



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SUPERFICIE REFLECTORA A BASE DE UN  
DIODO EMISOR DE LUZ DE ALTA POTENCIA PARA UN REACTOR FOTOQUÍMICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A  
VICTOR HUGO SORIANO HERNÁNDEZ**

**ASESOR PRINCIPAL DE TESIS:  
M. EN I. EDGAR ALFREDO GONZÁLEZ GALINDO**

**FES ARAGÓN EDO. MÉXICO, NEZAHUALCÓYOTL. 2019**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>III</b>
<b>OBJETIVOS GENERALES.....</b>	<b>IV</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES.....</b>	<b>IV</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>V</b>
<b>CAPÍTULO 1 .INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>40</b>
1.1 FOTOQUÍMICA .....	40
1.2 REACTORES FOTOQUÍMICOS .....	40
<b>CAPÍTULO 2 .DISEÑO DE UN CIRCUITO DE CONTROL PARA UN LED DE ALTA POTENCIA.....</b>	<b>42</b>
2.1 TIPO DE FUENTE LUMINOSA.....	43
2.2 LÁMPARA ULTRAVIOLETA .....	44
2.3 DIODO EMISOR DE LUZ DE ALTA POTENCIA .....	45
2.4 PROTOTIPO DEL CIRCUITO DE CONTROL.....	47
2.5 MODULADOR POR ANCHO DE PULSO .....	48
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DE UN REFLECTOR PARA UN REACTOR FOTOQUÍMICO .....</b>	<b>50</b>
3.1 REFLECTORES .....	50
3.2 TIPOS DE REFLECTORES .....	52
3.2 PRINCIPIO DE HUYGENS Y LEY DE SNELL.....	53
3.3 LEY DE LA REFLEXIÓN.....	54
3.4 SUPERFICIE PLANO-CÓNCAVA .....	59
3.5 SUPERFICIE PLANO-CÓNCAVA .....	60
3.6 ANÁLISIS MATEMÁTICO DE LA SUPERFICIE .....	64
3.7 AJUSTE DE LA SUPERFICIE POR EL MÉTODO POLINOMIAL .....	69
3.8 SUPERFICIES REFLECTORAS DE CANAL TIPO FRESNEL.....	74
3.9 RAYOS DE INCIDENCIA .....	80
<b>CAPÍTULO 4. DESARROLLO Y CONTROL DEL ARREGLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>83</b>
4.1 ARREGLO EXPERIMENTAL CONTROLADO .....	83
4.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL .....	86
.....	86
4.3 INTENSIDAD DE LAS FUENTES DE ILUMINACIÓN .....	88
4.4 EXCITACIÓN DE LA SUSTANCIA REACTIVA SIN REFLECTOR .....	93
4.5 EXCITACIÓN DE LA SUSTANCIA REACTIVA CON REFLECTOR.....	94
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.....</b>	<b>98</b>
<b>FUENTE BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>100</b>

APÉNDICE A. HOJA DE DATOS LM555 .....	102
APÉNDICE B. LED DE ALTA POTENCIA 30 WATTS.....	113
APÉNDICE C. IRF3205 HOJA DE DATOS .....	115
APÉNDICE D. PANEL DE LED 2 WATTS.....	117
APÉNDICE E. MOTOR BIPOLAR .....	119
APÉNDICE F. NANO ARDUINO .....	121
APÉNDICE G. BOMBA SUMERGIBLE .....	125

## Agradecimiento

- Quiero agradecer a la **Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)** por haberme hecho parte de la comunidad de profesionistas que, año con año egresan siendo ejemplo de alto nivel académico y motivación para muchos
- A la Facultad de Estudios Superiores Aragón por recibirme en sus aulas, donde adquirí los conocimientos necesarios para mi formación profesional
- Al Centro Tecnológico Aragón de la Facultad de Estudios Superiores Aragón por el apoyo para realizar el proyecto con el cual hoy me título.

## Dedicatoria

- A mi **Esposa Diana Stéfany Córdova** que me alentaba a continuar y terminar lo que ya había comenzado, y que junto con mi hijo Eliezer son una motivación en mi vida
- A mi **Madre Margarita Yolanda Hernández** por esfuerzo, apoyo mostrado día a día, sus enseñanzas y educación para llegar a ser lo que ahora soy y en diversos aspectos a lo largo de mi vida, durante mi crecimiento y formación profesional
- A mi **Padre Juan Víctor Soriano** por haberme enseñado desde temprana edad la importancia del trabajar y salir adelante en la vida
- A mi Profesor y amigo **Edgar Alfredo González Galindo** por la ayuda incondicional mostrada durante todo el proceso de formación académica
- A mi **Amigo Jorge Pérez García** por el ánimo y la ayuda a lo largo del proyecto
- Al **Doctor J. Guadalupe Hernández Hernández** por el apoyo y enseñanza en el área química y por el suministro de la sustancia reactiva para hacer posible la realización de las pruebas en el arreglo experimental.
- A mi familia en general por hacerme ver la importancia de ser una persona de ejemplo y de unidad hacia ellos
- A mis amigos que me enseñaron el compañerismo que debe existir en toda relación humana
- Y principalmente a mi **Señor Jesucristo** que me salvó y me libro de una enfermedad mortal, la cual no me hubiera permitido estar aquí el día de hoy, y por haber suplido en todo aspecto en toda mi vida.

## Resumen

En el siguiente trabajo se hablará de la implementación de una superficie de tipo canal como reflector tipo Fresnel, utilizado como concentrador de luz para excitar una sustancia química, diseñado con el fin de optimizar el consumo de energía y reducir el tiempo de irradiación en los reactores fotoquímicos.

Se verán conceptos de la fotoquímica, reflectores existentes, la ley de Snell y el principio de Huygens para fundamentar el trabajo realizado. Además, se hará mención de diferentes tipos de fuentes de iluminación, de las cuales se seleccionarán algunas de ellas para realizar las pruebas experimentales.

Al obtener la superficie base, será necesario realizar un ajuste con el uso del Método de interpolación polinomial, el cual nos ayudará a obtener la función que satisface dicha superficie, así como sus raíces para conocer el orden de la función obtenida. Posteriormente se procederá al diseño de la superficie de Fresnel partiendo de la superficie planocóncava libre de forma, y se trazará gráficamente los rayos incidentes y los rayos reflejados emitidos por una fuente de iluminación, colocada a cierta distancia en el arreglo experimental.

Por último, las pruebas experimentales se realizarán en una cámara oscura aislada que se ubica en el Laboratorio de Medición e Instrumentación del centro Tecnológico de la FES Aragón. Para observar su comportamiento se llevará a cabo dos pruebas en el mismo arreglo, en el primer caso no se adaptará el reflector de Fresnel tipo canal y para el segundo caso si se colocará la superficie reflectora, obteniendo los datos y graficándolos, para observar el comportamiento de la sustancia reactiva, y así comparar ambos casos.

## **Objetivo General**

Optimizar la rapidez de reacción que tiene un reactor fotoquímico por la exposición a una fuente de luz, utilizando una superficie de forma libre tipo canal el cual concentrará los rayos reflejados a la sustancia reactiva.

## **Objetivos Particulares**

Conocer los antecedentes de la fotoquímica, así como los reactores existentes hasta hoy, su función y las características de cada uno, para obtener una propuesta de optimización de la excitación de la sustancia reactiva.

Conocer los tipos de fuentes excitantes utilizadas en los reactores fotoquímicos, incluyendo la lámpara ultravioleta, y las características de un LED de alta potencia, para que de esta manera se proceda al diseño del circuito esquemático de la etapa de potencia y su circuito impreso, para controlar la intensidad luminosa de dicho LED.

Conocer los tipos de reflectores, así como el principio de Huygens y la ley de Snell que son base de la reflexión. Diseñar y crear la superficie de forma libre usada como reflector desde su forma plano-cóncava, utilizando el método polinomial para ajuste de curvas y así obtener la función que satisfaga dicha superficie, los rayos que actúan sobre la superficie tipo Fresnel.

Diseñar y elaborar el arreglo experimental para la excitación un compuesto químico fotosensible, a través de una cámara oscura que a su vez estará controlado, y de esta manera obtener los resultados esperados.

## **Hipótesis**

Mediante una sustancia líquida translúcida, se generará una superficie de forma libre reflectiva plano-convexa por gravedad, y se determinará la distancia focal efectiva (DFE), que permitirá obtener su función por medio del ajuste de curvas, y diseñar el reflector que se usará para colocarlo en el arreglo experimental, concentrando los rayos en el compuesto químico y acelerarlo molecularmente y ahorrar energía y tiempo.

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1 Fotoquímica

La química es una materia muy extensa del área científica al igual que su campo de estudio, sin embargo, existe una rama la cual no es muy conocida pero que hoy en día, es de gran relevancia en el sector salud, industrial, energético entre otros, hablamos de la Fotoquímica. Desde el siglo XIX en 1842, John William Draper propuso y dijo que solo los rayos de luz que se absorben pueden producir cambios químicos. Esta proposición llegó a ser una ley y el fundamento de la fotoquímica, conocida como la ley Grotthuss-Draper. Este nombre se estableció ya que anteriormente hubo un promulgador del mismo principio, pero poco conocido llamado Theodor Grotthuss en 1817.

Hoy en día sabemos que las interacciones entre moléculas son las reacciones químicas más clásicas, sin embargo, vemos que existen las reacciones bioquímicas las cuales son producidas por catalizadores enzimáticos, las electroquímicas que son producidas por la transferencia entre conductores iónicos y electrónicos y las fotoquímicas que son resultado de la interacción entre la radiación y las moléculas de una sustancia. La fotoquímica, al igual que el acople de estos procesos con tratamientos biológicos, son alternativas muy prometedoras para aumentar la calidad del agua [1].

## 1.2 Reactores Fotoquímicos

Los reactores tienen una clasificación especializada, que dependerá de su geometría, dinámica de flujo, régimen térmico y sus fases presentes. Con base en esto se dividen principalmente en 2 tipos: continuos, que son los que tienen un flujo ininterrumpido de carga o excitación y discontinuos los cuales sí se interrumpe su suministración de energía. Por ello tenemos la siguiente clasificación: Tanques agitados. Por lo general son recipientes de forma cilíndrica que tienen la ventaja de ser utilizados para operaciones continuas o CSTR y discontinuas o batch.

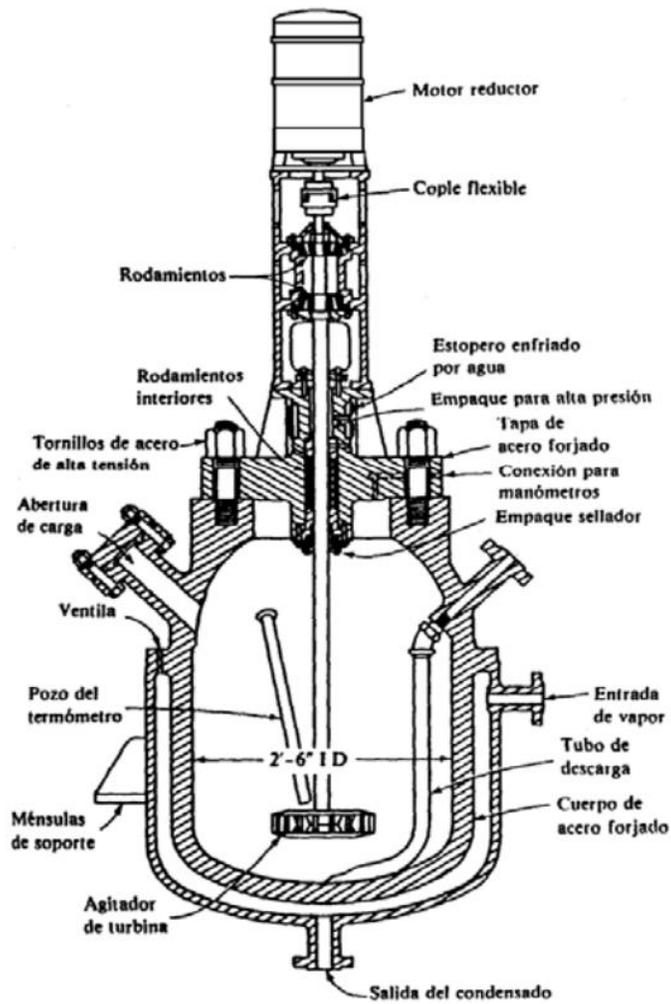


Figura 1.1. Reactor tipo de tanque agitado [1a]

Reactores tubulares. Estos, también cilíndricos, pero de mayor longitud respecto a su diámetro, son usados para operaciones continuas.

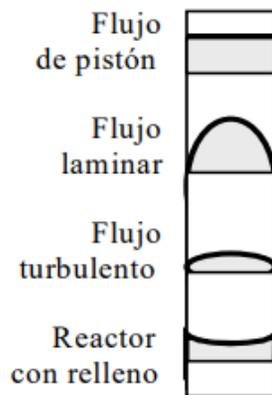
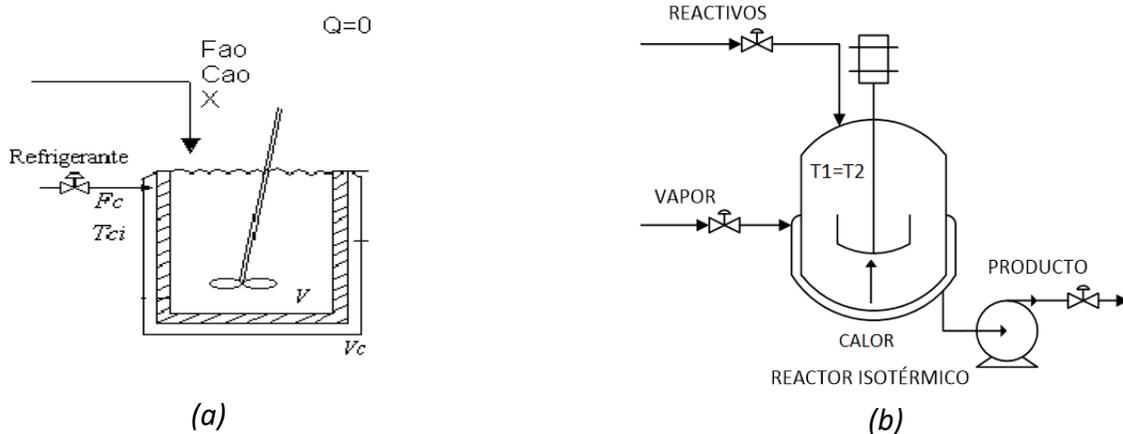


Figura 1.2. Reactor tubular

Para que un reactor sea excitado en su totalidad, es de suma importancia tomar en cuenta lo siguiente:

- 1) El tiempo de interacción que debe existir entre el catalizador y la sustancia reactiva, a este periodo se le llama tiempo de residencia, que es definido por la fluidodinámica y la posibilidad de difusión del sistema. En los reactores reales el tiempo de residencia es muy variado y existe una cierta dispersión, como se ve en los reactores tubulares y de tanque agitado, por ello se ha trabajado para llegar a lo ideal de la reacción usando reactores de flujo de pistón y de mezcla completa, los cuales tienen una mayor aproximación.
- 2) Hacer más sencilla la mezcla de los elementos presentes en la reacción, que se puede hacer mediante la agitación del sistema o movimientos para combinar adecuadamente la mezcla. Cabe mencionar que la unión entre fluidos no es necesaria la mayoría de las veces, ya que sus propiedades son muy similares. Por ello existen unos reactores llamados homogéneos los cuales presentan reactivos y catalizadores en la misma fase reactiva; y los Heterogéneos donde se presentan 2 o más fases reactivas.
- 3) Variar el calor inducido directa o indirectamente al sistema, esto lo podemos saber gracias a la termodinámica, la cual nos ayudará para el diseño de los reactores, y así conocer los elementos de calefacción o refrigeración que se pueden utilizar, en cualquier caso. Un ejemplo son los reactores isotérmicos los cuales la temperatura utilizada es constante, a diferencia de los adiabáticos donde se restringe el intercambio de calor.



