utilizar los LED, el cual es un Diodo emisor de luz que funciona con corriente continua, y es capaz de ahorrar hasta cuatro veces el consumo de energía comparado con una bombilla incandescente.

Tomando como base este criterio se buscó diseñar una lámpara de iluminación general-difusa que funcione a base de LED, que sea capaz de funcionar con baterías AA y al mismo tiempo que sea capaz de aumentar el tiempo de vida de las mismas, permitiendo así aprovechar al máximo las baterías, desde que son nuevas hasta que quedan completamente sin voltaje y ya no funcionan en otros dispositivos, pero aún tienen voltaje almacenado que puede ser drenado y encender los LED de la lámpara, las baterías utilizadas son AA RAYOVAC ya que son las más fáciles de encontrar en cualquier tienda de conveniencia.

Para poder determinar la mejor forma de construir el prototipo se realizaron tres pruebas diferentes, donde se llevó un registro del tiempo en el cual dos baterías de zinc cargadas por completo, conectadas en serie, son capaces de mantener funcionando 5 LED ultraluminosos conectados en paralelo. Dos baterías con las mismas condiciones son capaces de mantener funcionando 5 LED ultraluminosos conectados en paralelo, pero esta vez pasando por el circuito Joule Thief el cual tiene como función drenar las baterías aumentando la tensión entregada por las mismas; mientras que la última prueba consiste en utilizar baterías cuyo voltaje no es suficiente para encender los 5 LED ya que estos entran en función de corte cuando el voltaje es bajo, por lo tanto se hará pasar por el circuito Joule Thief, llevando un registro del tiempo en el que el circuito drena por completo las baterías hasta que sea incapaz de mantener encendido los LED.

El análisis de las pruebas se hizo utilizando la prueba T de Student para muestras independientes ya que se quiere comparar el tiempo en horas obtenidas durante la fase 1 y durante la fase 2 para saber en cuál de los dos circuitos las baterías duran más tiempo.

Así mismo se utilizaron los intervalos de confianza para determinar un rango de horas en las cuales las baterías utilizadas en el circuito normal tardan en drenarse por completo utilizando el circuito Joule Thief.

Como hipótesis se tiene que el circuito implementado en la fase 2 consume más corriente por lo que las baterías tienden a descargarse más rápidamente que el circuito normal.

Los análisis de los datos lleva a diseñar una lámpara cuyo circuito permita utilizar las función normal de una lámpara LED y la función de drenado de baterías utilizando el Joule Thief. Para que cuando se utilicen baterías nuevas en la lámpara, primero se utilice el circuito normal y cuando las mismas baterías no sean capaces de encender los LED se cambie a función de drenado de baterías lo que aumenta el tiempo de vida de las baterías en la lámpara.

# II. OBJETIVOS

## A. GENERAL

- Diseñar el prototipo de una lámpara que funcione utilizando el circuito Joule Thief, y encontrar la mejor forma de emplear las baterías en este circuito.

## B. ESPECÍFICOS

- Determinar el tiempo de vida útil de dos baterías nuevas en un circuito Joule Thief para una lámpara.

- Determinar el tiempo de vida útil de dos baterías usadas en un circuito Joule Thief para una lámpara.

- Determinar el tiempo de vida útil de dos baterías nuevas en un circuito de una lámpara simple.

- Diseño del prototipo de una lámpara basada en el circuito Joule Thief que utilice dos baterías AA como fuente de alimentación.

# III. JUSTIFICACIÓN

La finalidad de esta investigación es poder darle una segunda oportunidad a las baterías que se consideran inútiles por su falta de voltaje y ocasionando que ciertos dispositivos dejen de funcionar. Así mismo determinar la mejor forma de utilizar las baterías empleando el circuito Joule Thief para diseñar una lámpara. Por lo tanto, se busca poder aprovechar el voltaje mínimo que tienen las baterías ya usadas, dándoles un último uso antes de ser desechadas definitivamente

El empleo de una lámpara que funcione con baterías que se suponen inservibles servirá en hogares de escasos recursos como una fuente de iluminación extra, aprovechando de esta manera el costo de las baterías. Y no necesariamente será aprovechado en hogares de escasos recursos, la utilización de esta lámpara estaría destinada a cualquier persona que desee aprovechar sus baterías.

Cuando la investigación finalice y se determine el tiempo de utilidad de las baterías usadas en la lámpara Joule Thief, se podría implementar en los diversos proyectos que realiza la Universidad Del Valle de Guatemala para contribuir con las personas de escasos recursos.

Se busca determinar si se puede aumentar la duración de una batería si se emplea desde que está nueva en el circuito Joule Thief.

# IV. MARCO TEÓRICO

## A. ELECTRICIDAD

Actualmente se puede escuchar que muchos piensan y mencionan que el mundo se mueve gracias a la electricidad, este fenómeno que vino a revolucionar la vida, pero ¿qué es electricidad?, la pregunta permanece aún sin respuesta, ya que se piensa en electricidad como la fuerza que mueve electrones en palabras muy sencillas. Dicho esto la electricidad entonces se encarga de mover los electrones que posee un átomo que está en un cuerpo, por lo tanto la electricidad se puede transmitir de un cuerpo a otro siempre que sea conducida por diferentes elementos, entonces todos los cuerpos son capaces de transmitir energía, claro está, que unos cuerpos la pueden transmitir más fácilmente que otros. A los cuerpos que conducen fácilmente la electricidad se les llama conductores como lo son los metales, y a los peores conductores se les llama aislantes como los plásticos. (Harper E. , 1994, pág. 16)

1. Voltaje o tensión. Es la comparación de la energía que experimenta una carga entre dos ubicaciones, siendo de una forma explicada, el diferencial eléctrico que existe entre dos cuerpos con diferente carga eléctrica. (Richard, 1994, pág. 18). Por otro lado Richard en su libro nos dice el voltaje, tensión o diferencia de potencial es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica sobre las cargas eléctricas, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

2. Corriente eléctrica. La corriente eléctrica es el la cantidad de flujo que pasa por un punto en un segundo, expresándose la corriente eléctrica como Columbs por segundos, a lo que se le define como Amperio. (Richard, 1994, pág. 13)

3. Resistencia. Dentro de un circuito eléctrico, una resistencia es el elemento que se opone a la circulación de corriente. (Harper E. , 1994).

4. Corriente alterna. La corriente alterna es la corriente en la que se tiene un constante cambio de polaridades, este cambio lo hace constantemente en cada ciclo de tiempo. Con la corriente alterna nos percatamos de que por un instante un polo se vuelve positivo y el otro polo negativo, después estos polos cambian su polaridad, este cambio se realiza tantas veces como ciclos por segundo posea la corriente, a estos ciclos por segundo también se les llama Hertz.

Un dato importante es conocer que la corriente siempre fluirá del polo negativo al positivo. En América el voltaje de la corriente alterna, (también llamado AC o CA) es de 110 o 120 voltios, con una frecuencia de 60Hz. Mientras que en Europa el voltaje de la corriente alterna es de 220 o 240 voltios, y esta corriente con una frecuencia de 50Hz.

Lo más común es que la corriente alterna sea generada de diversos métodos empleando generadores de corriente o alternadores, entre estos métodos tenemos hidroeléctricas, plantas térmicas, centrales atómicas. (Harper G. E., 1994)

5. Corriente continua. La corriente continua es en la que a diferencia de la corriente alterna, no se tienen cambios de polaridades, por lo tanto los electrones fluyen siempre en un mismo sentido siempre que el circuito eléctrico en el que se encuentren este cerrado. Los electrones en corriente directa (también llamada DC o CD) se mueven del polo negativo hacía el polo positivo. La corriente directa a diferencia de la alterna, si puede almacenarse, y para ello se emplean las pilas o baterías.

En la actualidad la corriente directa se utiliza para hacer funcionar muchos aparatos que funcionan con corriente elementos electrónicos. Como bien sabemos en todos los hogares se cuenta con corriente alterna, por lo que nuestros aparatos para poder funcionar necesitan convertir esta corriente alterna en directa por medio de un transformador y rectificador.

Para que exista entonces el flujo de electrones es necesario que exista el voltaje, como ya sabemos el voltaje es la fuerza que hace que los electrones se muevan, en la corriente directa el voltaje suele ser poco, a diferencia de la corriente alterna. (García Álvarez, 1994)

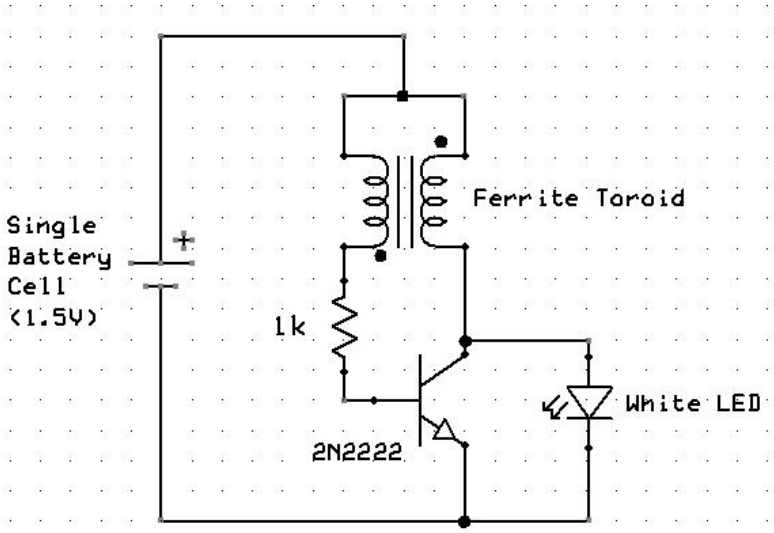
## B. LADRÓN DE JOULES.

El ladrón de Joules o Joule Thief utiliza el cambio de ciclo de la bobina que genera un campo magnético y con ello crea una frecuencia con un empuje de corriente.

Si se observa el funcionamiento de un regulador Boost notará que es muy similar al funcionamiento del Joule Thief, lo que hace es cargar una bobina con corriente y luego descargarla en algún elemento, con ello aumenta el voltaje o se obtiene una serie de impulsos de corriente.

Su funcionamiento se debe a las bobinas que comparten un núcleo, y al campo magnético que generan estas bobinas para oscilar.

Figura 1. Diagrama Joule Thief




(Argos, 2014)

.

Como se puede observar en la Figura 1, el circuito posee dos bobinas, para que los campos asociados puedan interactuar entre sí se utiliza como bobinas un toroide de ferrita, gracias a esto se evita que el espacio entre las bobinas y el núcleo interfiera y arruine el circuito.

Su funcionamiento es el siguiente: cuando la corriente circula por una de las bobinas a la que denominaremos L2, se empieza a cargar, después de un tiempo de estar cargando esta bobina el campo magnético asociado empieza a ser más grande y en sentido contrario al de la otra bobina (L1). Y por lo tanto el voltaje del colector-emisor empieza a crecer.

Cuando el campo de L2 es mayor bloquea el campo de L1, produciendo un pico de voltaje negativo en la base, con lo que el transistor deja de conducir y ya no se carga la bobina L1. Cuando esto ocurre la energía almacenada en L2 no tiene otro lugar para salir más que por el elemento de salida, en el caso del diagrama, un LED. Cuando esto ocurre la bobina se polariza creando así dos fuentes en serie, una de ellas es la batería colocada en la alimentación y la otra es la fuente temporal o la bobina L2. Estas dos fuentes de energía superan el voltaje requerido por el elemento de salida, logrando así su funcionamiento.

Mientras L2 tenga carga el elemento de salida estará funcionando, cuando L2 no tenga la carga suficiente el transistor puede volver a conducir corriente y comienza de nuevo el ciclo de carga para L2. Este ciclo ocurre muy rápido por lo que no es perceptible para la vista. (Argos, 2014).

Los elementos básicos para realizar el circuito son:

- Un anillo de ferrita magnética de cualquier tamaño.
- Una resistencia de 1k (1000 Ohm) de un 1/4 de vatio o 1/2 vatio.
- Un transistor tipo NPN como el BC549, el MPS2222A, o equivalentes
- Un diodo LED de alto brillo.
- Alambre de cobre esmaltado.

## C. BATERÍA

La corriente directa se puede almacenar en un acumulador o batería, la forma de almacenaje de energía es por medio de un reposo químico, siendo este tipo de almacenaje la base de las energías fósiles y de las baterías que transforman esta energía en electricidad. Por lo general, las baterías pueden volver a recargarse al conectarlas a una fuente de alimentación. Las baterías tienen celdas con electrodos que están en contacto con el electrolito. (Richard, 1994, pág. 59)

## D. PILA

Una pila transforma la energía de una reacción química en energía eléctrica. Las pilas permiten obtener energía gracias a una reacción llamada oxido reducción, esto ocurre cuando un elemento químico es elevado a su estado de valencia superior y el otro elemento químico es reducido a su estado de valencia inferior. Como hemos visto anteriormente, una batería se compone de varias pilas o celdas.

- Las pilas primarias son las que tienen una reacción química irreversible (no recargables)
- Las pilas secundarias si tienen una reacción química reversible (recargables)

- El ánodo es el electrodo donde se produce la oxidación.
- El cátodo es el electrodo donde se produce la reducción.

Los tipos de pilas son:

1. De Cinc/Carbono (pilas secas). Basadas en la oxidación del cinc en medio ligeramente ácido, están compuestas por cinc metálico, cloruro de amonio y dióxido de manganeso. Son las llamadas pilas comunes. Sirven para aparatos sencillos y de poco consumo.

2. De Cinc/Diodo de manganeso. La diferencia con la pila seca es el electrolito utilizado, en este caso, hidróxido de potasio, en vez de cloruro de amonio, y el cinc está en polvo. Son las de larga duración. Casi todas vienen blindadas, lo que dificulta el derramamiento de los constituyentes. Sin embargo, este blindaje no tiene duración ilimitada

3. De Níquel/Cadmio. Están formadas por hidróxido de níquel, hidróxido de potasio y cadmio metálico. Pueden ser recargadas hasta 1000 veces y alcanzan a durar decenas de años, sin embargo poseen baja tensión. No contienen mercurio, pero el cadmio es un metal con características tóxicas.

4. De botón. Son pequeñas de forma chata y redonda. El mercado de artículos electrónicos requiere cada vez más de ellas. Son imprescindibles para audífonos, marcapasos, relojes, calculadoras y aparatos médicos de precisión.

5. Baterías de Plomo/Ácido. Son las baterías usadas generalmente en automóviles, sus elementos constitutivos son pilas individualmente formadas por un ánodo de plomo, un cátodo de óxido de plomo y ácido sulfúrico como medio electrolítico.

6. De Níquel/Hidruro metálico. Son baterías secundarias capaces de almacenar hidrógeno, que cumple el papel de ánodo. La densidad de energía producida por las pilas Ni/MH es el doble de la producida por las Ni/Cd, a voltajes operativos similares, por lo que representan la nueva generación de pilas recargables que reemplazará a estas últimas.

7. De Litio. Producen tres veces más energía que las pilas alcalinas, considerando tamaños equivalentes, y poseen también mayor voltaje inicial que éstas (3 voltios). Se utilizan en relojes, calculadoras, flashes de cámaras fotográficas y memorias de computadoras. (Richard, 1994, págs. 62-68)

## E. BOBINA.

Para la incrementar la energía eléctrica que circulará a través del circuito Joule Thief es necesario utilizar una bobina eléctrica. La bobina eléctrica no es más que un componente pasivo que genera un flujo magnético cuando se hace circular corriente por sus polos, es un arrollamiento de hilo conductor bañado por un barniz que le produce aislamiento eléctrico con el fin de evitar cortocircuitos, el arrollamiento es de forma helicoidal. (Donate, 1999)

## F. TRANSISTOR

Un transistor es un elemento semiconductor que se encarga de amplificar, abrir o cerrar un circuito. Con el paso del tiempo el transistor se ha vuelto el principal componente de todos los circuitos digitales, fue inventado desde el año 1947 en Bell Labs y desde ese entonces el transistor se sigue utilizando.

Debemos saber que los amplificadores tienen las funciones de un oscilador, amplificador, conmutador o rectificador.

Han permitido el diseño de circuitos electrónicos de reducido tamaño, gran versatilidad y facilidad de control. Su función como interruptor es cuando deja pasar o cortar señales eléctricas a partir de una pequeña señal de mando.

Sus funciones en un circuito pueden ser tres:

1. Función activa. Es cuando el transistor dentro del circuito deja pasar más o menos corriente.

2. Función de corte. Es cuando el transistor dentro del circuito no deja pasar corriente.

3. Función de saturación. Es cuando el transistor dentro del circuito deja pasar toda la corriente. (Rashid, 2004)

## G. LED

El LED es un semiconductor que tiene la característica principal de convertir la corriente eléctrica de bajo voltaje en luz. LED significa en ingles Light Emitting Diode, o Diodo Emisor de Luz. Físicamente un LED es un pequeño bulbo que carece de filamento, se debe aclarar que un diodo no contamina el medio ambiente.

En un inicio su funcionamiento era únicamente indicar cuando un aparto se encontraba conectado a la red eléctrica. En la actualidad gracias a múltiples investigaciones se ha podido reproducir todos los colores del espectro electromagnético visibles al ojo humano incluyendo el blanco, y los no visibles como el infrarrojo, y el ultravioleta. Al mismo tiempo se ha incrementado varias veces la eficiencia lumínica de los LED hasta tal punto que hoy en día pueden llegar a superar en algunos casos la iluminación que normalmente proporciona una lámpara incandescente de más potencia en watts.

Dependiendo el material del semiconductor del cual está diseñado así será el color que emitirá el LED. Todos los diodos constituyen una construcción sólida y ésta como una de sus características es que no poseen filamentos incandescentes ni partes frágiles de vidrio. Está constituido de dos terminales que atraviesan su base y salen al exterior. Son alimentados con corriente directa. Generalmente la terminal más corta representa al polo negativo, mientras el más largo al positivo. Según sus características pueden operar a una tensión de 1 a 4 voltios y tienen una vida extensa aproximadamente 50 mil horas. (Richard, 1994, pág. 72)

## H. LÁMPARAS

La iluminación es uno o un conjunto de dispositivos que producen ciertos efectos luminosos con el fin de conseguir la iluminación adecuada al uso requerido.

Según el flujo luminoso emitido por las lámparas sobre una superficie existe una clasificación, la clasificación es la siguiente:

1. Iluminación directa. Es cuando la iluminación emitida hacia abajo es del 90 al 100%.

2. Iluminación semi-directa. Se da cuando el 60 o 90% es emitido hacía bajo y el resto se dirige hacía el techo.

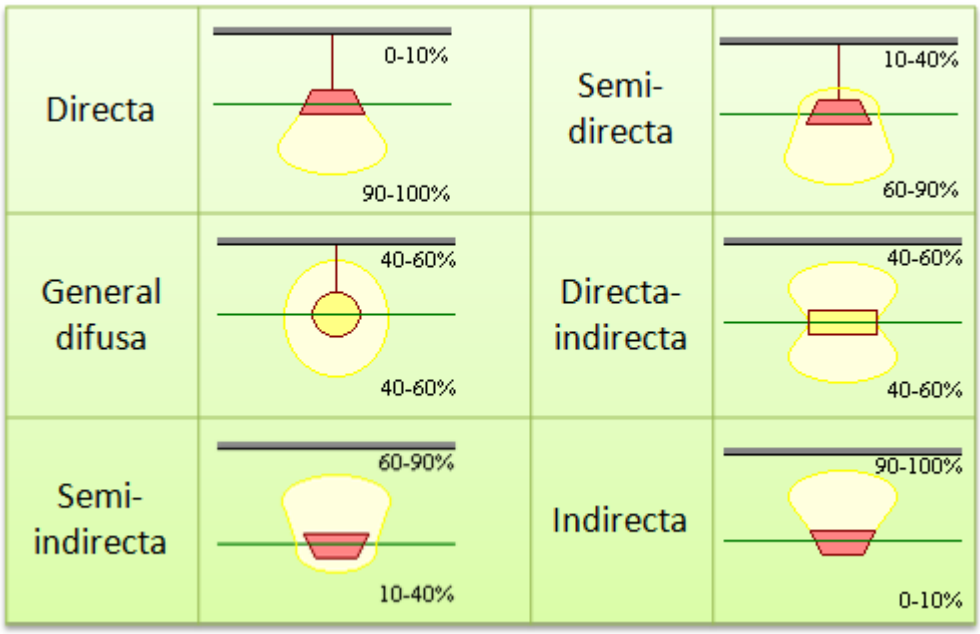
3. Iluminación general-difusa. Es cuando la cantidad luminosa es emitida entre un 40 o 60% de forma general.

4. Iluminación semi-directa. Se da cuando el sistema emite entre el 60 al 90% de su flujo hacía arriba.

5. Iluminación indirecta: Se da cuando entre el 90 al 100% del flujo es emitido hacia arriba. (Oriol Boix, s.f).

En la Figura 2 se puede observar la clasificación de las lámparas.

Figura 2. Clasificación de lámparas.




(López, 2016)

# I. INTERRUPTOR

Durante el diario vivir se hace uso de diversidad de interruptores y pulsadores, sin saber la ciencia que se esconde tras de ellos, sin conocer su simple funcionamiento, Richard (Richard, 1994, pág. 80) define un interruptor como un elemento intercalado en un circuito eléctrico con capacidad para interrumpir la circulación de corriente eléctrica, haciendo que el circuito deje de funcionar.

Los interruptores están fabricados normalmente de elementos metálicos, su constitución se forma a partir de un elemento conductor que se encuentra protegido por un recubrimiento plástico para evitar contacto con la parte conductora y sufrir de descargas eléctricas.

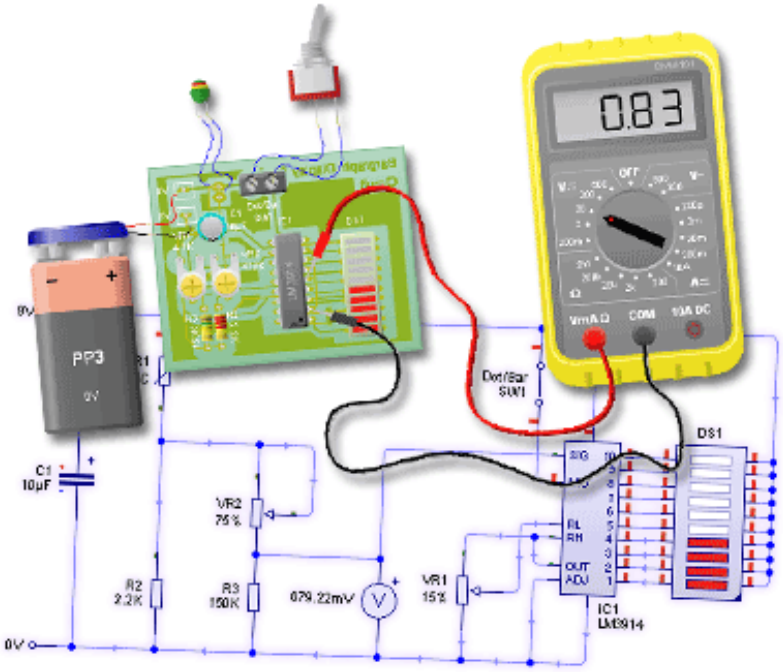
Como se mencionó con anterioridad el funcionamiento del interruptor es bastante básico, y se basa en abrir y cerrar el circuito en determinado punto, cortando así el paso de la corriente a través de los conductores. La pieza móvil del interruptor se separa de la pieza fija, interrumpiendo así el paso del flujo de corriente.

# J. CIRCUIT WIZARD

El software Circuit Wizard es un producto que combina diseños de circuitos, diseños PCB, simulación y fabricación CAD/CAM.

Siendo un software completo proporciona todas las herramientas necesarias para poder producir un proyecto de electrónica desde el principio hasta el final, permite realizar pruebas en el ordenador desde el PCB antes de la fabricación. (concepts, new wave;, 2016)

Figura 3. Software Circuit Wizard.

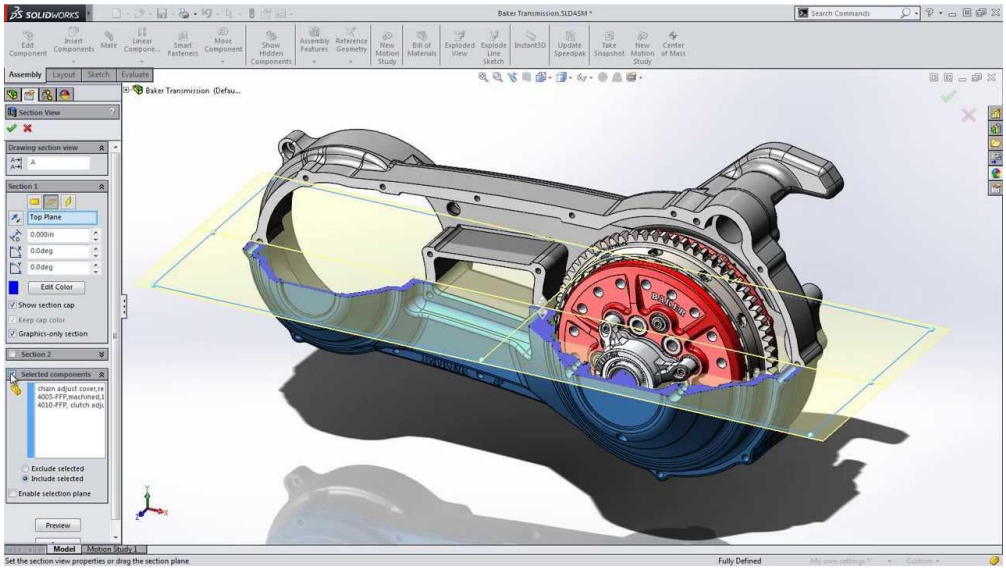



(concepts, new wave;, 2016)

## K. SOLIDWORKS STANDARD

El software SOLIDWORKS® standard es un software muy sencillo de utilizar, cuenta con un rendimiento óptimo y funciones consistentes de diseño en 3D. SOLIDWORKS Standard permite crear piezas, ensamblajes y dibujos para entornos de producción totalmente detallados, así como también ofrece acceso a todas las herramientas necesarias para generar superficies complejas, chapas desplegadas de chapa metálica y ensamblajes soldados estructurales. Además, SOLIDWORKS standard incluye asistentes para automatizar los diseños, realizar análisis de tensión y determinar el impacto medioambiental de los componentes. (Dassault Systèmes SolidWorks Corp, 2016).