**Figura 1.3.** (a) Diagrama de un reactor adiabático [1b]. (b) Diagrama de un reactor isotérmico [1c].

Entonces podemos concluir que la reacción química es la disciplina que estudia la cinética y la influencia que tienen los fenómenos de transporte, para relacionar la interacción de los reactores con entorno y las variables de entrada [4].

## Capítulo 2. Diseño de un circuito de control para un LED de alta potencia.

### 2.1 Tipo de fuente luminosa.

En el capítulo uno se vio la introducción del trabajo, el desarrollo de la problemática, la hipótesis del proyecto y los objetivos que se pretenden, así como conocer el área de la fotoquímica y a los reactores fotoquímicos conociendo a los científicos que comenzaron a estudiar y a realizar experimentos en esta área de la química.

En este capítulo hablaremos del diseño del sistema para la optimización de los reactores fotoquímicos, así como las fuentes de iluminación utilizadas comúnmente para este tipo de reactores y la iluminación LED elegida por su bajo consumo de energía.

La luz para todos los seres vivos y en particular para el hombre es de vital importancia, ya que todo ser vivo está creado para desempeñarse óptimamente durante el día, desde la capacidad de nuestros ojos para captar la luz del sol hasta el funcionamiento del cerebro para dirigir el descanso durante la noche, por ello se puede decir que la luz es un regulador de la actividad humana.

La luz representa la fuente de energía por excelencia, un ejemplo de esto es la fotosíntesis, capacidad de los vegetales, las algas y algunos microorganismos para convertir la energía lumínica procedente del sol en energía química [5].

Dentro y fuera de nuestro planeta podemos encontrar diversas fuentes luminosas, las cuales son necesarias para el diario vivir, muchas de ellas desarrolladas a lo largo de la historia. Por lo que se ha clasificado las fuentes de iluminación dependiendo su origen:

#### 1. Fuentes de Iluminación Naturales.

Son aquellas que producen luz por sí mismas, que podemos observar diariamente, al caminar, al realizar ejercicio al aire libre, al estar viajando hacia otro país, o simplemente al despertar por la

mañana. La Fuente más común, pero sin la cual no habría vida en la tierra es el Sol, otra son las estrellas en el universo, las luciérnagas, animales que habitan en el fondo del mar, entre otros existentes en la naturaleza.

## 2. Fuentes de Iluminación Artificial.

Son aquellas que fueron formadas por el ser humano utilizando los elementos y recursos que encontramos el planeta, entre las cuales tenemos:

- a) Lámpara Incandescente. Origina la luz por medio del calentamiento de un filamento metálico producido por el paso de la corriente eléctrica, la cual en su interior tiene un gas inerte que retarda el deterioro del dicho filamento.
- b) Lámpara Halógena. Hechas a base de vapor de Halógeno, que permite remover continuamente el material de un filamento que se deposita por la evaporación de la superficie interna de la ampolla, que alargará su tiempo de vida.
- c) Lámpara de Descarga. La luz se produce por medio de una descarga eléctrica que viaja a través de un gas metálico o una combinación de gases dentro de la lámpara.
- d) Lámparas Fluorescentes. La luz que irradia es mediante la capa delgada de material fluorescente excitado por la radiación ultravioleta de la descarga [6].

## 2.2 Lámpara Ultravioleta

Las lámparas ultravioletas son las fuentes de iluminación que se utilizan principalmente en los reactores fotoquímicos, las cuales están hechas a base de vapor de mercurio, fabricadas por empresas que se especializan en la creación lámparas fluorescentes estándar, ya que su estructura es similar una de otra.

En la estructura de las lámparas ultravioleta podemos observar un tubo de cuarzo o sílice, en el interior de este tubo se produce un arco eléctrico que choca con una mezcla de vapor de mercurio y argón que hay en su interior, aunque el argón está presente no actúa en la reacción producida por la corriente al chocar con dicho vapor, ya que sus funciones son el reducir pérdidas, alargar la vida del electrodo

interno y encender la lámpara. Sin embargo, al generarse la corriente eléctrica, las moléculas de mercurio se excitan llevando los electrones de las órbitas externas hacia las de menor nivel energético, para de esta manera se produzca energía en forma de radiación UV.

Existen 2 tipos de Lámparas UV:

1. Lámparas UV de baja presión (UV-C): Estas generan radiación monocromática con una longitud de onda de 254 nm, son delgadas con una longitud de 0.75 a 1.50 m y un diámetro de 15 a 40 mm; operan a una temperatura ideal de 40 °C y presión de 0.007 mm de Hg, su rendimiento se define entre 25 y 27 W a 254 nm, con una potencia de 70 a 80 W.

La vida útil de estas lámparas es entre 9000 a 13000 Horas y del cuarzo es de 4 - 8 años dependiendo del número de ciclos por día. Un punto importante que mencionar es la temperatura a la que se está trabajando la lámpara, ya que si no se respetan los 40 °C el mercurio se condensa, provocando que el rendimiento de la lámpara disminuya.

2. Lámparas UV de presión media: Estas operan a 600 - 800 °C y a una presión de 100 - 10000 nm de Hg, generando una radiación policromática y solo del 27 - 44 % de la energía irradiada tiene una longitud de onda comprendida en rango UV-C y sólo del 7 - 15 % de su rendimiento está cerca de los 254 nm, sin embargo, este tipo de lámparas generan de 50 a 100 veces el total de rendimiento de una lámpara de baja presión [7].

## **2.3 Diodo Emisor de Luz de alta potencia**

Los diodos emisores de luz (LED) son dispositivos semiconductores que irradian energía luminosa y funcionan a base de corriente directa (CD), los cuales existen de baja y alta potencia [8]. Los LED de baja potencia consumen entre 20 y 30 miliamperes [9], pero los de alta potencia son más sofisticados, ya que incluyen ópticas de control de flujo luminoso y trabajan a potencias desde 1 W en adelante [8].

Sus características principales son las siguientes:

- Vida promedio de 50,000 hrs.
- Necesitan un circuito electrónico que lo haga funcionar de forma adecuada, principalmente cuando se tenga solo una fuente de energía de Corriente Alterna (CA)
- Excelente Flujo Luminoso
- Alta Eficiencia Control preciso y direccional del flujo luminoso
- Mínimas emisiones de radiaciones infrarrojas y ultravioletas [10].

A continuación, veremos las características generales de los LED de alta potencia:

**Tabla 2.1.** Tabla descriptiva de las características de los LED de alta potencia [10].

NÚMERO DE PARTE GENERAL	LED-TTTYLLLL-XXX/GH-S	
TTT= Tipo de Producto	P0= Led de Alta Potencia de 0.5 W P1= Led de Alta Potencia de 1 W P3= Led de Alta Potencia de 3 W P5= Led de Alta Potencia de 5 W P6= Led de Alta Potencia de 6 W P9= Led de Alta Potencia de 9 W	P10= Led de Alta Potencia de 10 W P25= Led de Alta Potencia de 25 W P30= Led de Alta Potencia de 30 W P50= Led de Alta Potencia de 50 W P80= Led de Alta Potencia de 80 W P100= Led de Alta Potencia de 100 W
Y= Colores disponibles	R= Rojo G= Verde B= Azul	Y= Amarillo WW= Blanco Cálido W= Blanco Puro o Luz de Día
LLLL= Flujo luminoso	1 a 10,000 Lúmenes	
XXX= Ángulo de dispersión	30,40,50,60,80,90,100,110,120 grados	
G= Tamaño de Wafer (chip)	2= 24 000 4= 40 000	3= 30 000 6= 60 000
H= Cantidad de Chips	1 a 100 chips	
S= Características especiales	N= Sin disipador de calor	

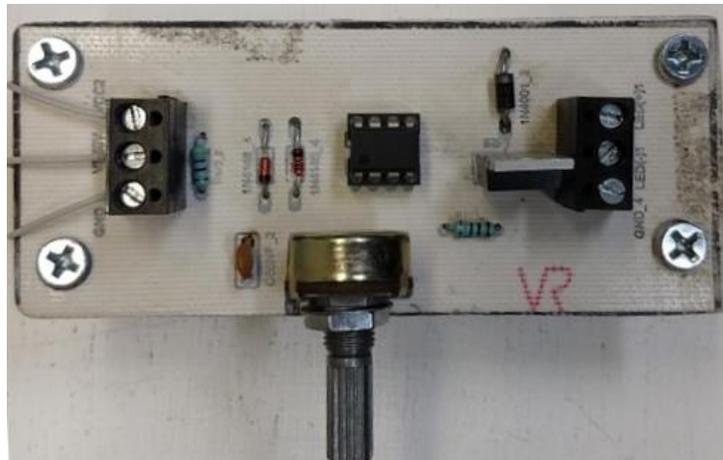
El led con el que se trabajó tiene las siguientes especificaciones particulares:

- Marca: MITZU
- Modelo: MLM-5050WH
- Voltaje de Alimentación: 12 VCD
- Potencia: 2.16 W (por módulo)
- Grados IP: IP65
- Temperatura de operación: -25 a 60 °C, (-13 a 140 °F)

Es importante resaltar que se utilizaron 10 módulos para el arreglo experimental.

## 2.4 Prototipo del circuito de control

Al inicio de las pruebas, se utilizó un circuito PWM con un LM555CN perteneciente al laboratorio de Medición e Instrumentación del Centro Tecnológico de la FES Aragón como se muestra en la Figura 2.1 con el cual se controlaba la intensidad luminosa de la fuente con la que se estaba trabajando, y la sustancia se colocaba a la distancia focal efectiva de forma manual.



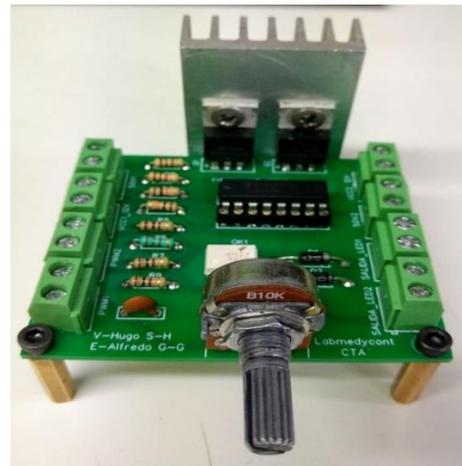
**Figura 2.1.** Circuito impreso cortesía del laboratorio de Medición e Instrumentación del Centro Tecnológico de la FES Aragón



borneras, cada una con una función específica como la alimentación de los LED, el circuito integrado, y el TL494CN; conexiones para 2 PWM y 2 salidas de LED para la irradiación de la sustancia. Este circuito se diseñó y armó en el laboratorio de medición e instrumentación del Centro Tecnológico Aragón con el fin de poder utilizarse no solo en el sistema de reacción sino también para conectar otros módulos de trabajo. Se optó por este circuito ya que el de la Figura 2.1 durante las pruebas presentaba fallas de apagado.



(a)



(b)

**Figura 2.3.** (a) Placa de circuito impreso a doble cara aislada; b) Placa impresa con componentes electrónicos soldados

## Capítulo 3. Diseño de un reflector para un reactor fotoquímico

En el capítulo anterior conocimos un poco más de las características específicas de cada fuente de iluminación, así como el diseño del arreglo experimental para la optimización en la irradiación de los reactores fotoquímicos.

En este capítulo se diseñará un reflector para la excitación de una sustancia reactiva, partiendo de una superficie plano cóncava generada por gravedad hasta llegar a una superficie de Fresnel tipo canal, fundamentado por el método de ajuste polinomial.

### 3.1 Reflectores

En la actualidad hay diversos dispositivos que se utilizan para controlar la luz tanto su intensidad luminosa como la dirección que lleva, entre ellos encontramos: los dispositivos de apantallamiento, los difusores, lentes, refractores, filtros de luz y los reflectores. Estos últimos serán de suma importancia en nuestra investigación.

El reflector es un elemento muy importante en la iluminación, ya que es el responsable del rendimiento y la duración de una lámpara, desde el uso casero hasta el uso industrial, además de que es determinante para poder controlar el haz de luz emitido por una fuente.

Los materiales más utilizados para la fabricación de los reflectores son: 1) La chapa de aluminio, la cual se obtiene por embutición (proceso utilizado para obtener piezas huecas) y repulsado (deformación por rotación), con un acabado de anodizado (tratamiento de la superficie electrolítica de metales) y sellado; 2) La chapa de hierro, esta debe llevar un proceso para evitar su oxidación, para que de esta manera se evite la baja reflexión de la luz; 3) los reflectores plásticos.

Para el diseño de reflectores, los especialistas se basan en 3 tipos de reflexión: la reflexión especular, reflexión dispersa y reflexión difusa.

Tipos de Reflectores

Reflectores especulares. En estos reflectores hay una distribución precisa de la luz, y los podemos ver en la iluminación en carreteras y avenidas en las ciudades.

Uno de los materiales que más se utilizan para su fabricación es la chapa de aluminio, con poco grosor, para que de esta manera se garantice su estabilidad y eficacia en su funcionamiento.

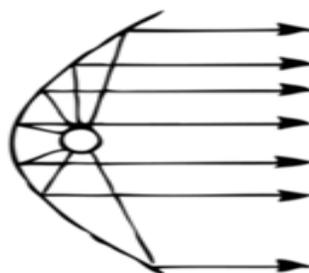
Hablando de las formas geométricas de estos reflectores encontraremos la circular, parabólica, esférica o elíptica.

En el caso del reflector circular, los rayos de luz que inciden deben llegar al interior de la superficie para que su distribución sea la ideal o deseada, pero cuando la fuente de luz está situada en el centro de la circunferencia, la luz que se emita será reflejada con la misma dirección y sentido como se ve en la Figura 3.1.



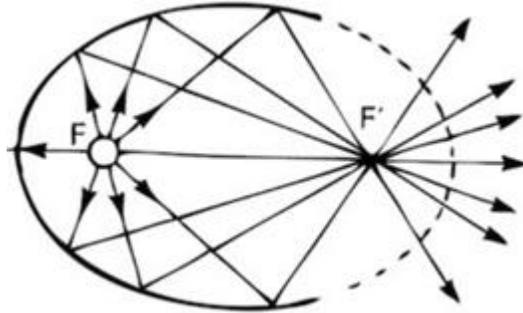
**Figura 3.1.** (a) Reflector Circular con fuente de luz desplazada a la izquierda. (b) Reflector Circular con fuente de luz en el centro de la circunferencia.

Hablando del reflector parabólico, si se coloca la fuente de luz en el foco se producirá una reflexión totalmente paralela, por ello esta forma geométrica es la más usada en la rama de luminotecnia, como se ve en la Figura 3.2.



**Figura 3.2.** Reflector parabólico con fuente de luz a la distancia focal

En cuanto a los reflectores elípticos, la propiedad que lo define es que si en el foco se coloca la fuente de luz todos los rayos serán redirigidos al foco conjugado, como se muestra en la Figura 3.3.



**Figura 3.3.** Reflector Elíptico con fuente de luz a su distancia focal

Reflectores Dispersos. Estos reflectores son reconocidos por su distribución uniforme y bien definida de la luz, por ello no son utilizados en situaciones o casos donde se necesite un alto control de la iluminación.

Reflectores Difusos. Empleado en casos donde no se requiere un enfoque de la distribución de la luz, o cuando se requiera que el haz sea mayor a los  $90^\circ$ , además de que su superficie debe ser en un acabado mate o con pinturas opacas [10].

### 3.2 Categorías de reflectores

Los reflectores se clasifican en 2 categorías de forma, los reflectores de revolución y los reflectores rectangulares.

Los reflectores de revolución son aquellos cuyo diseño es a base de figuras redondas, como las formas cónicas, hemisféricas, cilíndricas y todos los que hemos mencionado anteriormente en los reflectores especulares.

Los reflectores de rectangulares son aquellos que tienen su forma definida por ángulos de  $90^\circ$ , pero que su superficie puede tener un diseño diferente si así se llega a requerir, esto dependerá del uso y el área donde se requiera dichos reflectores. Estos se realizan con metales anodizados o por estampación.

Una vez que se cuenta con el diseño deseado debemos trabajar en el Reglaje, que no es otra cosa que la posición que debe llevar la fuente de iluminación con respecto al reflector, para que de esta manera se aproveche al máximo la concentración de la energía luminosa [10].

En el 2014, el 7 de julio para ser precisos, la periodista Teresa Alameda realizó un artículo donde hablaba de un reflector que innovaría la concentración de la luz, llamado "REFLEXIS", un reflector polimérico autorreparable de alta reflectancia, el cual concentraría mayormente los rayos solares aumentando la eficiencia de las centrales termo solares de concentración, además de reducir los costos en la instalación de los paneles reflectivos. Este diseño fue realizado por la compañía andaluza "Nematia Ingeniería".

Alejandro Donaire, gerente de la compañía explicaba que el reflector se construyó a base de plástico y no con vidrio convencional, ya que esto permitirá "un aprovechamiento más eficiente de la radiación solar".

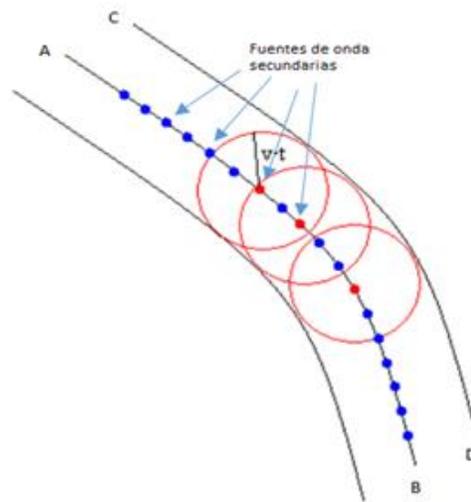
Este mayor aprovechamiento del REFLEXIS se consigue por las características ópticas de los materiales que se utilizan para su fabricación, ya que su estructura reduce la desviación de los rayos solares por los espejos termoplásticos que lo definen, a diferencia de los reflectores vidriosos que con la radiación solar se van deteriorando más rápido con el paso del tiempo.

Otro de los puntos a favor de este reflector es que no sufre mucho daño por la agresión de agentes atmosféricos, los cuales son un enemigo en el ramo de la reflexión, ya que evitan que haya captación de la radiación solar. [11].

## **3.2 Principio de Huygens y Ley de Snell**

Este principio nos habla de un método geométrico el cual nos servirá de herramienta para poder hallar la forma que adoptará un frente de ondas en un momento posterior al primario. Es decir que cada punto del frente de onda primario dará origen a frentes de onda secundarios, que producen ondas esféricas con la misma frecuencia y velocidad que el frente de onda primario, propagándose a todas direcciones. De esta manera se tendrá el nuevo frente de ondas, siendo este la envolvente de todas las ondas secundarias, en un momento dado.

Si hacemos mención de un ejemplo diremos que, si se conoce la forma que tiene un frente de onda primario  $AB$ , podremos colocar unos puntos sobre este frente para identificar los frentes de onda secundarios, para que posteriormente coloquemos circunferencias con radio  $V \cdot t$ , tomando como centro de cada circunferencia, los puntos del frente de onda primario, para que de esta manera determinemos el frente de onda consecutivo  $CD$ , teniendo como resultado el nuevo frente de ondas en un instante  $t$ , siendo este la envolvente de todas las circunferencias mostrada en la Figura 3.4.



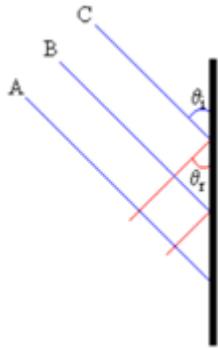
**Figura 3.4.** *Frentes de onda con la generación de la envolvente*

El radio de las circunferencias será el mismo si el medio tiene las mismas propiedades en todos los puntos y en todas las direcciones, esto quiere decir que el medio debe ser homogéneo e isótropo [12].

### 3.3 Ley de la reflexión

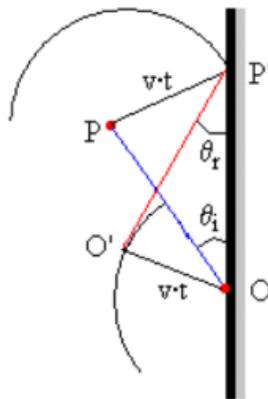
Siendo el principio de Huygens una de las bases de la reflexión lumínica, se tiene que, si un frente de ondas es reflejado sobre una superficie plana, el frente de onda incidente formará un ángulo  $\theta_i$ , el cual al reflejarse creará un ángulo  $\theta_r$ , que será de igual magnitud que el primer ángulo formado. Por ello tenemos que:

$$\theta_i = \theta_r \quad 3.1$$



**Figura 3.5.** *Reflector plano para una fuente de iluminación en paralelo que da el principio de Huygens*

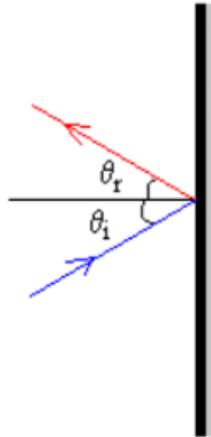
En la Figura 3.6, vemos que se toma la fuente de ondas secundarias  $P$ , y trazamos una recta perpendicular  $PP'$ , partiendo de la porción  $OP$  del frente de onda incidente, resultando que  $PP' = vt$ . El punto  $O$  nos servirá para trazar una circunferencia con radio  $vt$ , para que posteriormente tracemos una recta del punto  $P'$  al punto  $O'$ , que será perpendicular a dicha circunferencia. El segmento  $P'O'$  es la porción del frente de ondas reflejado. De esta manera observamos que el ángulo  $\theta_i$ , es igual al ángulo  $\theta_r$ , al formarse los triángulos  $OPP'$  y  $OO'P'$ .



**Figura 3.6.** *Trazos de frentes de onda formando rectas perpendiculares de manera que el ángulo  $\theta_i = \theta_r$ .*

Como conclusión tenemos que, al trazar rectas perpendiculares a los frentes de onda incidente y reflejado, vemos que el ángulo de incidencia  $\theta_i$  es formado por el rayo incidente y la normal a la

superficie reflejante (línea azul), y que el ángulo  $\theta_r$ , formado por el rayo reflejado y dicha normal (línea roja), son iguales [12].

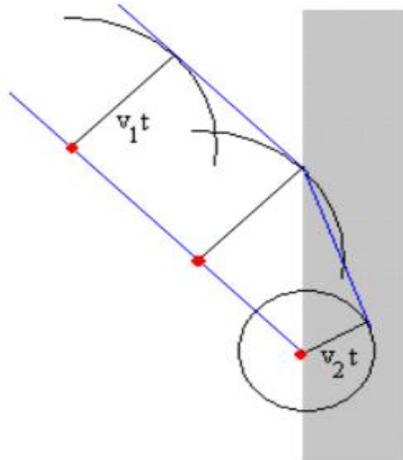


**Figura 3.7.** *Reflector plano con un rayo incidente y reflejado siendo la normal perpendicular a la superficie.*

### **Ley de Snell de la Refracción**

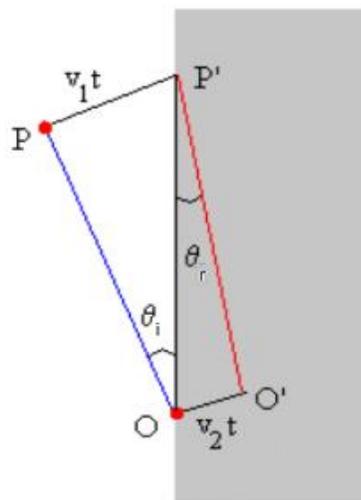
La refracción se manifiesta cuando un frente de ondas incide en una superficie de separación de dos medios, y este frente pasa del primer medio al segundo entrando en contacto con él.

Con base en lo anterior, tenemos que las fuentes de onda secundarias situadas en el frente de ondas incidente, generarán ondas que se propagarán en todas direcciones con una velocidad primaria a la que llamaremos  $v_1$  en el primer medio, y en el segundo medio la velocidad adquirida será diferente, por esto la llamaremos  $v_2$ . La envolvente de las circunferencias nos dará la forma del frente de ondas resultante después de un tiempo  $t$ , como se ve en la Figura 3.8.



**Figura 3.8.** Propagación del frente de onda de un medio a otro.

El frente de ondas incidente forma un ángulo  $\theta_i$  con la superficie de separación, y el frente de ondas refractado forma un ángulo  $\theta_r$  con dicha superficie como se observa en la Figura 3.9 y en la Figura 3.10 se establece la relación que existe entre los ángulos  $\theta_i$  y  $\theta_r$ :



**Figura 3.9.** Trazo de frente de onda de un medio a otro generando el ángulo  $\theta_i$  y  $\theta_r$ .

- En el triángulo rectángulo  $OPP'$  tenemos que:

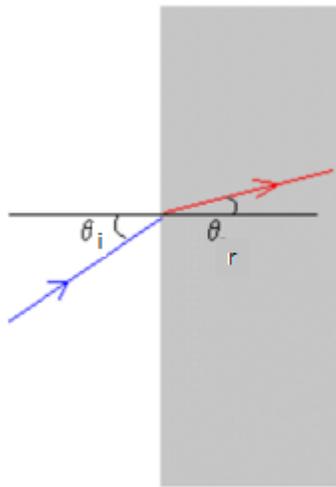
$$v_1 \cdot t = |OP'| \cdot \text{sen}\theta_i \quad (3.2)$$

- En el triángulo rectángulo  $OO'P'$  tenemos que:

$$v_2 \cdot t = |OP'| \cdot \text{sen}\theta_r \quad (3.3)$$

La relación entre los ángulos  $\theta_i$  y  $\theta_r$  es:

$$\frac{v_1}{\text{sen}\theta_i} = \frac{v_2}{\text{sen}\theta_r} \quad (3.4)$$



**Figura 3.10.** Relación entre los ángulos  $\theta_i$  pasando de un medio a otro generando un ángulo  $\theta_r$ .

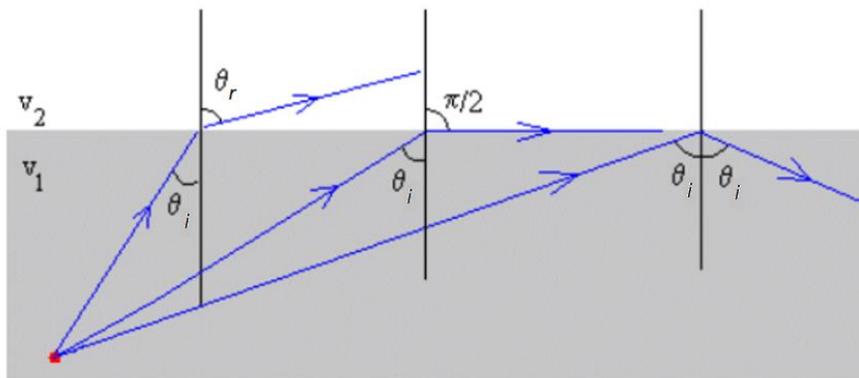
Reflexión Total.