Figura 4 Software SOLIDWORKS standard



(Dassault Systèmes SolidWorks Corp, 2016)

## L. PRUEBAS DE HIPÓTESIS DE DOS MUESTRAS: MUESTRAS INDEPENDIENTES

La prueba T de Student es un análisis paramétrico que nos permite evaluar la diferencia significativa entre las medias de dos grupos o dos categorías dentro de una misma variable dependiente, sin embargo la comparación entre las dos medias se tiene que dar solo si las dos muestras han sido obtenidas de manera independiente entre sí.

Para dicha prueba se deben plantear dos hipótesis, la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula establece que un parámetro de población es igual a un valor y suele ser la afirmación inicial, mientras que la hipótesis alternativa dice que el parámetro de población es diferente al de la hipótesis nula y es la que el autor de la prueba tiende a creer que es la correcta. (Lind, 2012).

La fórmula utilizada para resolver esta prueba, también denominada Prueba T de Student para datos no relacionados o para pruebas independientes es la que se muestra en la fórmula 1.

Fórmula 1. Prueba media de dos muestras desconocidas.

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{s_p^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

## M. INTERVALOS DE CONFIANZA PARA UNA MEDIA POBLACIONAL

El intervalo de confianza se calcula utilizando la media muestral y la desviación estándar, la última sabemos que mide la dispersión de una población. Cuyo resultado por dos números entre los cuales se espera que este cierto valor desconocido con una estimada probabilidad de acierto. Para resolver este tipo de análisis se debe tener un nivel de confianza estimado que es la probabilidad de acierto del rango obtenido en la respuesta.

En otras palabras es el conjunto de valores que se forma a partir de una muestra de datos de forma que exista la posibilidad de que el parámetro poblacional ocurra dentro de dicho conjunto con una probabilidad específica. La probabilidad específica recibe el nombre de nivel de confianza.

El intervalo de confianza se calcula empleando siguiendo la fórmula 2. (Lind, 2012)

Fórmula 2. Intervalo de confianza con una desviación estándar conocida.

$$\overline{X} \pm z\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

# V. METODOLOGÍA

El trabajo de graduación se divide en cuatro fases:

- Fase 1: Prueba en un circuito simple con 2 baterías AA nuevas.
- Fase 2: Prueba en circuito Joule Thief con 2 baterías AA nuevas.
- Fase 3: Prueba en circuito Joule Thief con 2 baterías AA descartadas.
- Fase 4: Diseño del prototipo de lámpara de iluminación general-difusa.

Para la construcción de los circuitos para las pruebas se utilizaron los materiales descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales utilizados para las pruebas.

| Materiales | Cantidad |
|---|---|
| LED ultraluminosos | 10 |
| Resistencias de 120 ohmios | 10 |
| Bobina Ferromagnetica Toroidal | 1 |
| Transistor 2N3904 | 1 |
| Pines | 4 |
| Cable para Protoboard rojo y negro | 1 Metro |
| Resistencia de 1 kilo ohmio | 1 |
| Protoboard | 2 |
| Multimetro | 1 |

Para las pruebas en los circuitos se decidió utilizar 2 baterías de Zinc Carbón AA marca RAYOVAC (Ver Figura 5) ya que es económica, y se puede encontrar en la mayoría de tiendas de conveniencia.

Los datos técnicos de los LED utilizados se encuentran en el Anexo 1.

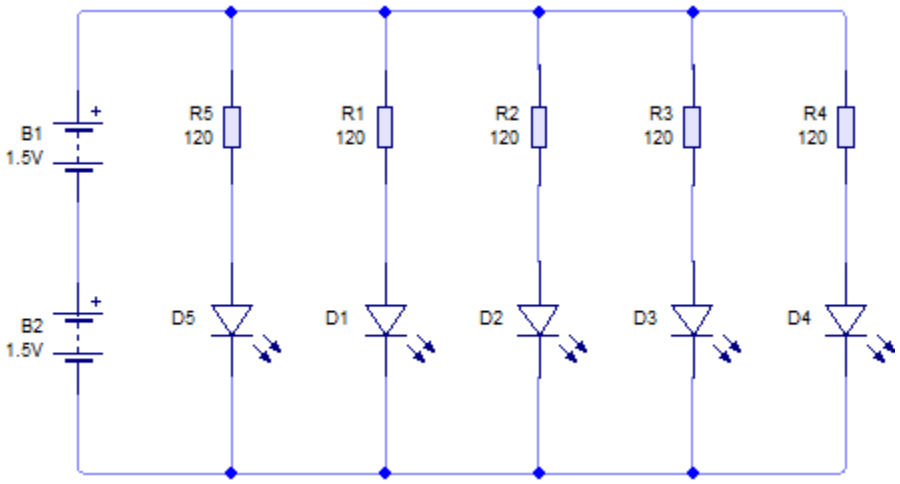
La fase 1 a la fase 3 se repitió 5 veces para obtener una muestra y aplicar un análisis estadístico sobre los resultados en horas obtenidos en cada una de las tres fases.

Figura 5. Baterías RAYOVAC

## A. Fase 1: Prueba en un circuito simple con 2 baterías AA nuevas.

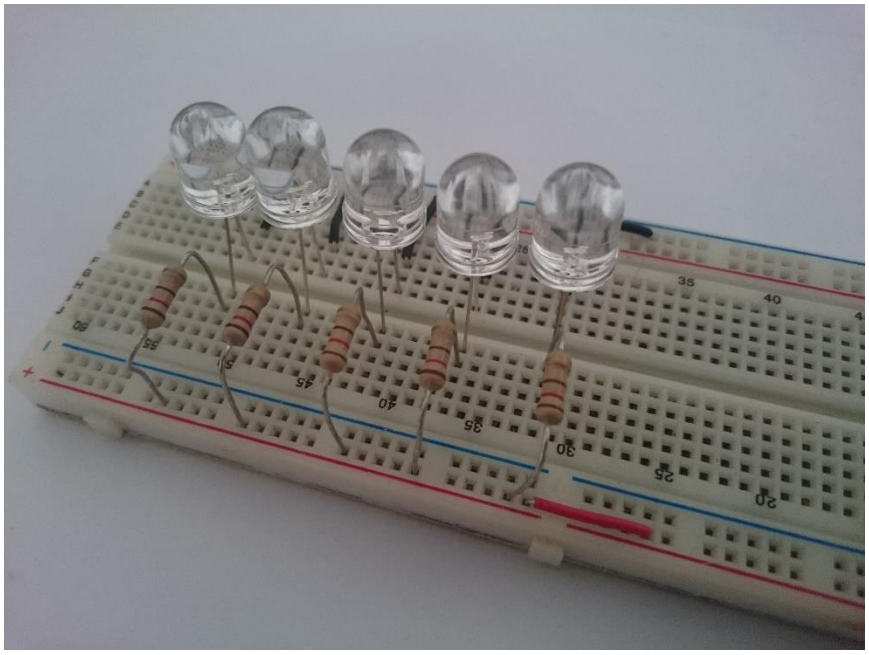
El circuito para la primera prueba contenía 5 LED, 5 resistencias de 120 ohmios, y un porta-baterías. El circuito se encuentra montado en un protoboard, para su conexión se siguió el diagrama mostrado en la Figura 6.

Figura 6. Diagrama par la prueba de la fase 1.



El diseño del circuito consistió en conectar las dos baterías AA en serie para obtener así un voltaje estimado de 3v, estas baterías suministran energía para hacer funcionar 5 LED en paralelo, cada LED cuenta con una resistencia conectada en serie para reducir la corriente que circula a través del LED, se utilizaron dos pines para poder realizar las mediciones con el multímetro de manera más sencilla. (Ver Figura 7).

Figura 7. Circuito de la fase 1 montado en protoboard.



Se realizaron mediciones de miliamperios (Figura 8) y de voltaje (Figura 9) al inicio y al final de las pruebas, las pruebas de la fase 1 se repitieron 5 veces y los datos obtenidos fueron tabulados. Las pruebas para la fase 1 terminaron cuando las baterías no tenían el voltaje suficiente para seguir encendiendo los LED, puesto que ellos entran en la función de corte al no contar con suficiente voltaje para su funcionamiento.

Figura 8. Medición de amperaje durante la primera fase.

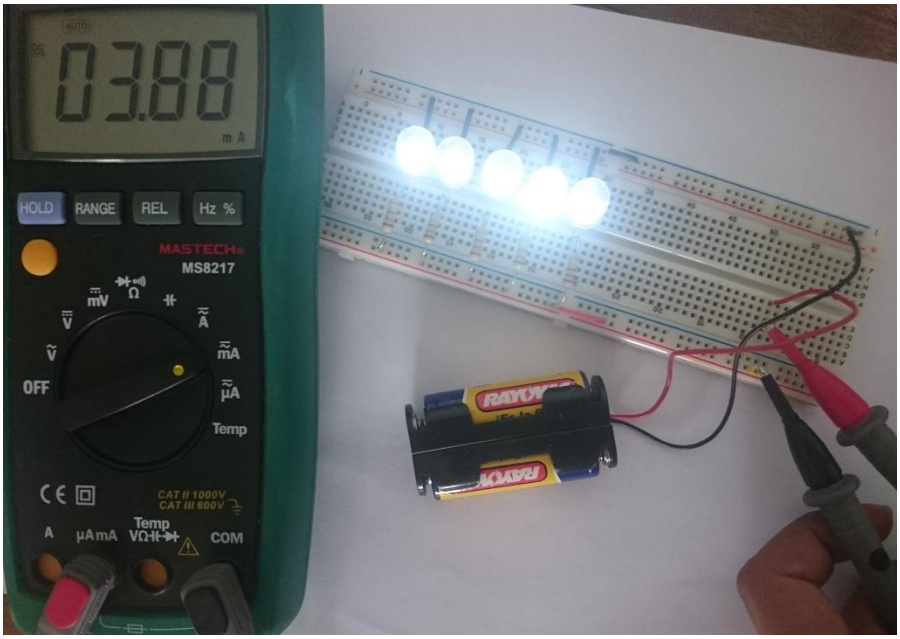
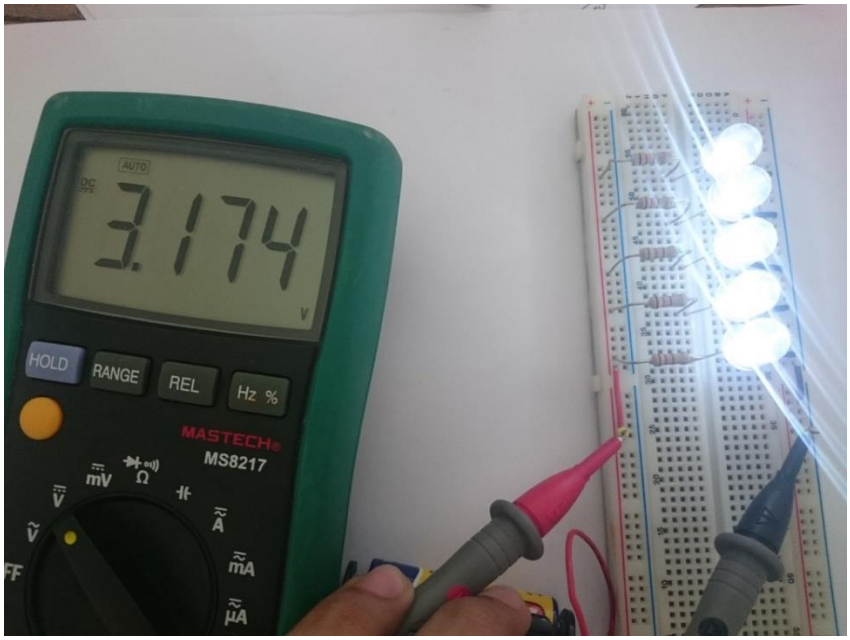


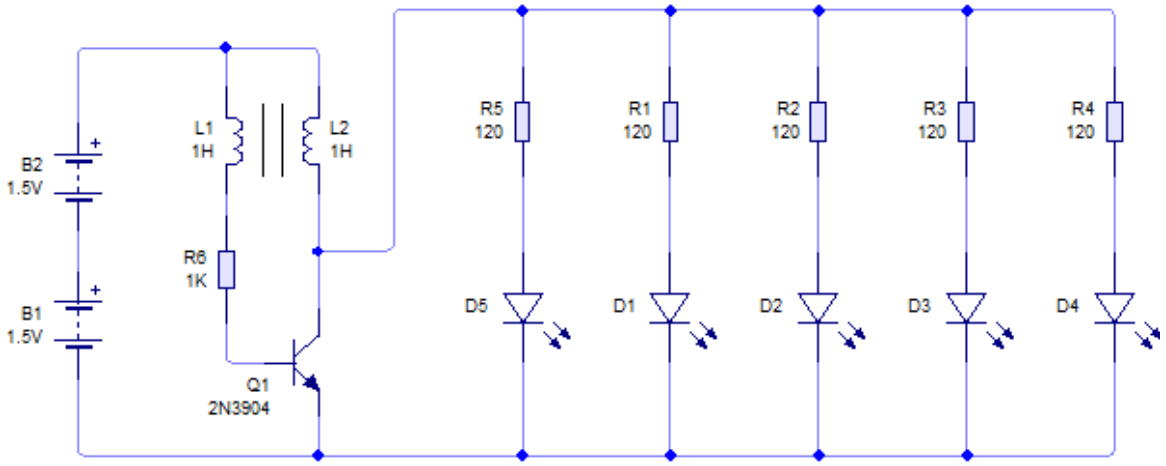

Figura 9. Medición de voltaje durante la primera fase.