- Si  $v_1 > v_2$  el ángulo  $\theta_i > \theta_r$  y el rayo refractado se acerca a la normal
- Si  $v_1 < v_2$  el ángulo  $\theta_i < \theta_r$  el rayo refractado se aleja de la normal

En el segundo caso mencionado, para un ángulo límite  $\theta_c$ , el ángulo de refracción es  $\theta_r = \pi/2$ . Pero ¿Que es el ángulo límite?, El ángulo límite es el ángulo incidente que, al chocar con la superficie, generará un rayo refractado que será tangente a la superficie de separación de los dos medios. Esto se representa de la siguiente manera:

$$\text{sen}\theta_c = \frac{v_1}{v_2} \quad (3.5)$$

Entonces, si el ángulo de incidencia es mayor al ángulo límite, el seno del ángulo será mayor a 1. Es decir, que las ondas que inciden con un ángulo mayor que el límite no pasan al segundo medio, sino que se reflejarán, en otras palabras, en vez de haber refracción habrá reflexión.



**Figura 3.11.** Se muestra la proyección de tres rayos incidentes en tres planos distintos a diferentes distancias; en el primero se muestra una refracción de un medio a otro, en la segunda se muestra una refracción total sobre la superficie y en la última una reflexión comportándose como un reflector.

En la Figura 3.11 se ve que a medida que va incrementando el ángulo de incidencia  $\theta_i$ , el ángulo de refracción aumentará hasta llegar a tener el valor de  $\pi/2$ , pero si se vuelve a incrementar el ángulo de incidencia, la onda incidente se reflejará al chocar con el límite de la superficie en el primer medio [12].

### 3.4 Superficie plano-cóncava

Se le llama índice de refracción al cociente entre la velocidad de la luz en el vacío ( $c$ ) con la velocidad de la luz en el medio materia transparente ( $v$ ), lo expresamos de la siguiente manera:

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.6)$$

La ley de Snell se expresa en términos del índice de refracción:

$$n_1 * \text{sen}\theta_i = n_2 * \text{sen}\theta_2 \quad (3.7)$$

En la siguiente tabla tenemos índices de refracción de algunas sustancias:

**Tabla 3.1.** Índices de refracción de distintas sustancias cortesía de de Koshkin N. I., Shirkévich M. G. *Manual de Física elemental. Edt. Mir (1975), pág. 209*

SUSTANCIA	ÍNDICE DE REFRACCIÓN
Azúcar	1.56
Diamante	2.417
Mica	1.56-1.60
Benceno	1.504
Glicerina	1.47
Agua	1.333
Alcohol etílico	1.362
Aceite de oliva	1.46

### 3.5 Superficie plano-cóncava

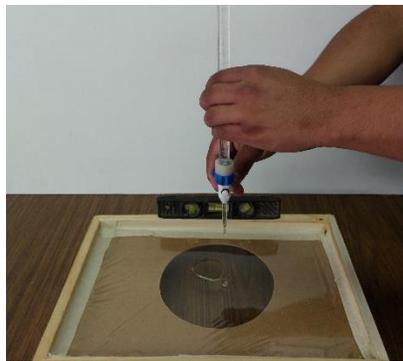
#### Desarrollo de una superficie de refracción por gravedad

En el desarrollo experimental, se diseñó un marco de madera con una superficie plana de dimensiones 28 cm de ancho por 40 cm de largo, que se puede realizar con diferentes dimensiones, en este caso particular, se utilizó la medida mencionada anteriormente. Posterior a esto, se hizo una perforación circular con una caladora en el centro de la superficie plana, con un diámetro de 16.2 cm. De esta manera se cubrió la superficie plana, incluyendo la circunferencia, con un material plástico transparente (playo) como se muestra en la Figura 3.12.



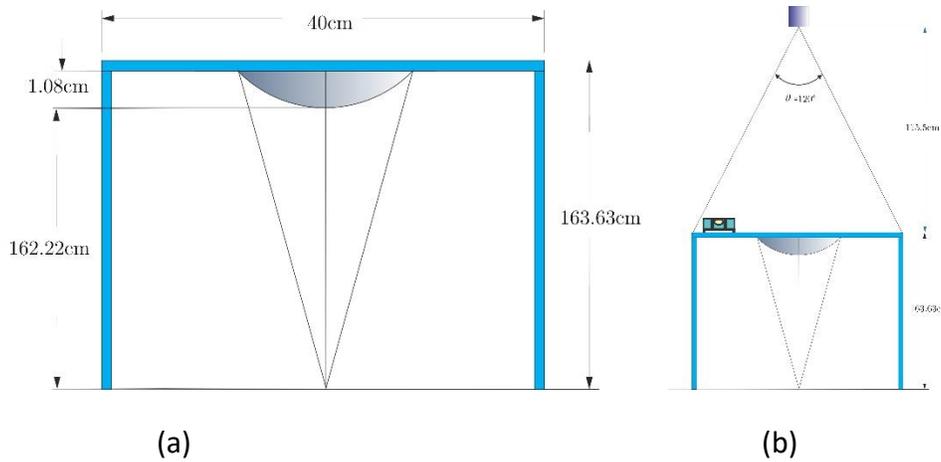
**Figura 3.12:** Marco utilizado para formar la superficie libre de forma

Por gravedad, se formará una superficie cóncava vertiendo con una pipeta graduada en el playo, 250 ml. de agua sobre el área del círculo como se muestra en la Figura 3.13. Es importante mencionar que la alineación del sistema es indispensable, para obtener las mediciones precisas y adecuadas para nuestro proyecto.



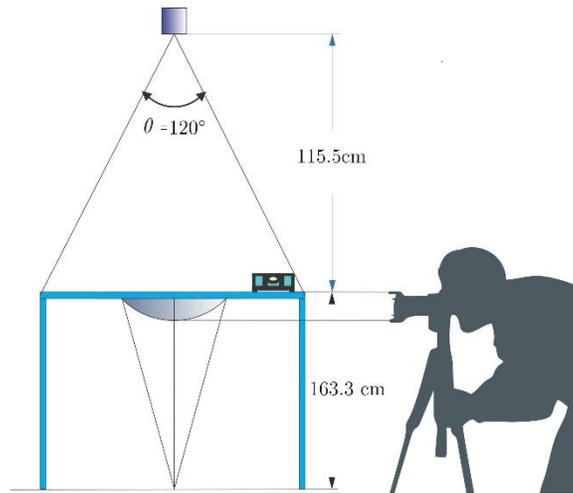
**Figura 3.13.** Formación de la superficie generada por gravedad

En la Figura 3.14 (a) se puede observar que, ya obtenida la superficie, se elevó el sistema a una altura determinada, para conocer la distancia focal utilizando una fuente de luz fija, dando como resultado una superficie planocóncava por gravedad con un espesor de 1.08 cm, una longitud 163.63 cm de la base del bastidor al suelo y 162.22 cm del vértice de la superficie al suelo, donde se observó claramente la formación del foco. De la misma manera, tomando en cuenta el ángulo de apertura de la fuente de luz de 120 como se muestra en la Figura 3.14 (b), se obtuvo la altura de la fuente al punto plano de la superficie planocóncava, que dio como resultado 115.5 cm de longitud.



**Figura 3.14.** (a) Dimensiones del sistema para obtener la distancia focal. (b) Fuente de iluminación para generar la distancia focal de la superficie

En la Figura 3.15, se ve con claridad la alineación del arreglo experimental, esto es de suma importancia, ya que se obtiene con mayor precisión el muestreo del contorno de la superficie, capturando la imagen de la concavidad generada por gravedad.



**Figura 3.15.** Alineación y captura de la imagen de la superficie generada por gravedad

### Cálculo de la Masa

La masa es la magnitud física que nos indica la cantidad de materia contenida en un cuerpo, tomando en práctica este concepto, se midió la masa del agua con la ayuda de un vaso de precipitados y una báscula de precisión, que se puede observar en la Figura 3.16.

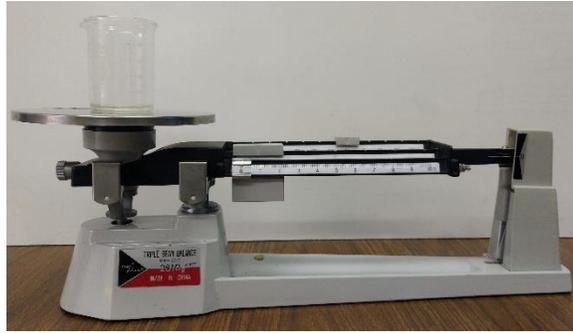


Figura 3.16. Medición de la masa del agua con una báscula de precisión

### Cálculo de la densidad “ $\rho$ ”

Es muy importante tener claro el concepto de densidad este es la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, y cuya unidad en el sistema internacional es el kilogramo sobre metro cúbico.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.8)$$

$$\rho_{pH7.2} = \frac{m_{pH7.2}}{V_{pH7.2}} = \frac{0.2483 [kg]}{0.000025 [m^3]} = 993.2 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (3.9)$$

$$\rho_{pH8.2} = \frac{m_{pH8.2}}{V_{pH8.2}} = \frac{0.2485 [kg]}{0.000025 [m^3]} = 994 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (3.10)$$

### Cálculo del peso de la sustancia “ $\omega$ ”

En el caso del Peso, se necesita conocer el valor de la masa para multiplicarlo por la gravedad, la cual tiene una magnitud de  $9.81 m/s^2$ , sabiendo esto, medimos la masa del agua en una báscula de precisión como se muestra en la Figura 3.16, con el valor obtenido, se tiene la Ecuación 3.4, en el arreglo experimental se considera el valor de la densidad para obtener otros parámetros que están inmersos en nuestro desarrollo, como por ejemplo el caso del peso de la sustancia con la que se estará trabajando, y cuya unidad en el sistema internacional es el kilogramo metro sobre segundo al cuadrado se puede expresar en Newton sobre segundo al cuadrado.

$$\omega = mg \quad (3.11)$$

$$\omega_{pH7.2} = (m_{pH7.2})(g) = (0.2483[kg]) \left(9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) = 2.435 [N] \quad (3.12)$$

$$\omega_{pH8.2} = (m_{pH8.2})(g) = (0.2485[kg]) \left(9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) = 2.437 [N] \quad (3.13)$$

Para nuestro caso utilizaremos el agua ( $H_2O$ ) para generar una superficie planoconvexa

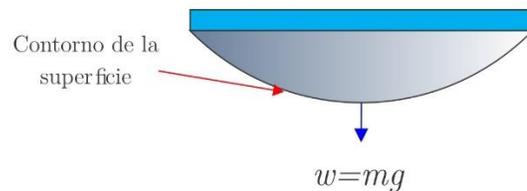


Figura 3.17. Superficie generada por el peso de la sustancia

## 3.6 Análisis matemático de la superficie

### Cálculo del área de la superficie

Para calcular el área de un círculo es necesario conocer el radio de este, elevarlo a la segunda potencia, y el resultado, multiplicarlo por el valor de  $\pi$ . Aplicándolo con los datos obtenidos previamente del arreglo experimental, tenemos la siguiente ecuación:

$$A_{pH7.2} = \pi r^2 = (\pi)(0.081)^2 = 0.0206m^2 \quad (3.14)$$

$$A_{pH8.2} = \pi r^2 = (\pi)(0.081)^2 = 0.0206m^2 \quad (3.15)$$

### Cálculo de la presión de la sustancia $P_{pH}$

La presión es la magnitud física que mide la fuerza, en dirección perpendicular hacia una superficie determinada. Por lo anterior se observa en las siguientes Ecuaciones 3.15 y 3.16, el cálculo de la

presión ejercida por el agua, para esto se toma en cuenta su densidad, el volumen, el área y la fuerza de gravedad ejercida en la sustancia.

$$P_{pH_{7.2}} = \frac{\rho_{pH_{7.2}} V_{pH_{7.2}} g}{\pi r^2} = \frac{(993.2 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]) (0.00025 [m^3]) (9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right])}{\pi (0.081 [m])^2} = 118.1750 [Pa] \quad (3.16)$$

$$P_{pH_{8.2}} = \frac{\rho_{pH_{8.2}} V_{pH_{8.2}} g}{\pi r^2} = \frac{(994 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]) (0.00025 [m^3]) (9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right])}{\pi (0.081 [m])^2} = 118.270 [Pa] \quad (3.17)$$

### Cálculo del peso específico $\varphi_{pH}$

El peso específico es la relación que existe entre el peso de una sustancia y su volumen correspondiente, esta magnitud es expresada en  $\frac{N}{m^3}$  en el Sistema Internacional de Unidades, en base a la definición, se calcula el peso específico de la sustancia que se está utilizando.

$$\varphi_{pH_{7.2}} = \frac{W_{pH_{7.2}}}{V_{pH_{7.2}}} = \frac{2.435 [N]}{0.00025 [m^3]} = 9740 \left[ \frac{N}{m^3} \right] \quad (3.18)$$

$$\varphi_{pH_{8.2}} = \frac{W_{pH_{8.2}}}{V_{pH_{8.2}}} = \frac{2.437 [N]}{0.00025 [m^3]} = 9748 \left[ \frac{N}{m^3} \right] \quad (3.19)$$

En el Tabla 3.2 se indica los valores obtenidos de los cálculos realizados, con base en las pruebas del desarrollo experimental.

**Tabla 3.2.** Magnitud física de las sustancias para la generación de la superficie

Características	Agua pH=7.2	Agua pH=8.2
Masa	0.2483kg	0.2485kg
Volumen	0.00025m <sup>3</sup>	0.00025m <sup>3</sup>
Peso	2.435 N	2.437 N
Cloro	0	0
Densidad	993.2 $\frac{kg}{m^3}$	994 $\frac{kg}{m^3}$

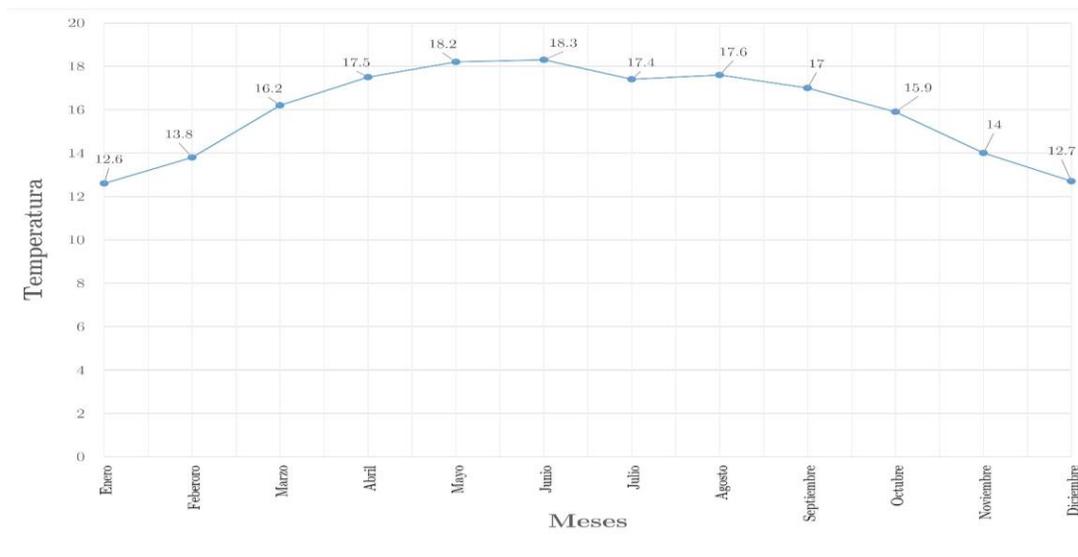
Temperatura	23 °C	23 °C
Peso específico	$9740 \frac{N}{m^3}$	$9748 \frac{N}{m^3}$
Área	$0.0206m^2$	$0.0206m^2$
Presión	118.1750 Pa	118.270 Pa

En la Tabla 3.3 se observa la temperatura promedio de la CDMX durante el año, la cual es necesaria para ver cómo influye el calor de cada mes en la densidad del agua, tomándolo como referencia en el diseño de la superficie generada por gravedad.

**Tabla 3.3.** Temperatura Promedio en la Ciudad de México

Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
Media { ° }C	12.6	13.8	16.2	17.5	18.2	18.3	17.4	17.6	17	15.9	14	12.7
Mínima { ° }C	2.9	3.7	6.1	7.8	9.3	11	10.6	10.5	10.5	8.2	5.2	3.5
Máxima { ° }C	22.3	24	26.4	27.2	27.2	25.7	24.3	24.7	23.6	23.6	22.9	21.9

En la Figura 3.18 se observa la gráfica de la variación de la temperatura en la ciudad de México, registrada en la Tabla 3.2.



**Figura 3.18.** Comportamiento de la temperatura promedio anual de la Ciudad de México [3a]

Es importante hacer mención del registro de la densidad de agua con respecto a su temperatura la cual se observa en la Tabla 3.4, ya que contando con el dato la temperatura real en la ciudad de México, se tomará el valor de la densidad con respecto a los grados centígrados mostrados en el momento de las pruebas y así proceder con los cálculos.

**Tabla 3.4.** Densidad del agua con un rango de temperatura de 0°C a 100°C

Temperatura°C	Densidad	Temperatura°C	Densidad	Temperatura °C	Densidad
0 (Hielo)	917.00	33	994.76	67	979.34
0	999.82	34	994.43	68	978.78
1	999.89	35	994.08	69	978.21
2	999.94	36	993.73	70	977.63
3	999.98	37	993.37	71	977.05
4	1000.00	38	993.00	72	976.47
5	1000.00	39	992.63	73	975.88
6	999.99	40	992.25	74	975.28
7	999.96	41	991.86	75	974.68
8	999.91	42	991.46	76	974.08
9	999.85	43	991.05	77	973.46
10	999.77	44	990.64	78	972.85
11	999.68	45	990.22	79	972.23
12	999.58	46	989.80	80	971.60
13	999.46	47	989.36	81	970.97
14	999.33	48	988.92	82	970.33
15	999.19	49	988.47	83	969.69
16	999.03	50	988.02	84	969.04
17	998.86	51	987.56	85	968.39
18	998.68	52	987.09	86	967.73
19	998.49	53	986.62	87	967.07
20	998.29	54	986.14	88	966.41
21	998.08	55	985.65	89	965.74
22	997.86	56	985.16	90	965.06
23	997.62	57	984.66	91	964.38
24	997.38	58	984.16	92	963.70
25	997.13	59	983.64	93	963.01
26	996.86	60	983.13	94	962.31
27	996.59	61	982.60	95	961.62
28	996.31	62	982.07	96	960.91
29	996.02	63	981.54	97	960.20
30	995.71	64	981.00	98	959.49
31	995.41	65	980.45	99	958.78
32	995.09	66	979.90	100	958.05

En la Tabla 3.5 se puede observar las coordenadas obtenidas del contorno de la superficie plano-cóncava resultante, mostrando la distancia de la parte plana en relación con la altura de la concavidad.

**Tabla 3.5** *Coordenadas del contorno de la superficie*

No.	Distancia X	Altura (h)	No.	Distancia X	Atura (h)
1	-7.56	$1.40 \times 10^{-2}$	24	$-5.30 \times 10^{-1}$	1.09
2	-7.23	$1.26 \times 10^{-1}$	25	$-2.09 \times 10^{-1}$	1.09
3	-6.96	$2.37 \times 10^{-1}$	26	$1.12 \times 10^{-1}$	1.07
4	-6.68	$3.07 \times 10^{-1}$	27	$4.32 \times 10^{-1}$	1.06
5	-6.38	$3.63 \times 10^{-1}$	28	$7.81 \times 10^{-1}$	1.05
6	-6.03	$4.46 \times 10^{-1}$	29	1.13	1.03
7	-5.73	$5.02 \times 10^{-1}$	30	1.46	1.02
8	-5.44	$5.44 \times 10^{-1}$	31	1.93	$9.63 \times 10^{-1}$
9	-5.12	$6.14 \times 10^{-1}$	32	2.34	$9.35 \times 10^{-1}$
10	-4.80	$6.56 \times 10^{-1}$	33	2.79	$8.93 \times 10^{-1}$
11	-4.52	$7.12 \times 10^{-1}$	34	3.19	$8.23 \times 10^{-1}$
12	-4.26	$7.39 \times 10^{-1}$	35	3.50	$7.67 \times 10^{-1}$
13	-3.93	$7.95 \times 10^{-1}$	36	3.82	$7.12 \times 10^{-1}$
14	-3.59	$8.37 \times 10^{-1}$	37	4.13	$6.70 \times 10^{-1}$
15	-3.26	$8.65 \times 10^{-1}$	38	4.42	$6.00 \times 10^{-1}$
16	-2.92	$9.21 \times 10^{-1}$	39	4.69	$5.58 \times 10^{-1}$
17	-2.53	$9.49 \times 10^{-1}$	40	5.01	$4.88 \times 10^{-1}$
18	-2.25	$9.77 \times 10^{-1}$	41	5.34	$4.19 \times 10^{-1}$
19	-1.95	$9.91 \times 10^{-1}$	42	5.72	$3.35 \times 10^{-1}$
20	-1.66	1.03	43	6.03	$2.51 \times 10^{-1}$
21	-1.40	1.03	44	6.39	$1.67 \times 10^{-1}$
22	-1.10	1.07	45	6.67	$9.77 \times 10^{-2}$
23	-8.09	1.07	46	6.92	$2.79 \times 10^{-2}$

### 3.7 Ajuste de la superficie por el método polinomial

Método de interpolación polinomial

Este método en general es a base de cálculos realizados en sistemas matriciales, partiendo primeramente de la expresión general para un polinomio de grado “n”, la cual es:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (3.20)$$

Para comenzar el procedimiento, utilizando el método polinomial, se necesita conocer los datos (n + 1) de nuestra tabla (x, y), que representaremos de la siguiente manera:

$$(n + 1) \text{ Datos} = (x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) \quad (3.21)$$

Escribiéndolo de otra forma:

**Tabla 3.6.** Puntos de coordenadas X y Y (3.22)

<b>X</b>	<b>Y</b>
$x_0$	$y_0$
$x_1$	$y_1$
$x_2$	$y_2$
⋮	⋮
$x_n$	$y_n$

Una vez que se tienen los datos necesarios, el método nos dice que  $f(x_n)$  debe ser igual a  $y_n$ , por ello se representará de la siguiente manera, si:

$$f(x_n) = y_n \quad (3.23)$$

Su ecuación matricial asociada es:

$$\begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \dots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Ahora si definimos:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \dots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^n \end{bmatrix}; a = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}; y = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

$$(A)(a) = y \quad (3.26)$$

Tomando en cuenta todos los datos, tenemos que la incógnita es “a”, por ello se despeja “a” de la ecuación anterior:

$$a = (y) \left( \frac{1}{A} \right) \quad (3.27)$$

Una vez comprendido el método, se procedió a realizar la interpolación de la curva resultante de la superficie planocóncava. De todos los puntos obtenidos se tomaron sólo 5 en “x” y 5 en “y” los cuales son:

**Tabla 3.7.** Puntos de la curva resultante en X y Y (3.28)

X	Y
-7.56	0.014
-4.26	0.739
-0.209	1.09
3.5	0.767
6.92	0.0279

Es importante mencionar que si se toma 5 puntos dará como resultado un polinomio de 4º orden, si llega a tomar 4 puntos daría un polinomio de 3er orden, y si se toma 3 dará como resultado un polinomio de 2º orden. Se Podría tomar un número finito de puntos y así obtener un polinomio de mayor grado, pero esto generaría oscilaciones que no serían perceptibles en la gráfica generada.

Posteriormente se comienza con el cálculo, sustituyendo los valores de la tabla en la matriz "A":

$$\begin{bmatrix} 1 & -7.56 & 57.136 & -432.081216 & 3266.533993 \\ 1 & -4.26 & 18.1476 & -77.308776 & 329.3353858 \\ 1 & -0.0209 & 0.043681 & -0.009129329 & 0.000190803 \\ 1 & 3.5 & 12.25 & 42.875 & 150.0625 \\ 1 & 6.92 & 47.8864 & 331,373888 & 2293.107305 \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

y en la matriz "2":

$$\begin{bmatrix} 0.014 \\ 0.739 \\ 1.09 \\ 0.767 \\ 0.0279 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

Ya que se obtuvo la resultante de la matriz "A", se procede a sacar su inversa que, en este caso, es de 5\*5.

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} 0.00555068 & -0.03299609 & 0.99062987 & 0.042784256 & -0.00596871 \\ 0.02547321 & -0.14804493 & -0.06261379 & 0.21422921 & -0.0290437 \\ -0.00552303 & 0.04755421 & -0.0847587 & 0.044608839 & -0.0188132 \\ -0.00153181 & 0.00228576 & 0.00177801 & -0.004692844 & 0.002160892 \\ 0.0002574 & -0.00086222 & 0.00127001 & -0.000918545 & 0.000253358 \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

Una vez obtenida la matriz inversa, la multiplicamos por la matriz "2":

$$\begin{bmatrix} 0.00555068 & -0.03299609 & 0.99062987 & 0.042784256 & -0.00596871 \\ 0.02547321 & -0.14804493 & -0.06261379 & 0.21422921 & -0.0290437 \\ -0.00552303 & 0.04755421 & -0.0847587 & 0.044608839 & -0.0188132 \\ -0.00153181 & 0.00228576 & 0.00177801 & -0.004692844 & 0.002160892 \\ 0.0002574 & -0.00086222 & 0.00127001 & -0.000918545 & 0.000253358 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.014 \\ 0.739 \\ 1.09 \\ 0.767 \\ 0.0279 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.088129154 \\ -0.013794123 \\ -0.023159253 \\ 0.0000666361 \\ 0.0000532718 \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

Entonces decimos que:

$$f(x) = 0,0000532718x^4 + 0,0000666361x^3 - 0,023159253x^2 - 0,013794123x + 1,088129154 \quad (3.33)$$

Ya que se ha definido la función, se creó una tabla dando valores a la variable “x” sustituyéndola en “f(x)”, para obtener su gráfica correspondiente y las raíces que son los puntos por donde corta en el eje óptico, las cuales son:

$$x_1 = -19,87031, \quad x_2 = -7,61468, \quad x_3 = 7,02949, \quad x_4 = 19,2046 \quad (3.34)$$

Observando la gráfica resultante de la Figura 3.19 se ve que 2 de las raíces están fuera del límite de la curva de nuestra superficie plano-cóncava, es por esta razón que se despreciará los extremos que son “ $x_1$ ” y “ $x_4$ ”. Una vez delimitada la curva se procederá a calcular su área, la cual se obtendrá al integrar la función obtenida anteriormente. No se debe pasar por alto el definir la integral con las raíces centrales, las cuales son “ $x_2$ ” y “ $x_3$ ”, ya que si no se hace, el área no será correcta.