## B. FASE 2: PRUEBA EN CIRCUITO JOULE THIEF CON 2 BATERÍAS AA NUEVAS

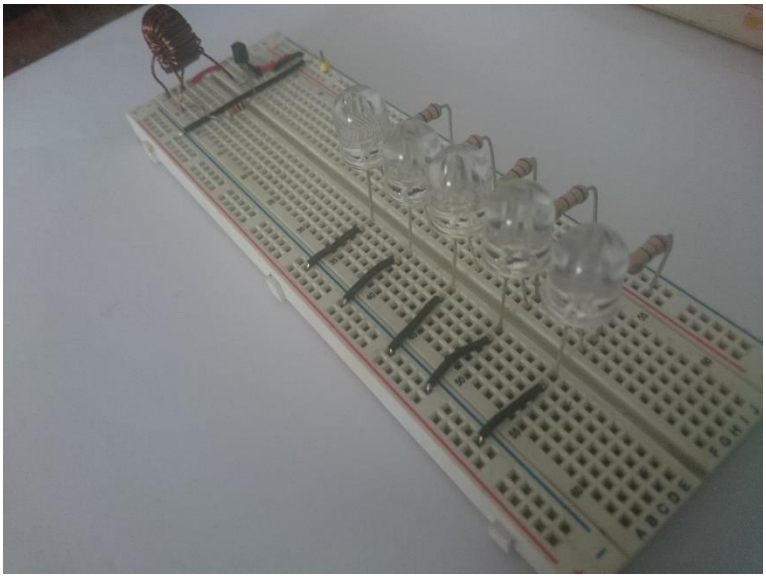
Para la construcción del circuito para la segunda prueba se procedió a integrar el Joule Thief siguiendo el diagrama de la figura 10.

Figura 10. Diagrama para la fase 2 implementando el circuito Joule Thief.




El resultado de la conexión montado en el protoboard se puede observar en la Figura 11.

Figura 11. Circuito para la fase 2 montado en protoboard.



Con el circuito montado en el protoboard se procedió a realizar mediciones de miliamperios (Figura 12) y de voltaje (Figura 13) al inicio y fin de la prueba. La fase 2 se repitió 5 veces de la misma manera que la fase 1, los datos obtenidos también fueron tabulados. Cada una de las pruebas de la fase 2 terminó cuando las baterías no eran capaces de encender los LED por su bajo voltaje.

Figura 12. Medición de amperaje durante la fase 2.

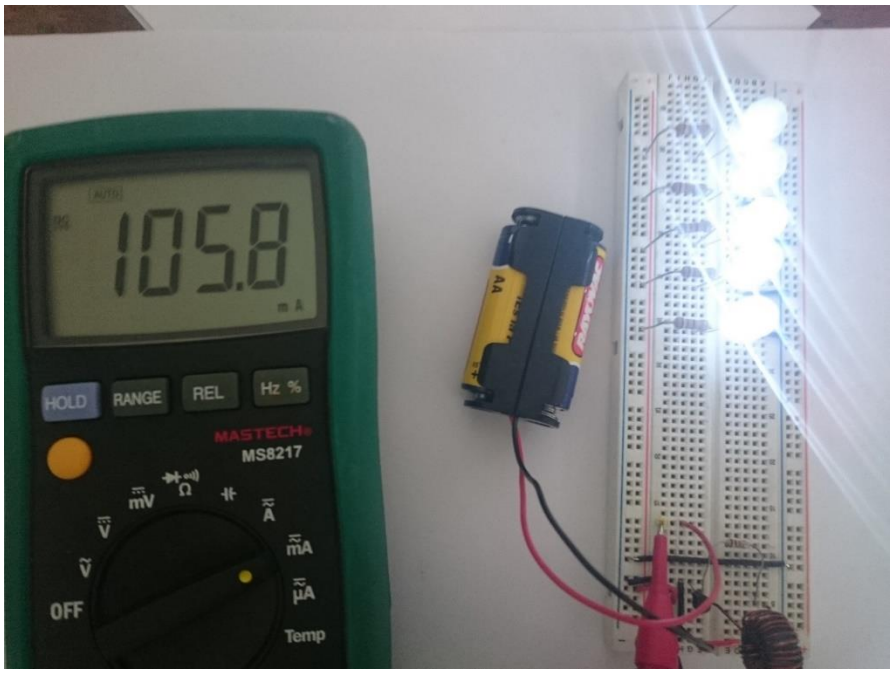
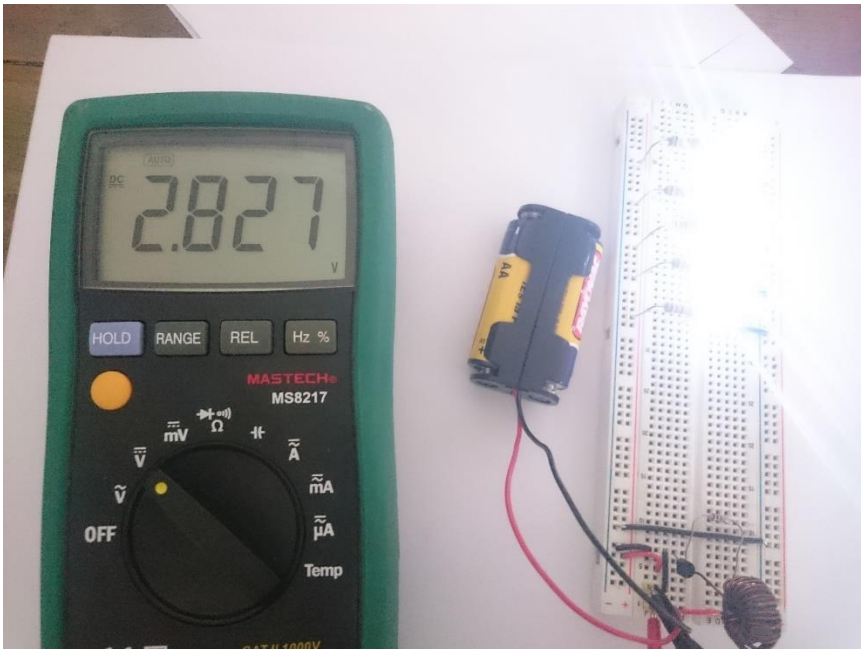



Figura 13. Medición de voltaje durante la fase 2.



## C. FASE 3: PRUEBA EN CIRCUITO JOULE THIEF CON 2 BATERÍAS AA DESCARTADAS.

Para la tercera prueba, que consistía en utilizar el circuito Joule Thief con baterías descartadas, incapaces de hacer encender un LED en un circuito normal, se utilizó nuevamente el circuito de la Figura 10.

El cambio consistió en que las baterías que suministraron energía al circuito durante esta prueba tenían entre 2.4 y 2.3 voltios, voltaje que no es insuficiente para hacer encender un solo LED ultraluminoso, ya que estos LED están diseñados para funcionar entre 3.2 y 2.5 voltios aproximadamente.

Las baterías utilizadas para estas pruebas fueron las baterías descartadas en la fase 1, cuyo voltaje no encendían el circuito normal.

Con las baterías suministrando energía al circuito se procedió a realizar mediciones de miliamperios (Figura 14) y voltaje (Figura 15) durante el inicio y el final de la prueba. Las pruebas de la fase 2 terminaron cuando el voltaje suministrado por las baterías no era suficiente para encender los LED.

La fase 3 se repitió 5 veces, los datos obtenidos en cada una de las fases fueron tabulados.

Figura 14. Medición de amperaje durante la fase 3.

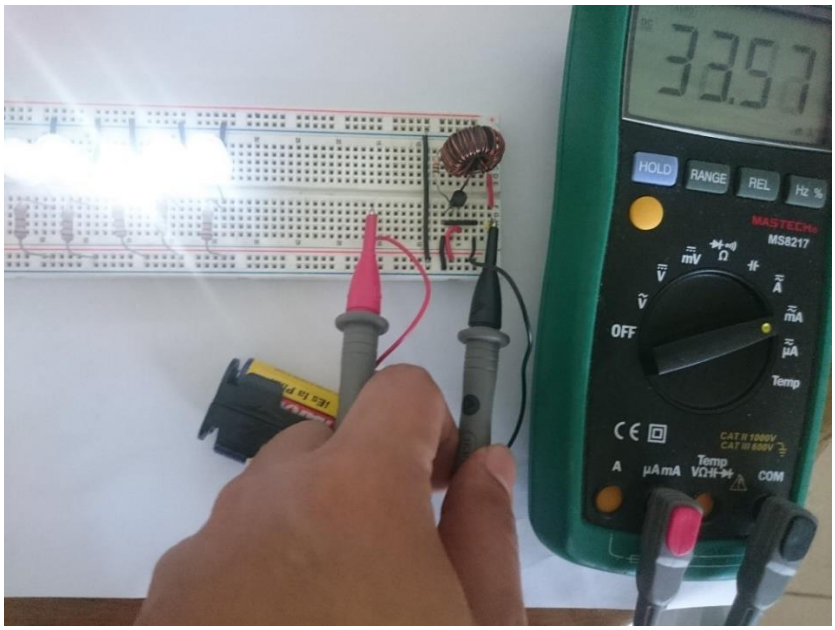
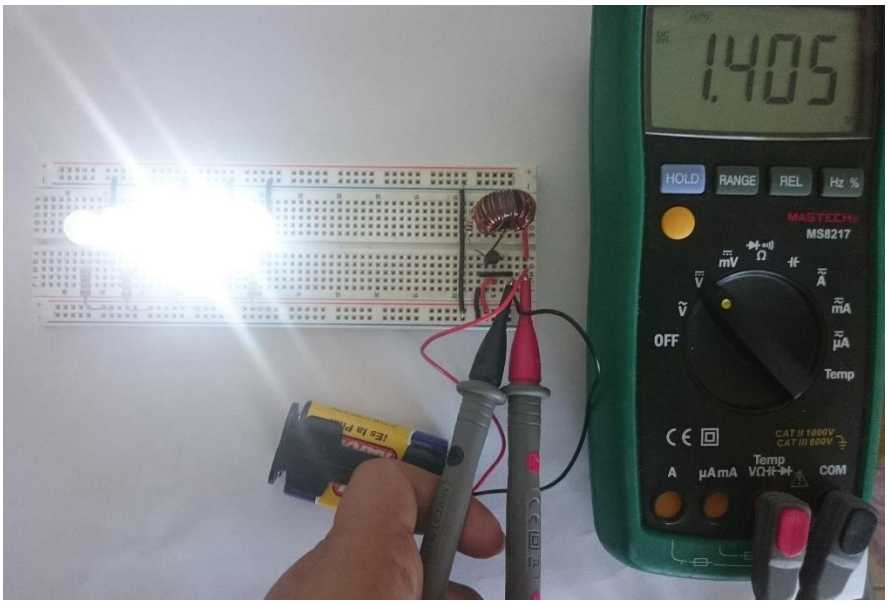


Figura 15. Medición de voltaje durante la fase 3.

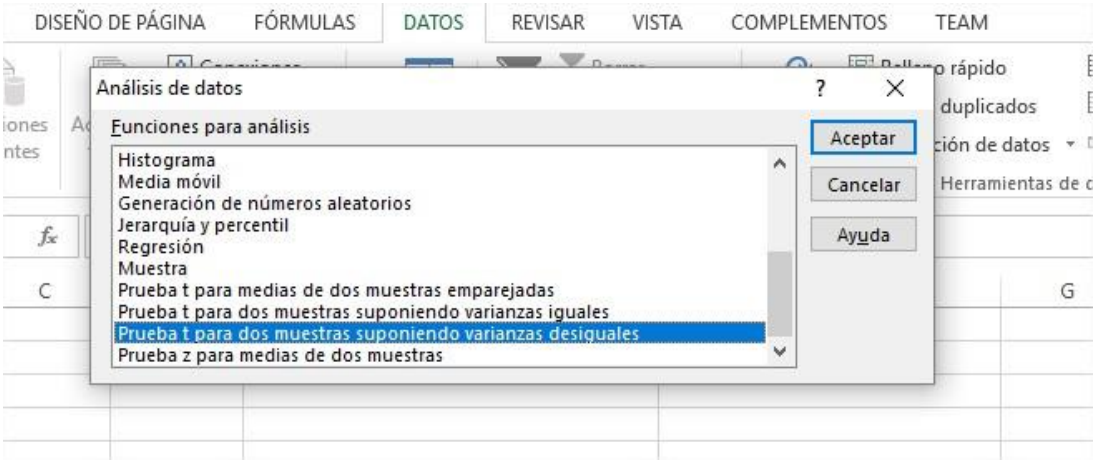



Para el análisis de los datos obtenidos en la fase 1 y fase 2 se implementó la prueba paramétrica estadística denominada prueba T de Student para muestras independientes. Mientras que para el análisis de la fase 3 se utilizó la prueba de intervalo de confianza.

Los datos obtenidos en cada fase fueron tabulados en el software EXCEL, se siguió el siguiente procedimiento:

- Se realizó la prueba T de Student para muestras independientes, utilizando las herramientas estadísticas brindadas por EXCEL (Ver Figura 16).

Figura 16 Análisis de datos Excel, Prueba T para dos muestras.

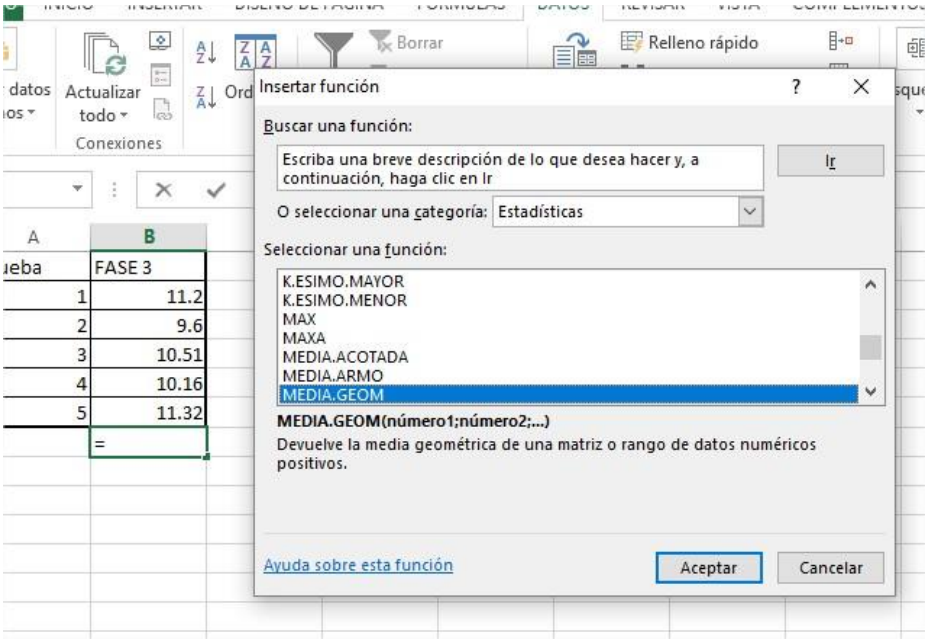


- La función utilizada para el análisis de datos fue la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales, se seleccionaron los datos tabulados obtenidos durante las 5 pruebas realizadas en la fase 1 y la fase 2.
- Posterior a la selección se asignó un alfa 0.05 que es el nivel de probabilidad de rechazar o aceptar las hipótesis planteadas.
- Por último se obtienen los resultados del análisis.

Para los datos de la fase 3 se utilizó la prueba de intervalos de confianza. Posterior a la tabulación de los datos obtenidos en las 5 pruebas de esta fase se utilizaron las siguientes funciones en Excel:

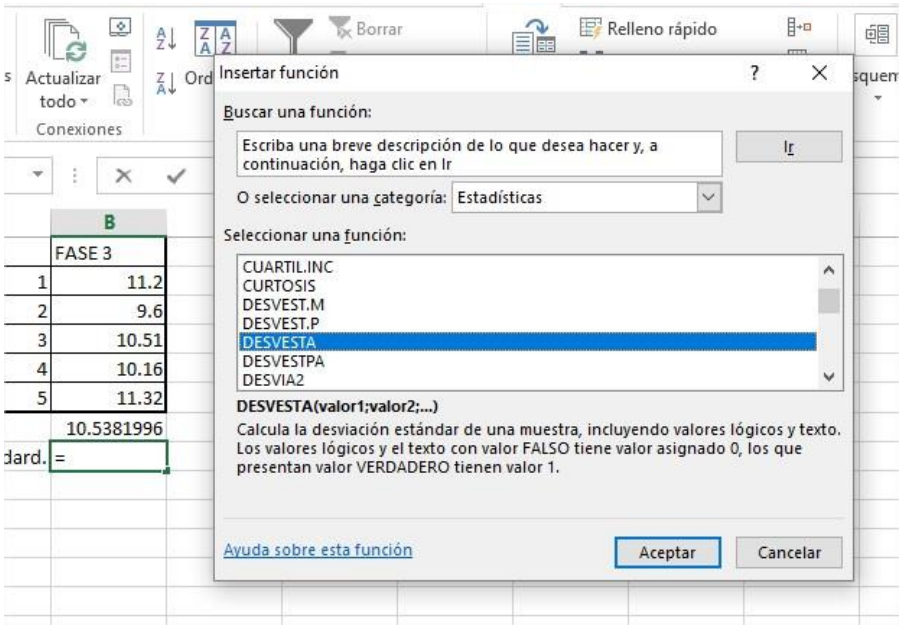
- Se insertó la función estadística de media geométrica con la cual se obtuvo la media de los 5 datos obtenidos durante la fase 3. (Ver Figura 17)

Figura 17. Función de Media Geométrica en Excel



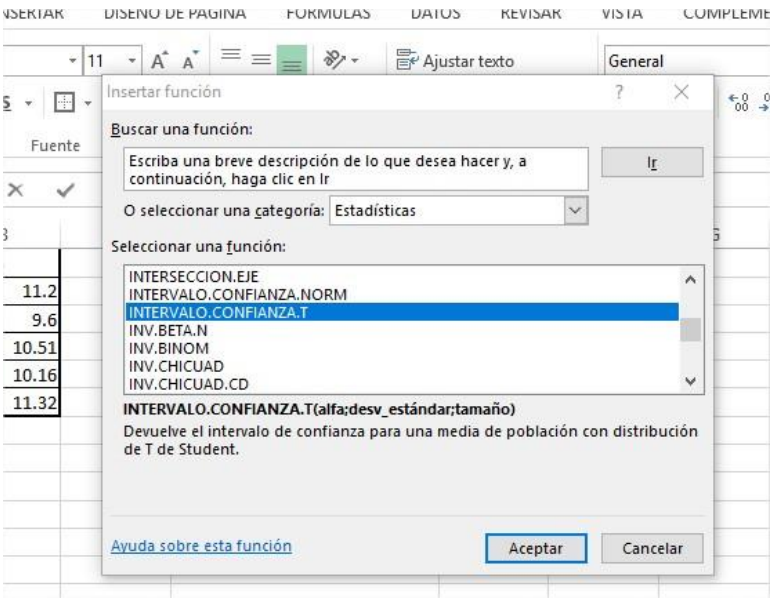

- Posterior a esto se procedió a insertar la función estadística de desviación standard para obtener este dato. (Ver Figura 18)

Figura 18. Función de Desviación Standard en Excel.




- Posterior a estos valores obtenidos se procedió a buscar el valor t de la tabla de intervalos de confianza para obtener un 95% de confianza en los resultados obtenidos. El valor de t es de 2.77.
- Una vez todos los valores se aplicó la fórmula de intervalos de confianza para una media con distribución T de Student, utilizando para ella el alfa de 0.05 que representa al 95% de confianza, el número de muestras 5, y la desviación standard. (Ver Figura 19)

Figura 19. Intervalo de confianza t en Excel.



- Al obtener los resultados se procedió a obtener el extremo máximo y mínimo en horas, sumando y restando respectivamente el valor obtenido en la función de intervalo de confianza a la media.

Realizado el análisis del tiempo de vida útil de las baterías se procedió a realizar un circuito electrónico que implementa la combinación de ambos circuitos, el circuito normal con 5 LED y el circuito Joule Thief.

Los diseños de los circuitos fueron realizados en el software Circuit Wizard, el cual tiene una plataforma intuitiva que permite realizar diseños de circuitos, PCB, y simulación. La versión del software a utilizar es 1.15, actualizada hasta la fecha 20 de octubre de 2006.

El diseño del prototipo fue realizado en SolidWorks standard 2015 el cual es un software para modelado en 3D, que permite agilizar el diseño de piezas y conjuntos tanto en 2D como en 3D.

## D. FASE 4: DISEÑO DEL PROTOTIPO DE LÁMPARA DE ILUMINACIÓN GENERAL-DIFUSA.

Para el diseño del prototipo de la lámpara se siguieron los siguientes pasos:

1. Diseño de placas electrónicas. Las placas electrónicas fueron diseñadas primero, ya que a partir del tamaño de las mismas se procedió a diseñar la lámpara. Los componentes electrónicos utilizados para el diseño de las placas tienen las medidas reales. Se diseñaron los componentes en 2 dimensiones, posterior a ello los elementos fueron extruidos a 3 dimensiones para poder realizar el ensamblaje final dando como resultado dos placas.

- Placa con LED, la cual se encuentra ubicada en el interior de la pantalla de la lámpara (Figura 20) con su respectivo diagrama electrónico.
- Placa con el circuito Joule Thief, el cual se encuentra ubicado en el interior de la base de la estructura, también denominada pie de la lámpara (Figura 21).

Figura 20. Diseño en SOLIDWORKS Standard de Placa con LED.

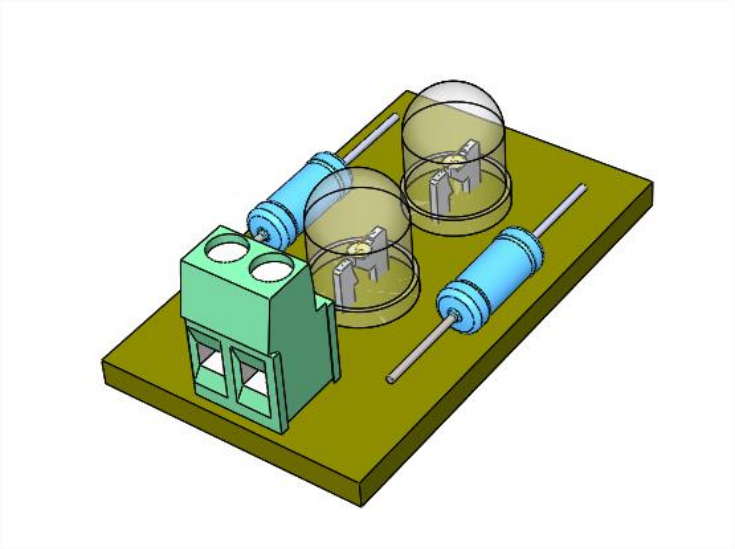
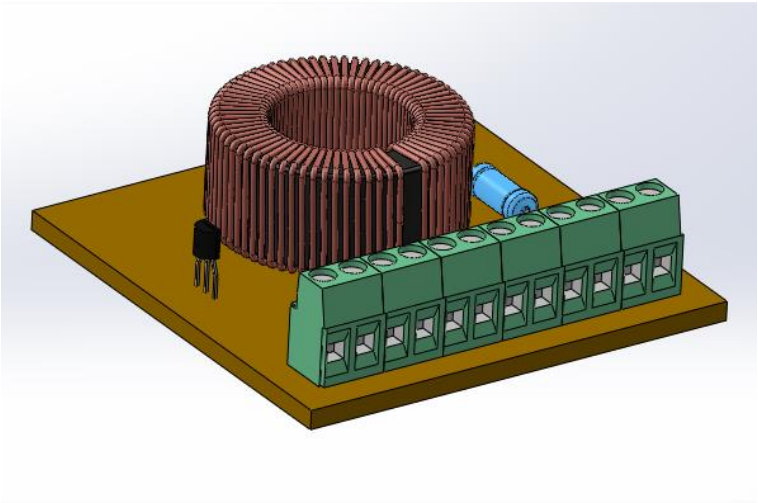


Figura 21. Diseño en SOLIDWORKS Standard de Placa con circuito Joule Thief.



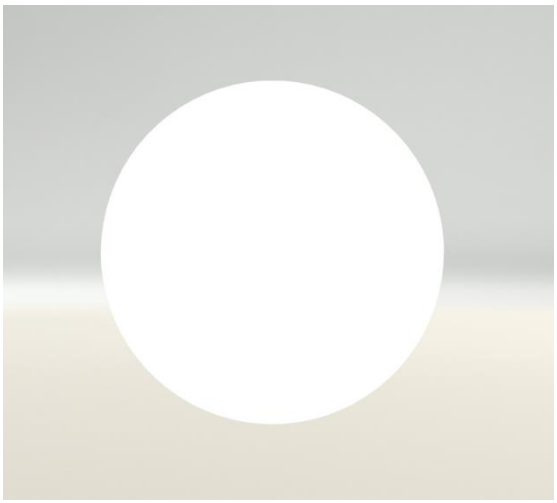
Como se puede observar el diseño de las placas cuenta con los componentes reales utilizados en las pruebas. El diseño de la lámpara es minimalista, por lo que el ensamblaje de todos los componentes en las placas electrónicas está realizado para ahorrar espacio.

2. Diseño de estructura del pie de la lámpara. El diseño de la estructura del pie se realizó tomando en cuenta el tamaño de la placa electrónica del circuito Joule Thief, la cual tiene una medida de 70x70 milímetros. De la misma manera que las placas, en la construcción de la estructura de la base se realizó primero el diseño en 2D, posterior a ello se aplicó una revolución de saliente para volver la pieza en 3D, se realizaron los cortes para la inserción de los interruptores y del brazo. Para el diseño del brazo que forma parte de la base también se procedió de la misma manera: en 2D se dibujaron las líneas guía, posterior a esto se realizó una revolución de saliente y el diseño del brazo quedó en 3D. En la Figura 22 se observa el diseño del pie de la lámpara y el brazo, los cuales forman parte de la base

Figura 22. Diseño de la estructura del pie de la lámpara en SOLIDWORKS standard

3. Diseño de estructura de la pantalla de la lámpara. Primero se hizo un diseño en dos dimensiones, buscando distribuir la luz de manera uniforme se decidió hacer la pantalla de forma esférica, diseñando primero un circuito en 2D se procedió a realizar una revolución de contornos siguiendo la línea guía, para así obtener el diseño final de la pantalla en 3D. (Ver Figura 23)

Figura 23. Diseño de la estructura de la pantalla de la lámpara en SOLIDWORKS standard



4. Ensamblaje final. Para el ensamblaje final se procedió a utilizar la función de SolidWorks llamada ensamblaje, allí se seleccionaron todos los diseños realizados previamente, se utilizó la estructura del pie de la lámpara como parte principal del ensamblaje, a ella se le fueron integrando las placas electrónicas y la estructura de la pantalla. Quedando como resultado el diseño final del prototipo. Posterior al ensamblaje se realizaron renderizados para poder visualizar mejor el prototipo. (Ver Figura 24)

Figura 24. Ensamblaje final del prototipo de la lámpara en SOLIDWORKS standard

# VI. RESULTADOS

## A. FASE 1: PRUEBA EN UN CIRCUITO SIMPLE CON 2 BATERÍAS AA NUEVAS.

La Tabla 2 contiene los resultados obtenidos en las 5 pruebas realizadas en la fase 1, los datos obtenidos son las horas totales en las que las dos baterías para cada prueba pudieron entregar energía para poder mantener encendidos los LED en el circuito simple.