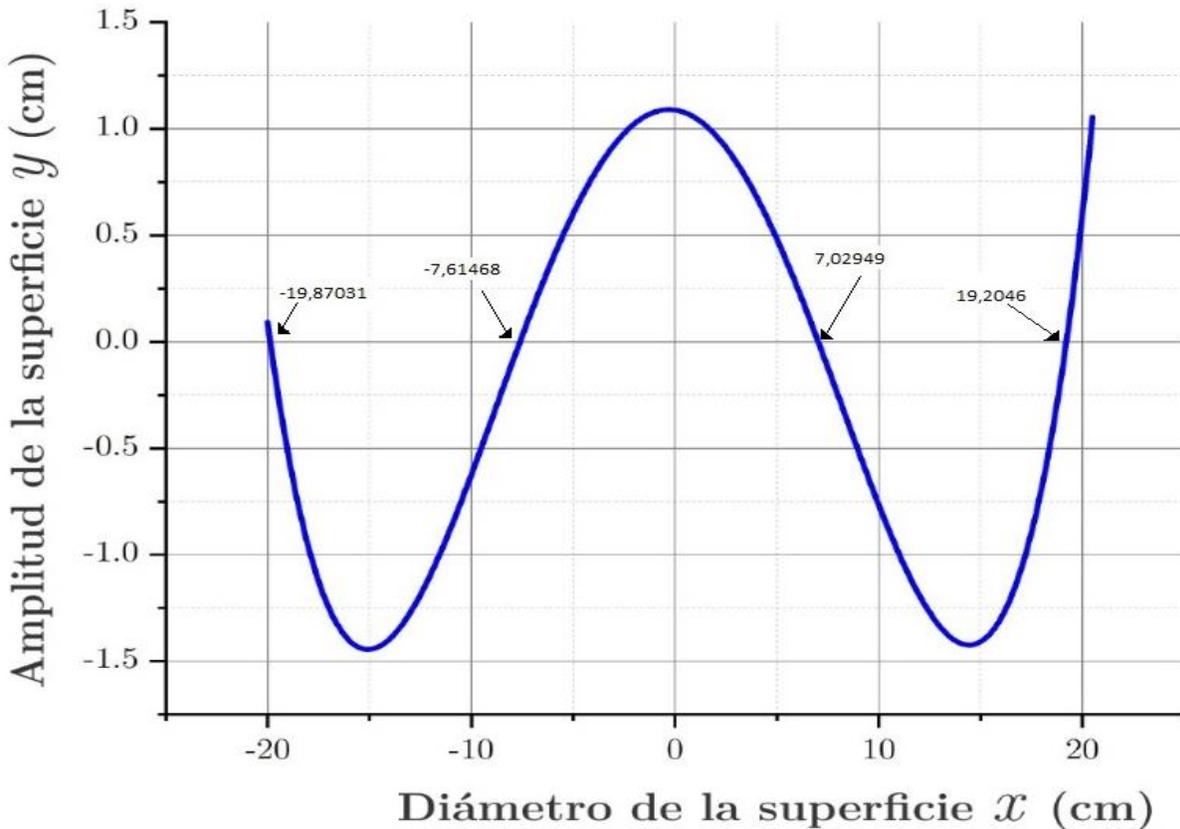


Figura 3.19. Gráfica de la función que satisface a la superficie plano-cóncava

por lo anterior tenemos que:

$$\int_b^a f(x)dx = \int_{-7.61468}^{7.02949} (0.0000532718x^4 + 0.0000666361x^3 - 0.023159253x^2 - 0.013794123x + 1.088129154)dx \quad (3.35)$$

$$\Rightarrow A = 10.344385 \quad (3.36)$$

En la siguiente tabla se muestra el área de cada fragmento de “diente de sierra” para la elaboración de la superficie de Fresnel.

**Tabla 3.8. Área de cada fragmento**

$A_1$	0.123627544
$A_2$	0.112535216
$A_3$	0.097844629
$A_4$	0.080134491
$A_5$	0.060104987
$A_6$	0.038477777
$A_7$	0.015695999
$A_8$	0.007375731
$A_9$	0.030351324
$A_{10}$	0.052323209
$A_{11}$	0.72862341
$A_{12}$	0.0912182
$A_{13}$	0.106818785
$A_{14}$	0.118970621
Sumatoria	1.008340853

### 3.8 Superficies Reflectoras de canal tipo Fresnel

En la Figura 3.19 se observa la imagen en el suelo, de la distancia focal efectiva por una fuente de luz, que pasa a través de la superficie plano- cóncava de agua generada por gravedad, utilizando un Led de alta potencia de 30 W.



**Figura 3.19:** *Alineación y captura de la imagen de la superficie generada por gravedad*

En la Tabla 3.9 y 3.10 se observa los índices de refracción de diferentes materiales, la cual fue de consulta para tomar el valor que tiene el agua, y de esta manera obtener la distancia focal efectiva.

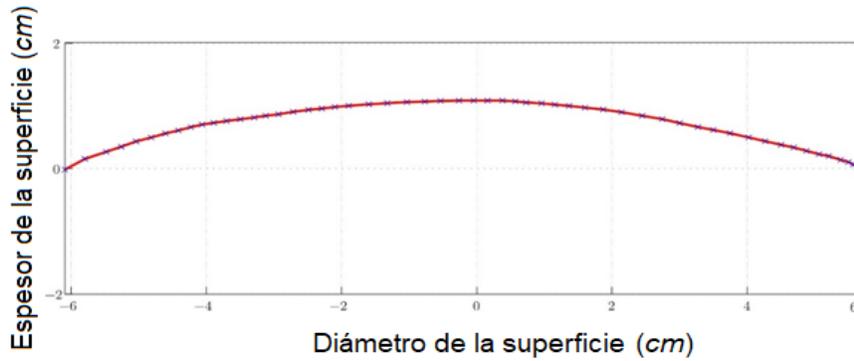
**Tabla 3.9. Índices de refracción de los materiales ordenados de la A a la G**

Material	Índice	Material	Índice	Material	Índice
Acero	250	Bronce	1.18	Evonita	1.66
Acetona	1.36	Cicedonia	1.530	Ekanita	1.600
Actinolita	1.618	Calcita	1.486	Eliolita	1.532
Agalmatolita	1.555	Calspar	1.486	Enstatita	1.663
Agata	1.544	Cancrinita	1.491	Epidota	1.733
Agata musgosa	1.540	Casiterita	1.997	Escapolita	1.540
Agua (Gas)	1.000261	Caucho, Natural	1.5191	Escapolita,Amarilla	1.555
Agua (100°C)	1.31819	Celainita	1.770	Esfalerita	2.368
Agua (20°C)	1.33335	Celestita	1.622	Esfena	1.885
Agua (35°C)	1.33157	Cerucita	1.804	Esmaragdita	1.608
Aguamarina	1.577	Cetrino	1.550	Esmeralda	1.576
Aire	1.0002926	Chalibita	1.630	Esmeralda,Synth Flux	1.561
Alcohol	1.329	Cianita	1.715	Esmeralda, Synth Hydro	1.568
Alcohol etílico	1.36	Cincita	2.010	Espinela	1.712
Alexandrita	1.745	Circon, Alto	1.960	Espinela Sintetica	1.730
Aluminio	1.44	Circon, Bajo	1.800	Espodumena	1.650
Amarillo de Cromo	2.31	Clinzoisita	1.724	Estaurolita	1.739
Amatista	1.544	Cloro (Gas)	1.000768	Estietita	1.539
Ambar	1.546	Cloro (Liquido)	1.385	Etanol	1.36
Anatasa	2.490	Cloruro de Sodio	1.544	Euclasa	1.652
Andalucita	1.641	Cobre	1.10	Fabulita	2.409
Anhidrita	1.571	Colemanita	1.586	Feldespatto,Adventurina	1.532
Apatito	1.532	Concha	1.530	Feldespatto,Alvita	1.525
Apofilita	1.532	Coral	1.486	Feldespatto,Amazonita	1.525
Aragonito	1.530	Cordierita	1.540	Feldespatto,Labradorita	1.565
Argón	1.000281	Corindón	1.766	Feldespatto, Nicrolita	1.525
Asfalto	1.635	Creta	1.510	Feldespatto,Oligoclasa	1.539
Augelita	1.574	Crosoberilo	1.745	Feldespatto,Ortoclasa	1.525
Axinita	1.675	Crisocola	1.500	Fenaqita	1.650
Asabache	1.660	Crisoprasa	1.534	Fluorita	1.434
Asufre	1.960	Crocoita	2.310	Flruro	1.56
Azul de cobalto	1.74	Cromo	2.97	Fornica	1.47
Asurita	1.730	Cristal	2.00	Fosgenita	2.117
Barita	1.636	Cristal de Iodo	3.34	Gema de Lapiz	1.500
Baritocalsita	1.684	Cuarzo	1.544	Glicerina	1.473
Benitohita	1.757	Cuarzo Fundido	1.45843	Granate,Almandino	1.760
Benceno	1.501	Cuprita	2.850	Granate,Almandita	1.790
Berilio	1.577	Danburita	1.633	Granate,Andradita	1.820
Berilonita	1.553	Diamante	2.417	Granate,Demantoide	1.880
Bisulfuro de carbono	1.628	Diopcido	1.680	Granate,Grosularia	1.738
Braunita	1.567	Dióxido de Carbono (gas)	1.000449	Granate,Hessonita	1.745
Brazilianita	1.603	Dolomita	1.503	Granate,Rodolita	1.760
Bromo (liquido)	1.661	Dumortierita	1.686	Granate,Esparita	1.810

**Tabla 3.10.** Índices de refracción de los materiales ordenados de la G a la Z

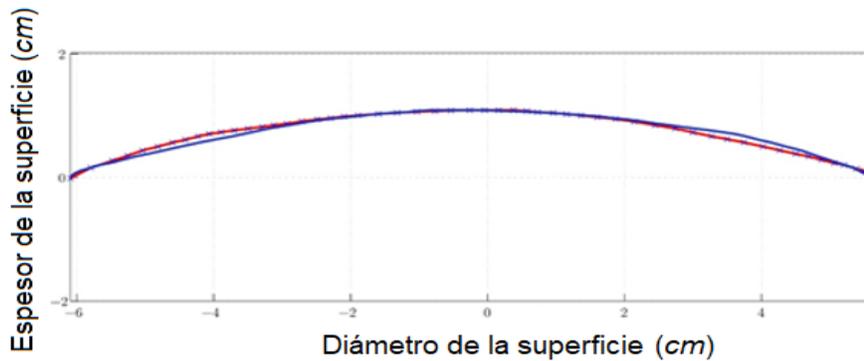
Material	Índice	Material	Índice	Material	Índice
Gailusita	1.517	Painita	1.787	Teflon	1.35
Hambergita	1.59	Periclasa	1.740	Tetracloruro de carbono	1.460
Hauynita	1.502	Peridoto	1.654	Thomsonita	1.530
Helio	1.000036	Peristerita	1.525	Titanato de estroncio	2.410
Hematite	2.940	Perla	1.530	Topacio	1.620
Hemimorfita	1.614	Petarita	1.502	Topacio, amarillo	1.620
Hiddenita	1.655	PiedraLunar, Adularia	1.525	Topacio, azul	1.610
Hidrogeno(Gas)(100°C)	1.000140	Piedra Lunar, Albita	1.535	Topacio, blanco	1.630
Hidrogeno(Liquido)	1.0974	Pirita	1.810	Topacio, rosa	1.620
Hielo(35°C)	1.309	Piropo	1.740	Tremantina	1.472
Hierro	1.51	Plástico	1.460	Tremolita	1.600
Hiperstena	1.670	Plata	0.18	Tugtupita	1.496
Holita	1.586	Plexiglás	1.50	Turmalina	1.624
Idrocasa	1.713	Plomo	2.01	Turquesa	1.610
Iolita	1.548	Polistireno	1.55	Ulexita	1.490
Jade	1.610	Pracio	1.540	Ubarodita	1.870
Jadeita	1.665	Praciolita	1.540	Variscita	1.550
Jaspe	1.540	Prehnita	1.610	Verde de cobalto	1.97
Kornerupina	1.665	Prustita	2.790	Verde de cromo	2.4
Kunsita	1.665	Purputita	1.840	Vidrio	1.51714
Lápiz Lasuli	1.61	Rodizita	1.690	Vidrio, albita	1.4890
Lasulita	1.615	Rodoclosita	1.600	Vidrio, corona	1.520
Leusita	1.509	Rodonita	1.735	Vidrio, corona, cinc	1.517
Magnesia	1.515	Rojo de cromo	2.242	Vidrio, pedernal, denso	1.66
Malaquita	1.655	Rubi	1.760	Vidrio, pedernal, lantano	1.80
Marfil	1.540	Rutilo	2.62	Vidrio pedernal, ligero	1.58038
Mercurio(Liquido)	1.62	Sal de roca	1.544	Vidriopedernal, maspesado	1.89
Metanol	1.329	Sanidina	1.522	Vidrio pedernal, medio	1.62725
Moldabita	1.500	Schelita	1.920	Vidrio pedernal, pesado	1.65548
Natrolita	1.480	Selenio	2.92	Violeta de cobalto	1.71
Nefrita	1.600	Amorfo	1.530	Vivianita	1.580
Nitrógeno(gas)	1.000297	Sepiolita	1.560	Wardita	1.590
Nitrogeno(liquido)	1.2053	Serpentina	1.560	Willemita	1.690
Naylon	1.53	Silicio	4.24	Witherita	1.532
Obsidiana	1.489	Sillimanita	1.658	Wulfenita	2.300
Ojo de tigre	1.544	Sinhalita	1.699	Zafiro	1.760
Olivino	1.670	Smithsonita	1.621	Zirconia cubica	2.170
Ónix	1.486	Sodalita	1.483		
Opalo	1.450	Stichtita	1.520		
Oro	0.47	Styrofoam	1.595		
Oxido de cobre	2.705	Taafeita	1.720		
Oxigeno(gas)	1.000276	Tantalita	2.240		
Oxigeno(líquido)	1.221	Tanzanita	1.691		

Generada la superficie, era necesario obtener las coordenadas del muestreo en el contorno de la superficie de agua, como se muestra en la Figura 3.20, con el fin de delimitar su curvatura, al procesar la imagen capturada.



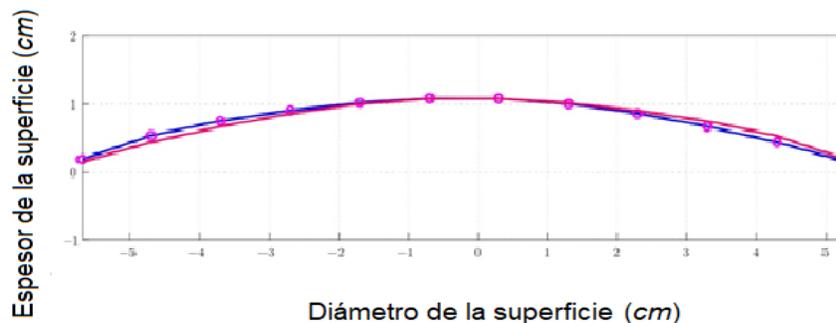
**Figura 3.20.** Gráfica de delimitación de la superficie

Tomando en cuenta el método de interpolación polinomial para ajuste de curvas, se obtuvo la gráfica de la función  $f(x)$  que satisface el contorno de la superficie de Agua, mostrada en la Figura 3.21:



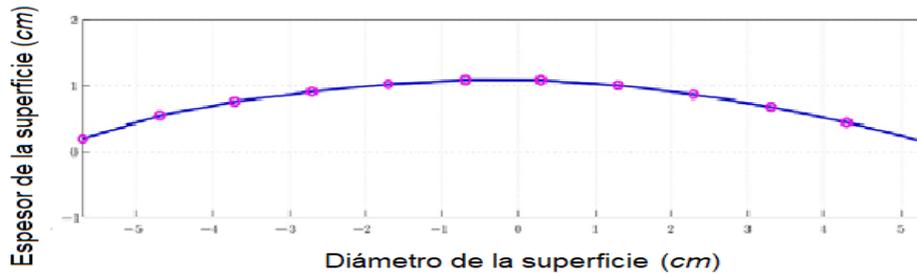
**Figura 3.21.** Gráfica de la superficie generada y su rectificación

En la Figura 3.22 se observa la curva de la superficie plano-convexa, comparada con su ajuste dividido en partes equidistantes. Ambas curvas de la gráfica son determinantes, ya que son la base para el diseño del reflector a trabajar.