Tabla 2. Horas obtenidas durante las 5 pruebas de la fase 1

| Prueba | Horas en FASE 1 |
|---|---|
| 1 | 144.33 |
| 2 | 142.45 |
| 3 | 145.07 |
| 4 | 142.2 |
| 5 | 143.56 |

## B. FASE 2: PRUEBA EN CIRCUITO JOULE THIEF CON 2 BATERÍAS AA NUEVAS.

Las horas de funcionamiento de las baterías durante las 5 pruebas realizadas en la fase 2 fueron tabuladas en la Tabla 3, cada una de las pruebas finalizaron cuando las baterías fueron incapaces de mantener encendidos los LED en el circuito Joule Thief.

Tabla 3. Horas obtenidas durante las 5 pruebas realizadas en la fase 2.

| Prueba | Horas en FASE 2 |
|---|---|
| 1 | 47.16 |
| 2 | 46.25 |
| 3 | 45.58 |
| 4 | 47.35 |
| 5 | 45.12 |

## C. FASE 3: PRUEBA EN CIRCUITO JOULE THIEF CON 2 BATERÍAS AA DESCARTADAS.

Los datos recolectados durante la tercera prueba fueron tabulados en la Tabla 4, las pruebas finalizaron hasta que las baterías quedaron completamente drenadas y fueron incapaces de mantener encendidos los LED.

Tabla 4. Horas obtenidas durante las 5 pruebas realizadas en la fase 3.

| Prueba | Horas en FASE 3 |
|---|---|
| 1 | 11.2 |
| 2 | 9.6 |
| 3 | 10.51 |
| 4 | 10.16 |
| 5 | 11.32 |

## D. FASE 4: DISEÑO DEL PROTOTIPO DE LÁMPARA DE ILUMINACIÓN GENERAL-DIFUSA.

Para poder diseñar el prototipo fue necesario realizar un análisis de los datos obtenidos en la fase 1 y 2, para ello se implementó el uso de la prueba T de Student para datos independientes, aplicando la función en Excel se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5. Prueba t de Student para datos independientes realizada en Excel.

| Prueba t para dos muestras con datos independientes | | |
|---|---|---|
| | *Fase 1* | *Fase 2* |
| Media | 143.522 | 46.292 |
| Varianza | 1.48687 | 0.93877 |
| Observaciones | 5 | 5 |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 8 | |
| Estadístico t | 139.5957239 | |
| P(T<=t) una cola | 3.87766E-15 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.859548038 | |
| P(T<=t) dos colas | 7.76E-15 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.306004135 | |

Para el análisis de datos de la fase 3 se utilizó la prueba de intervalo de confianza, aplicando las formulas respectivas en Excel los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Intervalo de confianza realizado en Excel.

| Intervalo de confianza para media poblacional | |
|---|---|
| Media | 10.54 |
| Nivel de Confianza | 0.05 |
| Desviación Standard | 0.72 |
| Muestra | 5 |
| Extremos de intervalo ± | 0.89 |
| Extremo máximo | 11.43 |
| Extremo Mínimo | 9.65 |

Al terminar de analizar las tres primeras fases se procedió a empezar el diseño del prototipo de la lámpara como se puede observar en la Figura 25, posee un diseño minimalista.

Figura 25. Diseño final de prototipo de lámpara

En la Figura 26 se presentan las partes de las que está compuesto el prototipo de la lámpara, mientras en la Figura 27 podemos observar que dentro del pie de la lámpara se encuentra la placa con el circuito Joule Thief y el porta-baterías, y en el interior de la pantalla también podemos

observar las placas electrónicas con los LED encargados de entregar la luz. (Ver anexo 2 para más detalles).

Figura 26. Partes del prototipo de la lámpara

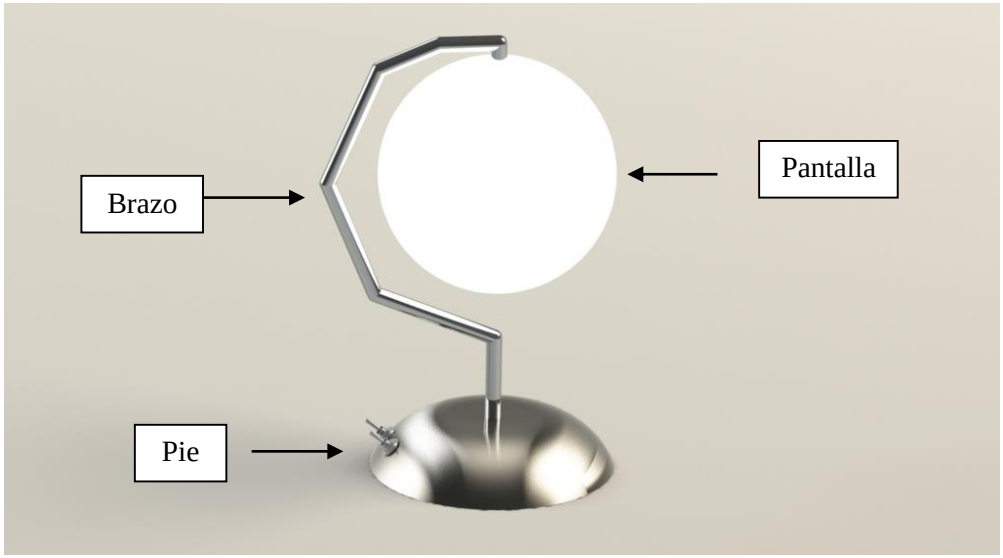
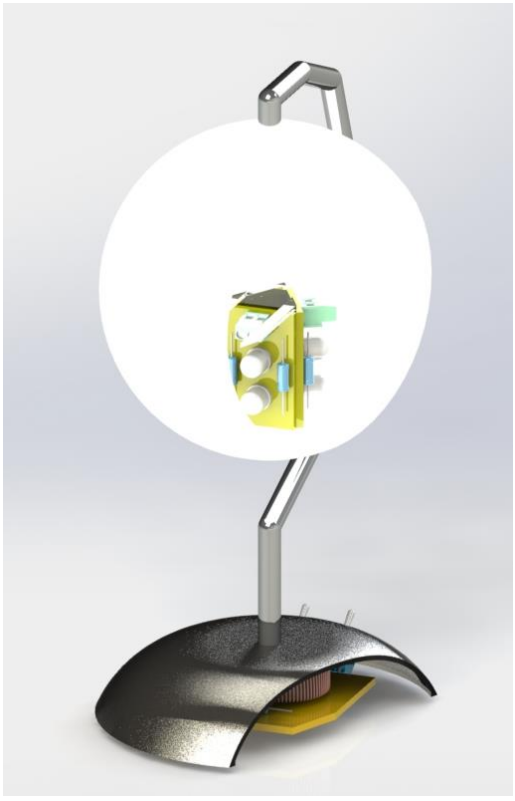



Figura 27. Corte transversal del prototipo de la lámpara.



El circuito final para el funcionamiento de la lámpara es presentado en la Figura 28. El circuito consta de dos interruptores tipo toggle, el normal que permite el encendido y apagado de la lámpara y el interruptor de 6 polos el cual permite que las baterías de la lámpara funcionen directamente sobre los LED o que la energía pase primero por el circuito Joule Thief. Esta última función es utilizada cuando las baterías no tienen voltaje suficiente para hacer funcionar la lámpara. Posee también dos pares de terminales, en la entrada se conectan las dos baterías en serie, y en la salida se conectan las placas de LED, cabe resaltar que los interruptores no deben ir montados directamente en la placa, sino en la superficie de la lámpara por lo que deben ser salidas en terminales.

Las placas de LED se muestran en la Figura 19, el prototipo está diseñado para trabajar con 3 placas de LED, cada placa consta de 2 LED y su respectiva resistencia, así mismo con las terminales para la conexión a la placa del circuito Joule Thief.

Figura 28. Circuito final para el prototipo, Normal y Joule Thief.

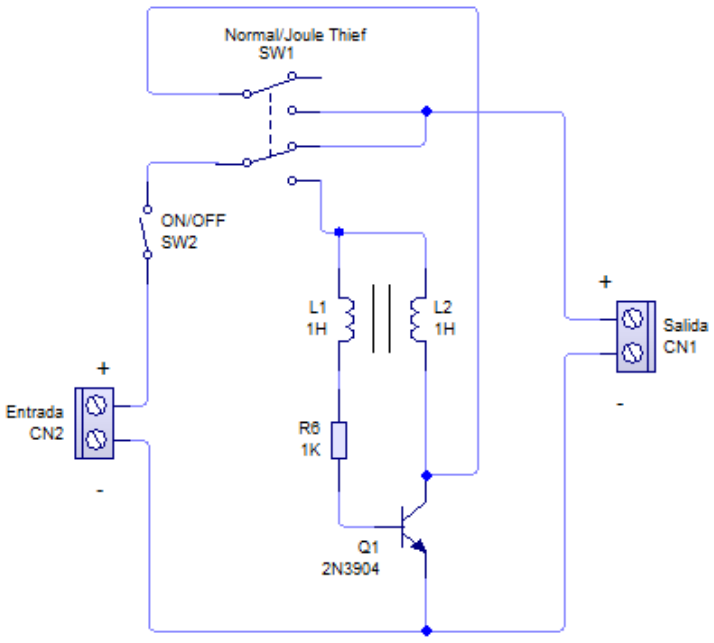
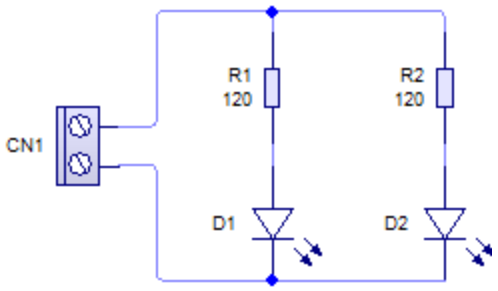


Figura 29 Circuito LED final.



# VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Realizando una comparación entre las tablas 2 y 3 cuyos datos fueron obtenidos durante la fase 1 y 2 por simple observación se puede deducir que las baterías duran más tiempo cuando son empleadas en el circuito simple que consta únicamente de los LED y su respectiva resistencia, mientras que cuando se emplean baterías nuevas desde un principio la vida útil de las mismas se ve reducida hasta tres veces.

Se puede observar una media de horas en la fase 1 de 143.52, mientras que la fase 2 tiene una media de 46.29 horas.

Al aplicar la prueba T de Student para datos independientes fueron creadas dos hipótesis, la hipótesis nula $H_0$ y la hipótesis alternativa $H_1$, las cuales son:

Hipótesis nula: la diferencia entre la media de horas de la fase 1 y la fase 2 no es significativa, por lo que se asume que las horas de vida de la batería son las mismas. $\mu_1 \leq \mu_0$.

Hipótesis alternativa: la media de las horas de vida empleando las baterías nuevas sobre el circuito simple en la fase 1 es mayor a las horas de vida de las baterías empleando el circuito Joule Thief en la fase 2. $\mu_1 > \mu_0$.

La prueba T de Student se implementó utilizando un alfa de 0.05, lo cual nos indica un nivel de confianza del 95% en la prueba estadística.

Analizando los datos obtenidos tras aplicar la prueba T de Student para datos independientes tenemos un resultado de valor estadístico t de 138.59 y un valor crítico de 1.85. Se considera el valor crítico de una cola ya que la hipótesis alternativa tiene una dirección.

Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, ya que el valor estadístico t es mayor al valor crítico t de una cola. Por lo que estadísticamente existe una diferencia significativa entre las horas de uso de vida de las baterías obtenidas en la fase 1 y la fase 2. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Comparación entre valor estadístico t y valor crítico t.

| Estadístico t | | Valor crítico t |
|---|---|---|
| 139.595 | > | 1.859 |

Por lo que este análisis realizado nos demuestra que las baterías nuevas duran más tiempo si se emplean en el circuito simple constituido únicamente por LED y resistencias, mientras que cuando se implementan las baterías nuevas en un circuito Joule Thief ellas tienden a descargarse más rápidamente. Esta descarga se debe a que la bobina utilizada en el circuito Joule Thief exige más corriente para poder cargarse, dicha energía tiene perdidas en forma de magnetismo, este aumento de corriente hace que la batería se descargue más rápido en este circuito que en el circuito normal.

En la tercera fase se utilizaron las baterías descargadas en la primera fase, dichas baterías eran incapaces de encender los LED en el circuito normal ya que los LED para su funcionamiento requieren más voltaje que el que las baterías tenían al terminar la fase 1.