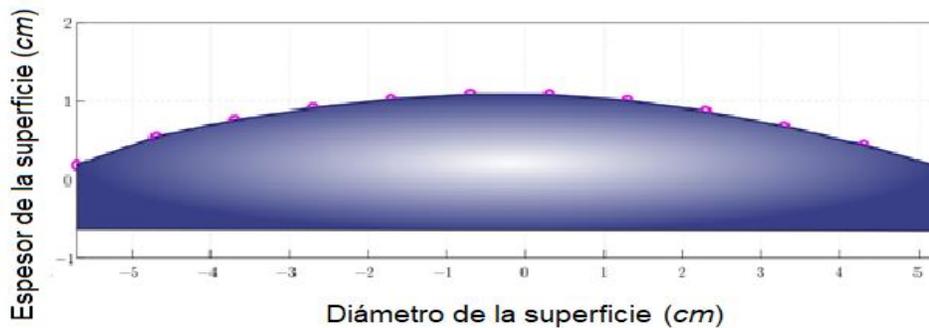
**Figura 3.22.** Gráfica de la superficie resultante y su rectificación

En la Figura 3.23 se observa la gráfica de la superficie ajustada por el método interpolación polinomial, realizando en ella una división de 11 partes equidistantes, para posteriormente hacer un desplazamiento y generar una superficie de Fresnel.



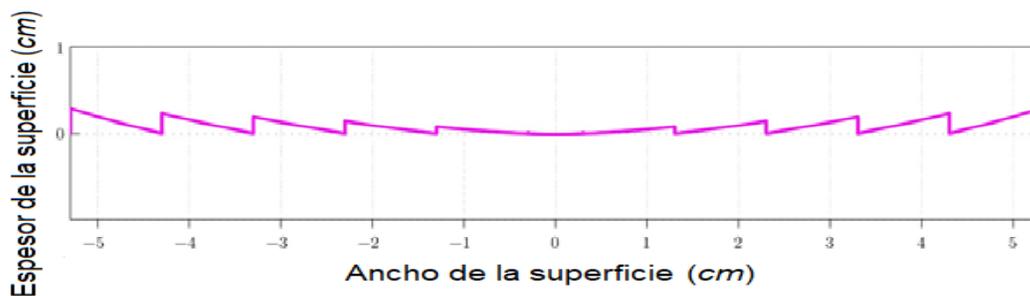
**Figura 3.23.** Gráfica de la superficie dividida en partes equidistantes.

Realizando la superficie plano- cóncava, observamos que su espesor es muy grueso, y si se llevara a escalas mayores generaría un exceso de peso, como se representa en la Figura 3.24.



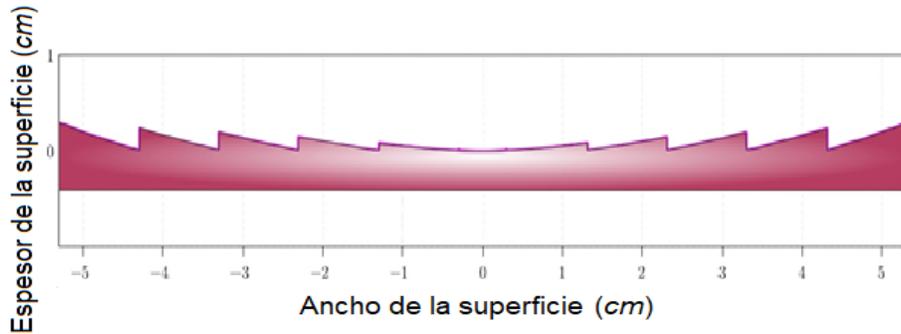
**Figura 3.24.** Gráfica del área de la superficie bajo prueba.

Por lo anterior, solo se usó el contorno de la superficie, generando un espejo y, tomando las 11 partes equidistantes, se realizó un muestreo de dicha superficie desplazándolo por el eje de las abscisas, formando una imagen similar a un diente de sierra, representado en la Figura 3.25.



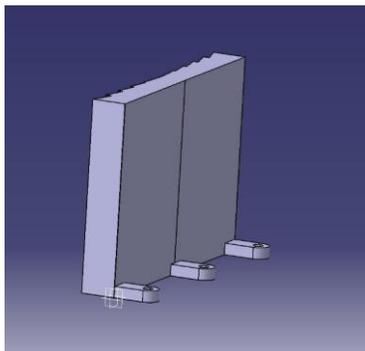
**Figura 3.25.** Gráfica de la superficie de Fresnel como diente de sierra.

En la Figura 3.26 se ve la ventaja de utilizar una superficie reflejada tipo Fresnel, ya que tiene menor grosor en su espesor, es más ligero, y por lógica tendrá un menor costo por el material utilizado para su creación, aún a escalas mayores. Es importante tomar en cuenta la superficie comparativa al generarse un espejo de la misma función, observando que no existe simetría en ella, ya que las coordenadas no convergen con los puntos del espejo. Por lo tanto, se afirma que la superficie tipo Fresnel es de revolución, pero no es simétrica.

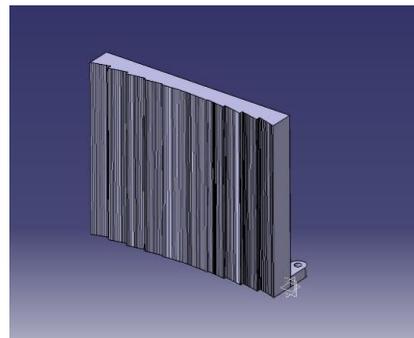


**Figura 3.26.** Modelo de la superficie de Fresnel para generar el modelo en 3D.

Una vez que se obtuvieron los valores teóricos, se procedió a diseñar la superficie tipo Fresnel de canal, como reflector para el reactor fotoquímico, utilizando una fuente de iluminación con un diodo emisor de luz de alta potencia de 30 Watts, como se observa en la Figura 3.27.



(a)



(b)

**Figura 3.27.** (a) Superficie de Fresnel en 3D parte posterior, (b) Superficie de Fresnel parte frontal.

Ya teniendo el diseño de la superficie se procedió a exportarla a un software para impresión en 3D con las dimensiones requeridas para el modelo experimental como se observa en la Figura 3.28.

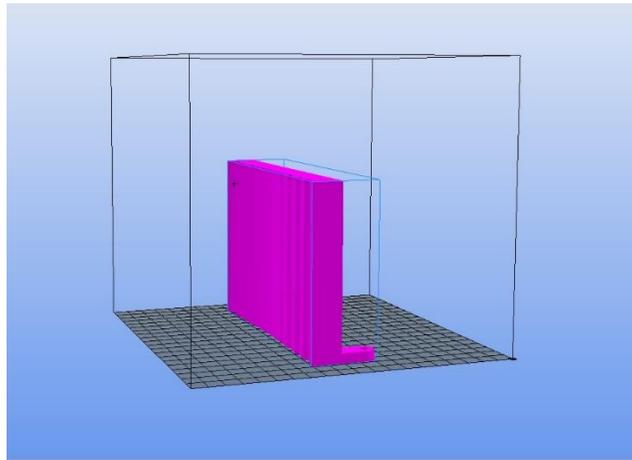


Figura 3.28. Diseño de la superficie de Fresnel para impresión en 3D.

### 3.9 Rayos de incidencia

De forma Gráfica se explica en la Figura 3.29 los rayos incidentes emitidos de la fuente de iluminación, el comportamiento de la normal y su concentración de energía luminosa en los intervalos de -20 a -30, además de las tangentes de interés en una superficie planocóncava.

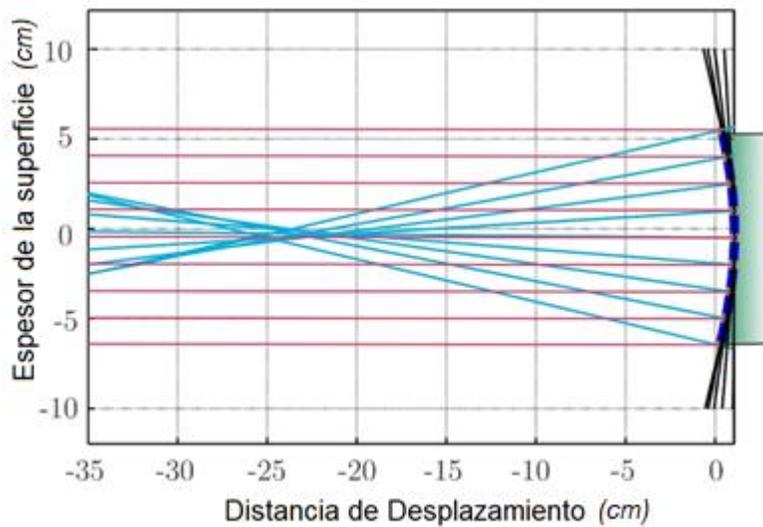
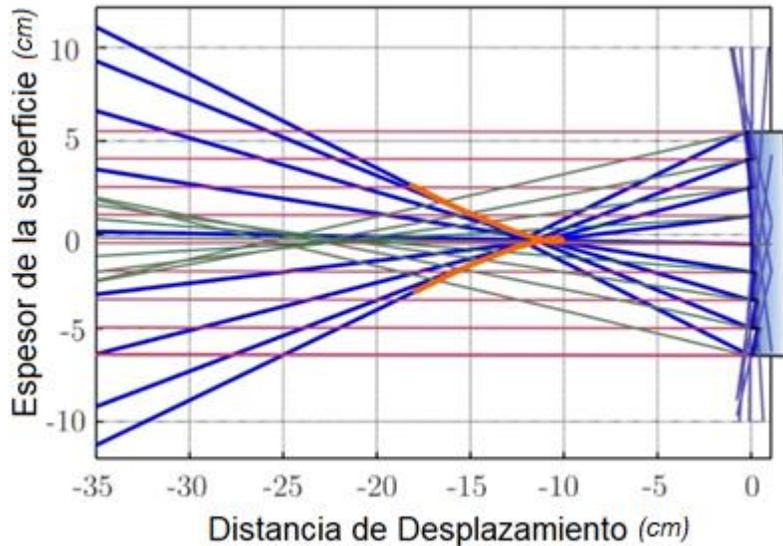


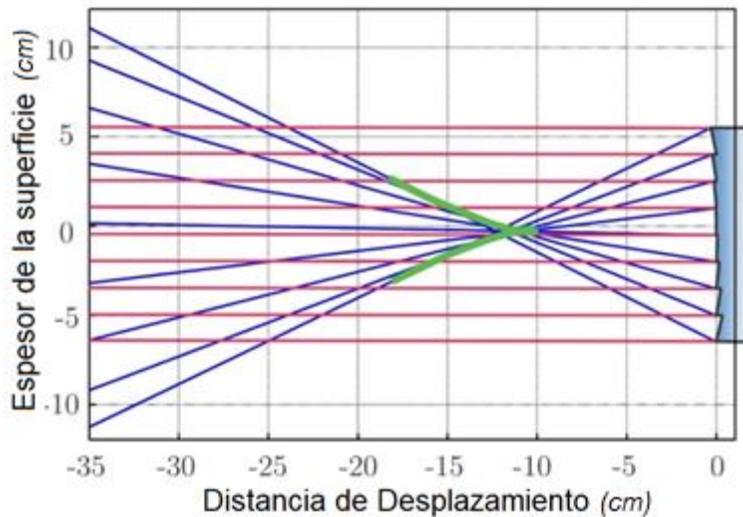
Figura 3.29. Análisis gráfico de los rayos incidentes, la normal y la tangente

A diferencia de la gráfica anterior, la Figura 3.30 muestra, además de los rayos incidentes, la normal y la tangente, los reflejados cuya concentración está en un intervalo de -8 a -13, menor a la de la normal y la envolvente, que resalta la energía que captará la sustancia reactiva del reactor, utilizando la superficie de Fresnel.



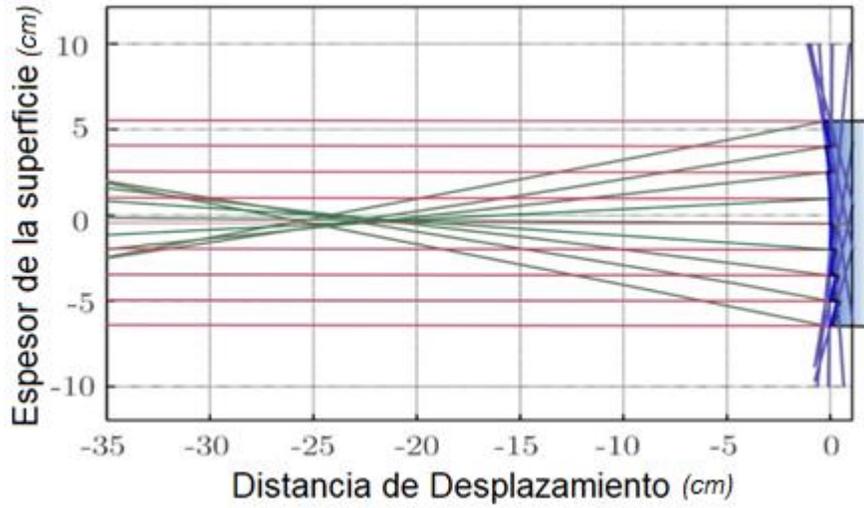
**Figura 3.30.** Análisis gráfico de los rayos incidentes, reflejados, la normal, la tangente y la envolvente

En la Figura 3.31 se observa de forma gráfica el comportamiento de la superficie de Fresnel reflejando los rayos emitidos de la fuente.



**Figura 3.31:** Análisis gráfico de los rayos incidentes, reflejados y la envolvente

En la Figura 3.32 se percibe los rayos incidentes emitidos de la fuente de iluminación, el comportamiento de la normal y su concentración de energía luminosa, además de las tangentes de interés, pero en esta ocasión en la superficie de Fresnel.