Estas baterías fueron utilizadas en el circuito Joule Thief ya que este circuito es el encargado de drenar por completo el voltaje de las baterías, con este drenaje se aprovecha al máximo la poca energía almacenada en la batería.

Con la finalidad de obtener un rango máximo y un rango mínimo de horas de vida extra de las baterías en la lámpara se utilizó la función de intervalos de confianza usando los datos obtenidos en las 5 pruebas realizadas en la fase 3.

Analizando los resultados obtenidos en la Tabla 6 tenemos que los extremos del intervalo de confianza son de ± 0.89, lo que quiere decir que tomando la medía de horas de vida extra de las baterías que es de 10.54 horas tenemos los extremos de horas que comprenden de un mínimo de 9.65 horas y un máximo de 11.43 horas de vida extra en la lámpara. Para obtener dichos resultados se utilizó un valor alfa de 0.05, lo que equivale a un nivel de confianza del 95%.

A partir de este análisis se procedió a la construcción del prototipo de la lámpara, tomando en cuenta todos los datos analizados el prototipo fue diseñado para funcionar de la siguiente manera:

El prototipo cuenta con un interruptor tipo toggle de encendido y apagado, el cual conecta y desconecta las baterías del circuito principal, también posee un interruptor toggle de doble tiro, el cual permite hacer el cambio entre dos funciones diferentes, la primer posición le permite a las baterías entregar energía directamente al circuito de los LED, sin pasar por el Joule Thief, se asegura de esta manera que el voltaje de las baterías durará más tiempo, un aproximado de 143.52 horas según las pruebas realizadas.

Cuando las baterías no puedan mantener encendido los LED en su funcionamiento normal el interruptor toogle pasa a la segunda posición. En la segunda posición las baterías suministraran energía al circuito Joule Thief, en donde por medio de su principio de funcionamiento que consiste

en cargar la bobina para que posteriormente el transistor la descargue aumentando así la tensión y corriente de salida, mantendrá encendido los LED de la lámpara durante un aproximado de 10.54 horas, según los resultados indicados en la tercer fase, aprovechando de esta manera el voltaje mínimo de la batería la cual en otras condiciones se consideraría inutilizable para estos propósitos.

Este diseño de prototipo permite utilizar baterías que previamente han sido utilizadas en otros componentes y que no son capaces de seguir funcionando en los mismos, logrando así utilizar el voltaje que tienen las baterías independientemente del uso previo que hayan tenido.

# VIII. CONCLUSIONES

1. La hipótesis alternativa planteada es aceptada puesto que las pruebas realizadas se demostró que las baterías tienen un mejor rendimiento cuando la energía es suministrada directamente hacia a los LED, ya que se descargan más lentamente.

2. Las pruebas que se realizaron con el circuito Joule Thief demostraron que el circuito exige más corriente para su funcionamiento, por lo que la descarga de las baterías es tres veces más rápida que en el circuito normal donde las baterías alimentan directamente a los LED.

3. La tercera prueba realizada demostró que las baterías que ya no son capaces de mantener encendidos los LED en el circuito normal pueden entregar más horas de uso si se implementan en el circuito Joule Thief, extendiendo la vida útil de la batería en la lámpara hasta 11 horas más.

4. Al comparar los resultados obtenidos en las tres pruebas se determinó que la mejor manera de diseñar el prototipo era combinando los diseños del circuito normal de una lámpara LED con el circuito Joule Thief, utilizando primero el circuito normal hasta que las baterías sean incapaces de mantener encendidos los LED, y después de esto por medio del interruptor toggle utilizar el circuito Joule Thief el cual permite aprovechar el poco voltaje de las baterías para encender la lámpara LED por más tiempo.

# IX. RECOMENDACIONES

1. Realizar una comparación de costo-beneficio al utilizar lámparas implementando este circuito contra el uso de velas en poblados en las que no cuentan con energía eléctrica.

2. El prototipo está diseñado para ser creado en una impresora 3D, se recomienda utilizar un material de resina translucido para la impresión de la pantalla de la lámpara para que la luz pueda salir al exterior de la misma.

3. Si se desea el efecto de difuminar la luz en la pantalla de la lámpara se puede utilizar material de resina translúcido y realizar un proceso de tintura blanco o del color deseado post-impresión.

4. Realizar pruebas del rendimiento de las baterías con el prototipo presentado.

5. Diseñar un instructivo para la utilización del prototipo de la lámpara.

6. Realizar pruebas de rendimiento con el circuito presentado en el anexo 3, el cual está diseñado para realizar el cambio de circuito normal con el Joule Thief al llegar a los 2.3 voltios.

# X. BIBLIOGRAFÍA


Argos. (11 de Junio de 2014). *Oscilador de bloqueo (joule thief)*. Recuperado el 13 de Marzo de 2015, de Nomadas Electronicos: https://nomadaselectronicos.wordpress.com/2014/06/11/oscilador-de-bloqueo-joule-thief/

concepts, new wave;. (15 de 08 de 2016). *new-wave-concepts*. Obtenido de new-wave-concepts: http://www.new-wave-concepts.com/

Dassault Systèmes SolidWorks Corp. (15 de 08 de 2016). *SOLIDWORKS*. Obtenido de http://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/solidworks-standard.htm

Donate, A. H. (1999). *Principios de Electricidad y Electrónica II*. Barcelona, España: Marcombo, S.A. .

García Álvarez, J. (1994). *MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA* (Vol. II). España: REVERTÉ, S.A.

Harper, E. (1994). *Fundamentos de electricidad* . Mexico D.F.: Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.

Harper, G. E. (1994). *Elementos de Corriente Alterna* (Vol. 1). Mexico, D.F.: Limusa, S.A.

Lind, D. A. (2012). *Estadistica aplicada a los negocios y la economía* . Mexico : McGRAW-HILL.

López, B. S. (10 de agosto de 2016). *ingenieriaindustrialonline.com*. Obtenido de http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/iluminaci%C3%B3n/

Oriol Boix, J. G. (s.f). *Iluminación de Interiores*. Obtenido de Recursos Citcea: recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint1.html

Rashid, M. H. (2004). *Electrónica de potencia* (Vol. 3). Mexico: Pearson.

Richard, J. F. (Abril de 1994). *ELECTRICIDAD, PRINCIPIOS Y APLICACIONES.* Barcelona: REVERTÉ, S.A.

# XI. ANEXOS

## ANEXO 1. MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA LED ULTRALUMINOSOS DE 10 MILIMETROS.

**Absolute Maximum Ratings: (Ta=25℃) .**

| ITEMS | Symbol | Absolute Maximum Rating | Unit |
|---|---|---|---|
| Forward Current | $I_F$ | 80 | mA |
| Peak Forward Current | $I_{FP}$ | 120 | mA |
| Suggestion Using Current | $I_{su}$ | 65-75 | mA |
| Reverse Current ($V_R$=5V) | $I_R$ | 10 | uA |
| Power Dissipation | $P_D$ | 180 | mW |
| Operation Temperature | $T_{OPR}$ | -40 ~ 85 | ℃ |
| Storage Temperature | $T_{STG}$ | -40 ~ 100 | ℃ |
| Lead Soldering Temperature | $T_{SOL}$ | Max. 260℃ for 3 Sec. Max. (3mm from the base of the expoxy bulb) | |

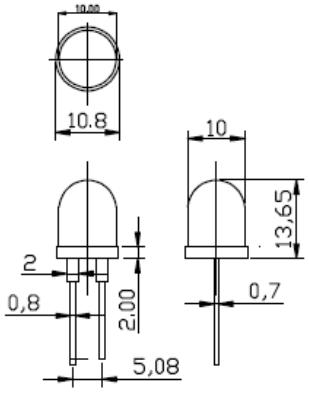
**Absolute Maximum Ratings: (Ta=25℃)**

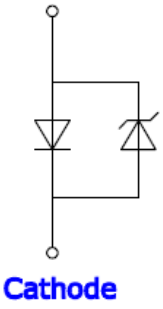
| ITEMS | Symbol | Test condition | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Forward Voltage | $V_F$ | $I_F$=80mA | 3.0 | --- | 3.4 | V |
| Wavelength (nm) or TC(k) | $\Delta\lambda$ | $I_F$=80mA | 5500 | --- | 6500 | K |
| *Luminous intensity | $I_V$ | $I_F$=80mA | 16000 | --- | 20000 | MCD |
| 50% Viewing Angle | $2\theta 1/2$ | $I_F$=80mA | --- | 30 | --- | DEGREE |

**Mechanical Dimensions:**

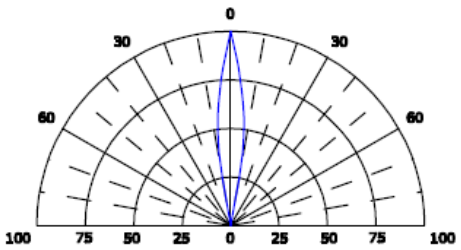
- All dimension are in mm, tolerance is ±0.2mm unless otherwise noted
- An epoxy meniscus may extend about 1.5mm down the leads.
- Burr around bottom of epoxy may be 0.5mm Maximum

Unit: mm



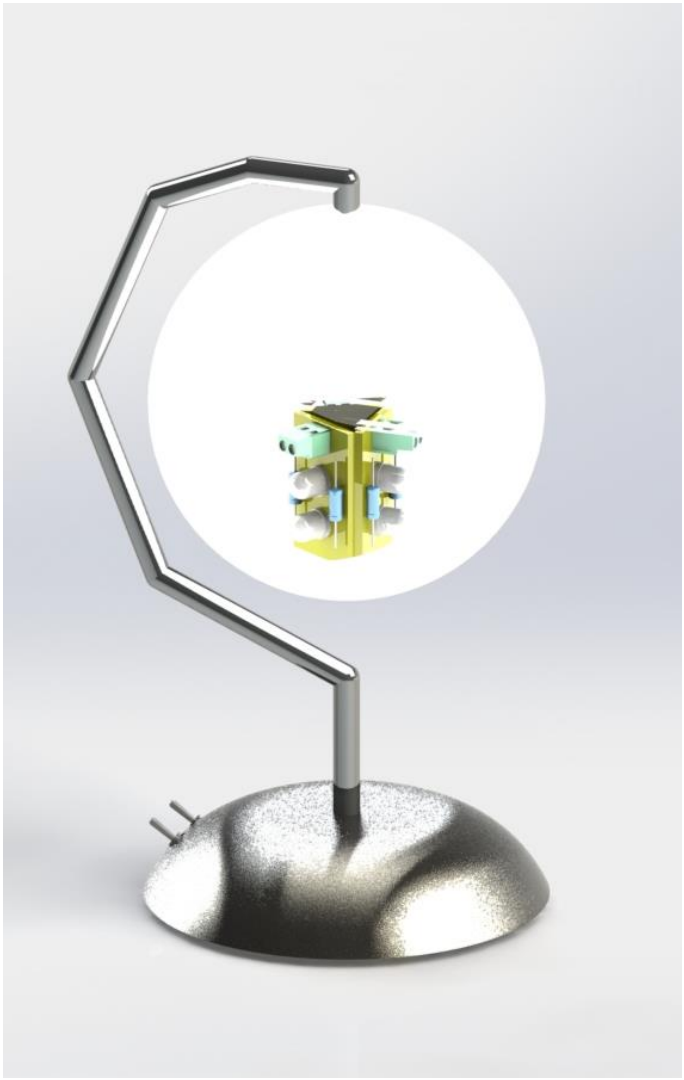




**Viewing Angle Drawing**

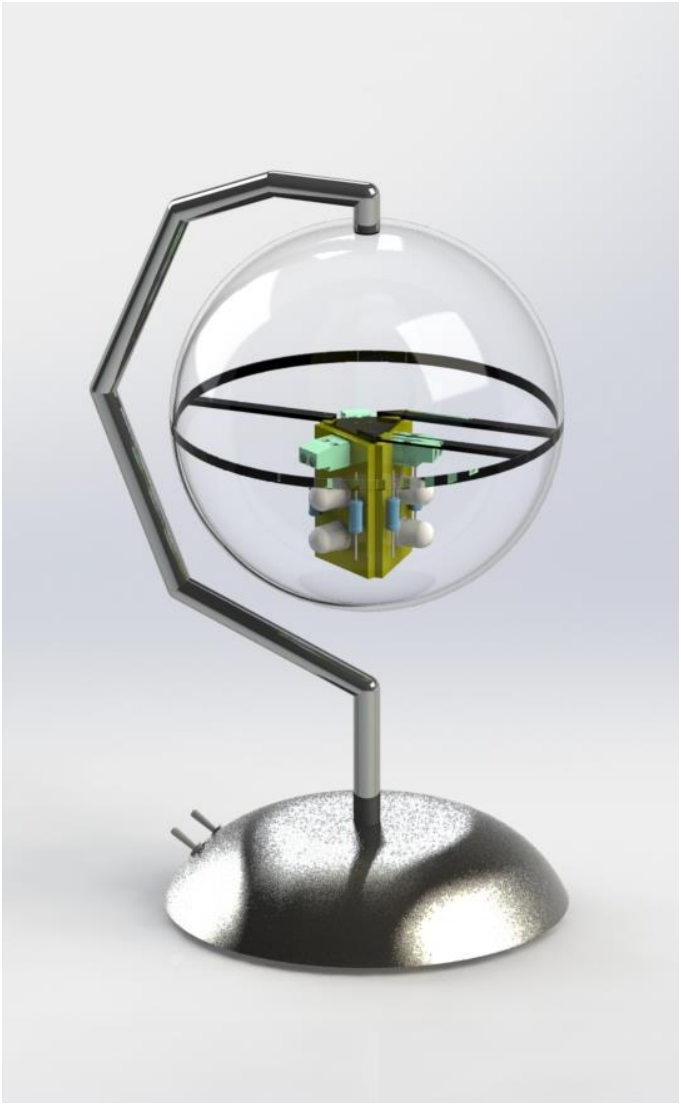


# ANEXO 2. PLANOS DE DISEÑO DE LÁMPARA.

## A. CORTE DEL ENSAMBLAJE DE LA PANTALLA DE LA LÁMPARA.

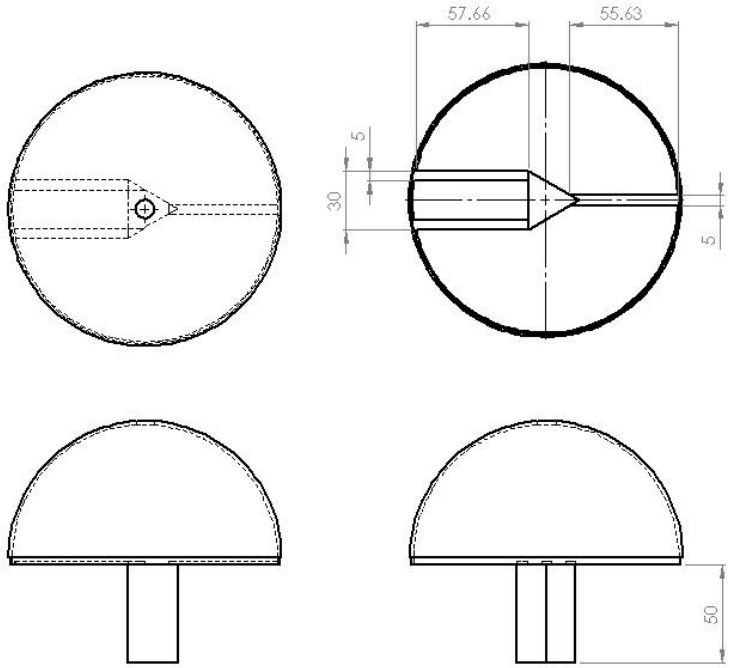


B. PANTALLA TRANSPARENTE DE LA LÁMPARA.

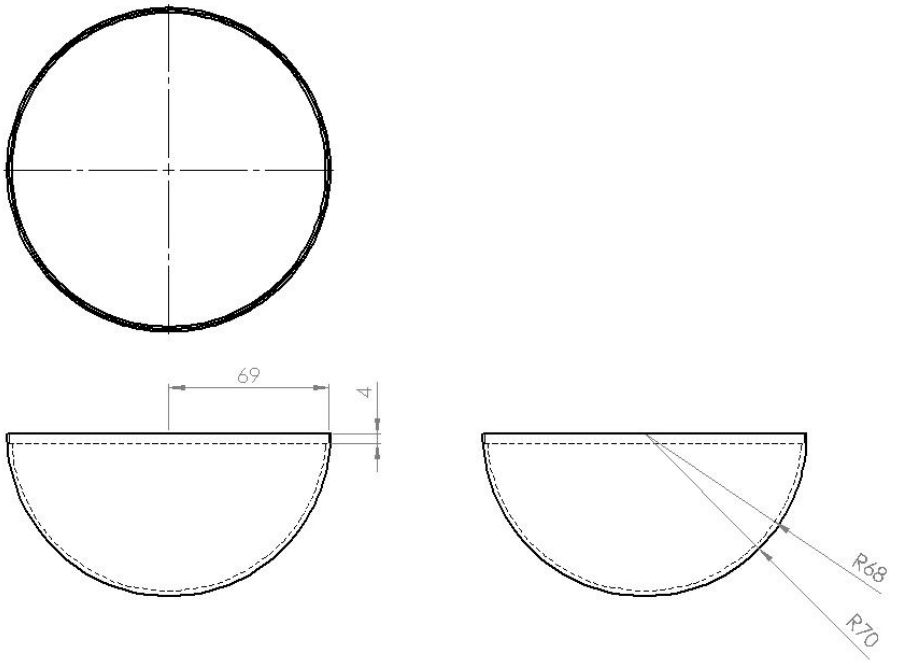


C. PIE TRANSPARENTE DE LA LÁMPARA.

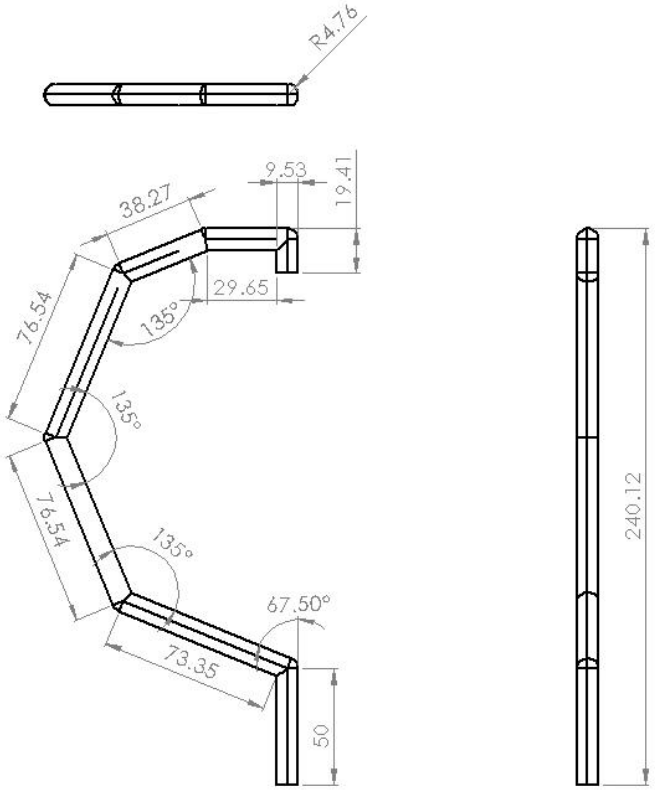
D. MEDIDAS DE LA PARTE SUPERIOR DE LA PANTALLA.



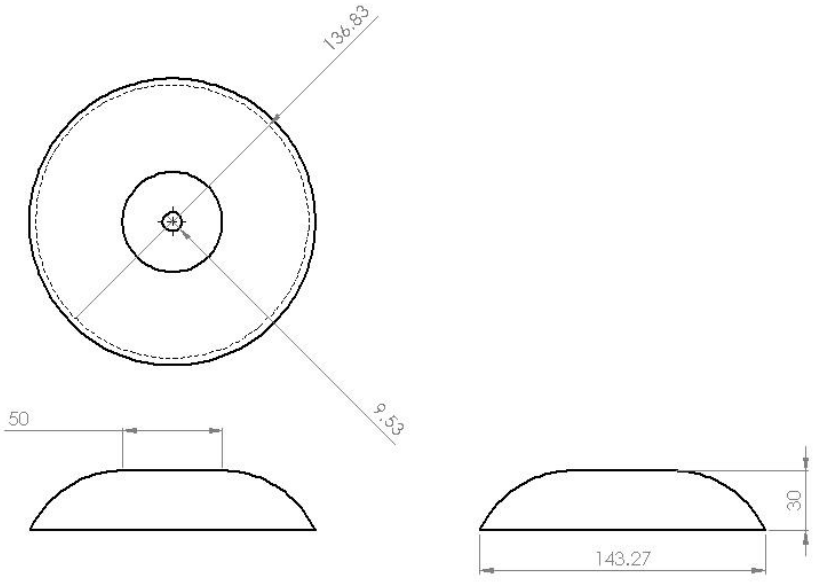

E. MEDIDAS DE LA PARTE INFERIOR DE LA PANTALLA.



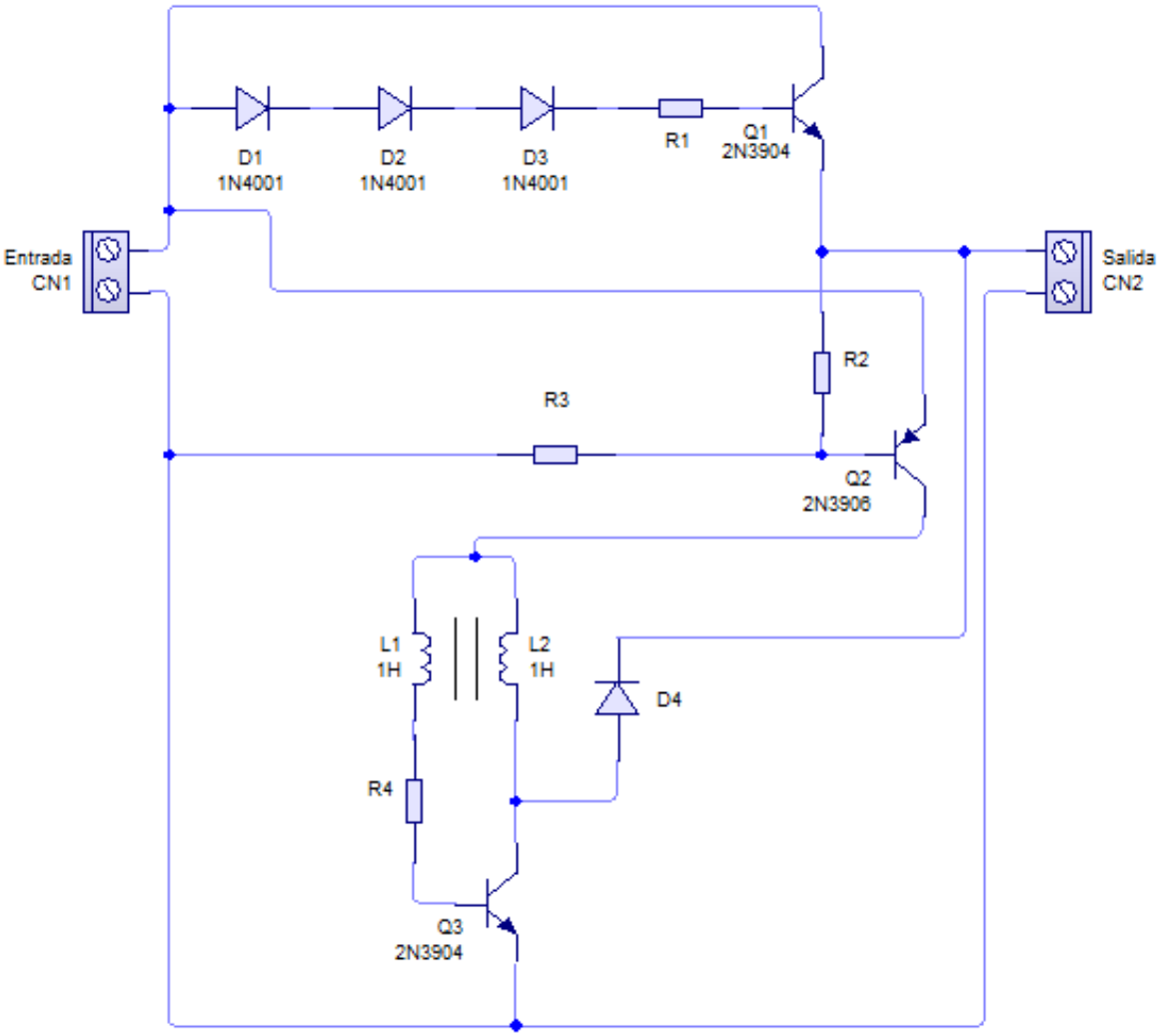
F. MEDIDAS DEL BRAZO DE LA LÁMPARA




G. MEDIDAS DEL PIE DE LA LÁMPARA.



ANEXO 3. DIAGRAMA ELECTRÓNICO PARA CAMBIO DE CIRCUITO AUTOMÁTICO.



# XII. GLOSARIO

- Cortocircuito: Circuito que se produce, generalmente de manera accidental por contacto entre dos conductores de polos opuestos y suele ocasionar una descarga.
- Diseño minimalista: Tendencia en el diseño y la arquitectura, donde la estructura se reduce a sus elementos necesarios
- Electrolito: Mezcla de ácido sulfúrico y agua destilada utilizada en algunas baterías eléctricas.
- Núcleo: Parte o punto central de algo material o inmaterial.
- Oscilar: Efectuar movimientos de vaivén a la manera de un péndulo de un cuerpo colgado de un resorte o movidos por él.
- Pasivo: Elementos pasivos son aquellos componentes de los circuitos, que disipan o almacenan energía eléctrica o magnética y constituyen por ello los receptores o cargas de un circuito.
- PCB: (del inglés Printed Circuit Board, PCB) es la superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora.
- Polo: Cada uno de los dos terminales del circuito de una pila o de ciertas máquinas eléctricas.
- Protoboard: es un tablero con orificios conectados eléctricamente entre sí, habitualmente siguiendo patrones de líneas, en el cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para el armado y prototipado de circuitos electrónicos.
- Prototipo: Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa.
- Toggle Switch: Conmutador de palanca.
- Toroide: Superficie de revolución engendrada por una curva cerrada y plana que gira alrededor de una recta fija de su plano y exterior a ella.
- Valencia: Número que expresa la capacidad de combinación de un elemento químico con otros para formar un compuesto.