**Figura 3.32:** Análisis gráfico de los rayos incidentes, normal y la tangente

## Capítulo 4. Desarrollo y control del arreglo experimental

En el capítulo anterior vimos el diseño de la superficie reflectora de Fresnel como concentrador de energía para la excitación de la sustancia reactiva, conociendo el principio de Huygens y la ley de Snell de la reflexión, también el proceso del diseño para su impresión en 3D.

En este capítulo veremos cómo controlar nuestro sistema para la optimización de los reactores fotoquímicos, utilizando diferentes tipos de fuentes de iluminación para centrarnos en el LED de alta potencia y usar el concentrador de Fresnel.

### 4.1 Arreglo experimental controlado

Continuando con el desarrollo del arreglo experimental, se diseñó el circuito electrónico para controlar el sistema, así como el circuito impreso que nos ayudara a optimizar el funcionamiento del arreglo evitando posibles fallas por falsos contactos y cortos circuitos.

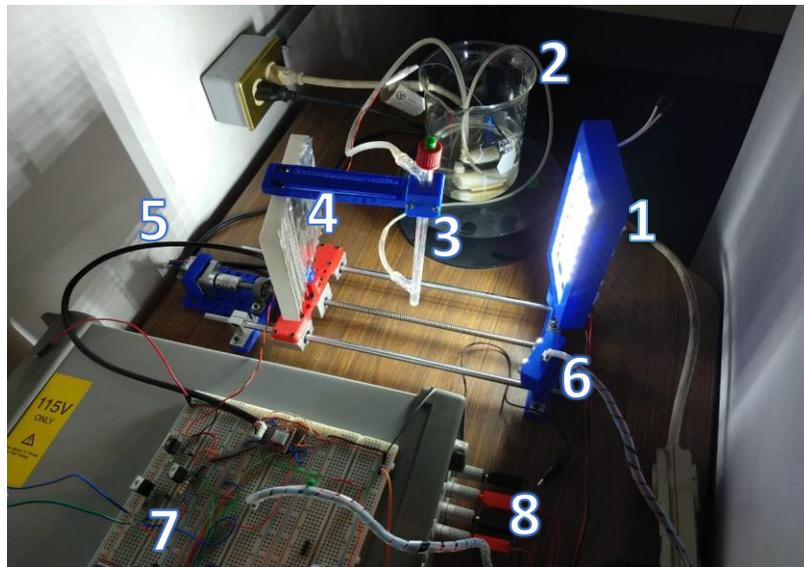
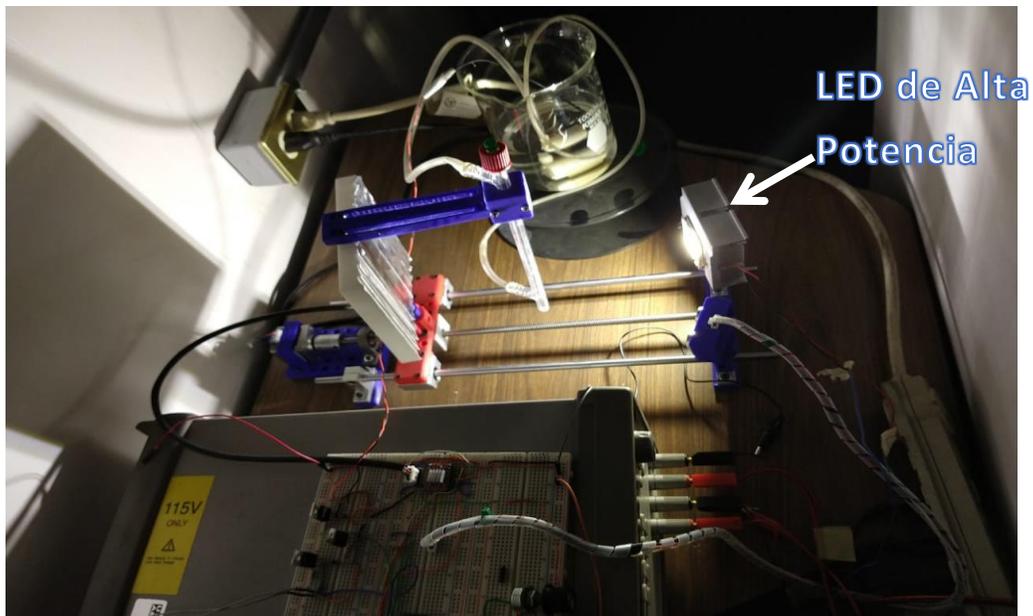


Figura 4.1 Arreglo Experimental Controlado 1

En la Figura 4.1 se observa el arreglo experimental controlado con el cual se realizaron las pruebas con el compuesto químico, la implementación del reflector de Fresnel tipo canal y el panel de led. A continuación, se hará mención de los componentes del sistema:

1. Panel de LED. En esta ocasión se usa esta fuente de iluminación para irradiar el compuesto químico.
2. Bomba sumergible. Esta ayuda a la refrigeración de la sustancia reactiva al ser irradiada en los tiempos de prueba.
3. Complejo de rutenio II  $[RuLClP(Ph_3)]Cl$  Es el compuesto químico con el que se trabajó.
4. Reflector. Este dispositivo se diseñó para optimizar el tiempo y consumo de energía en los reactores fotoquímicos, concentrando la mayor cantidad de energía luminosa reflejada, en el rutenio.
5. Motor a pasos. Es el que modifica la distancia que hay entre la fuente luminosa, el rutenio y el reflector.
6. Sensor ultrasónico. Regula el funcionamiento del motor para que de esta manera la sustancia se encuentre en el punto de la distancia focal efectiva.
7. Circuito Experimental. Es la parte del sistema que controla el motor, la bomba, la fuente luminosa y el sensor ultrasónico.
8. Fuente de alimentación. Como su nombre lo indica, es dispositivo que alimenta el sistema.

En la Figura 4.2 se observa el sistema con los mismos componentes que se ven en la Figura 4.1 ya explicados, pero en esta ocasión, se realizó la prueba con el LED de alta potencia.

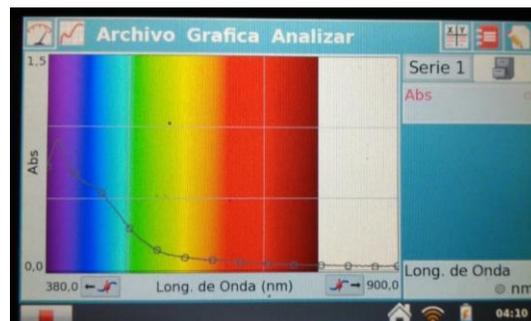


**Figura 4.2** Arreglo Experimental Controlado 2

A continuación, se observa en la Figura 4.3 el espectrofotómetro, instrumento de medición con el que se trabajó para la lectura de la reacción periódica del Complejo de rutenio II  $[RuLCIP(Ph_3)]Cl$ , así como su gráfica resultante.



(a)



(b)

**Figura 4.3** (a) Espectrofotómetro, (b) Grafica resultante de la lectura

En la Figura 4.4 se observa el rango de luz donde cualquier persona puede ver sin necesidad de un instrumento adicional, el cual va de los 400 nm a los 749 nm de longitud de onda. Se hace mención de

ello, ya que el instrumento de medición trabaja en un rango de 300 nm a 900 nm de longitud de onda, cubriendo el rango visible por el ojo humano.

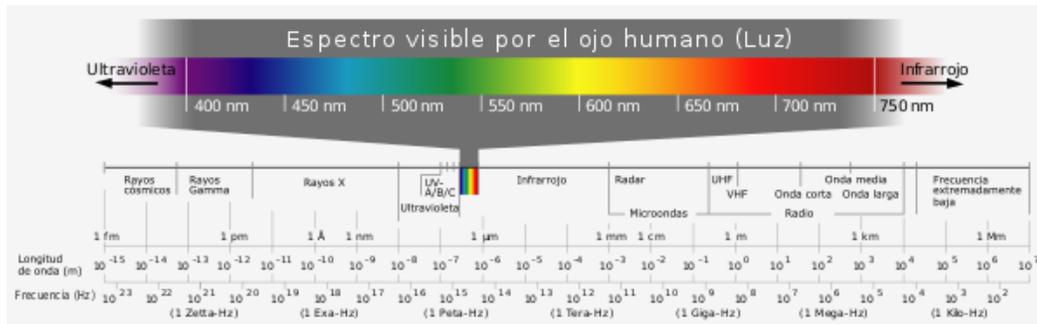


Figura 4.4. Espectro de radiación electromagnética

## 4.2 Diseño del circuito de control

En la figura 4.5 se observa el diseño del circuito que se utilizará en el sistema con el que se trabajó.

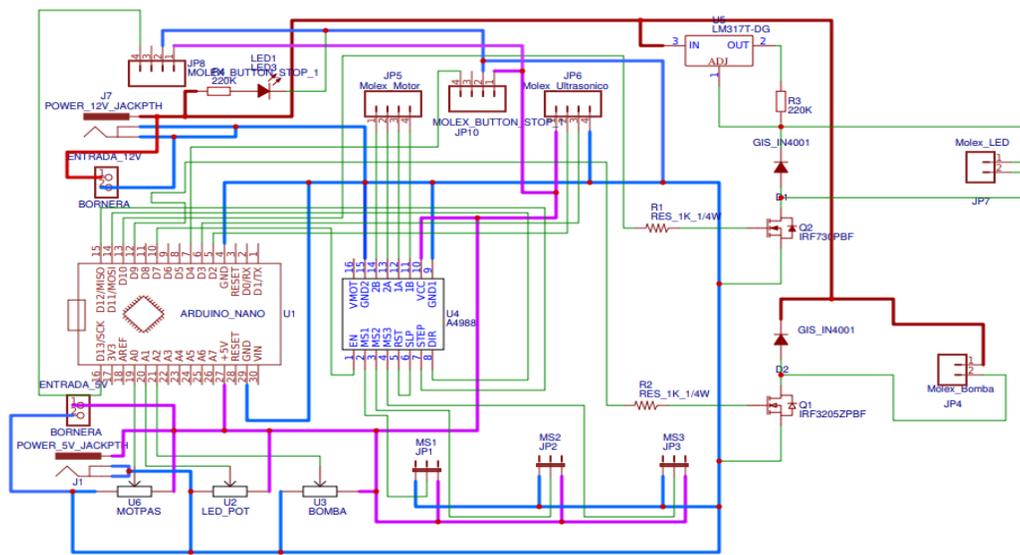
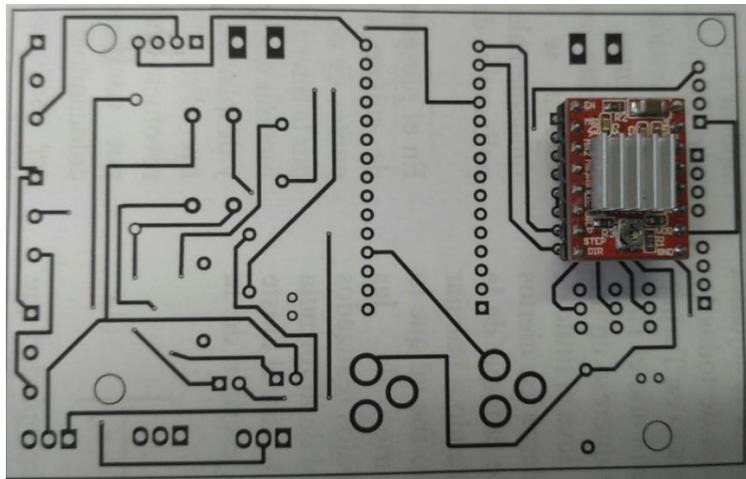


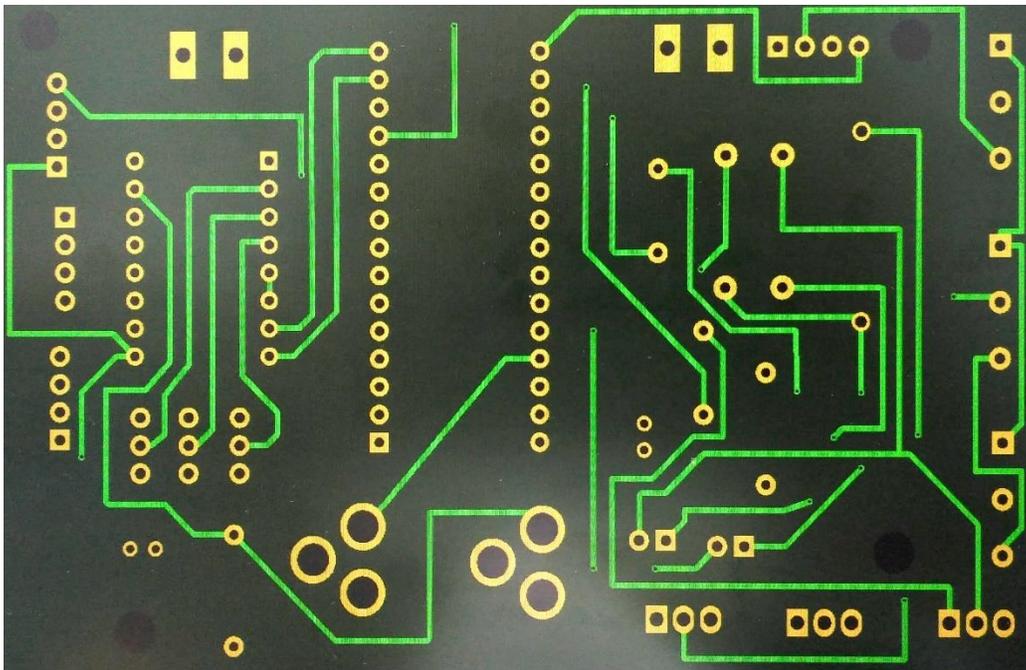
Figura 4.5. Circuito esquemático del sistema de control.

En la Figura 4.6 se observa el diagrama del circuito impreso en papel cuché, así como el controlador para imprimirse posteriormente en una placa de doble cara aislada.



**Figura 4.6.** Impresión del circuito impreso en papel cuché

En la Figura 4.7 se observa el diseño del circuito de control listo para su impresión en la placa doble cara aislada.



**Figura 4.7.** Imagen del circuito impreso en programa de diseño

En la Figura 4.8 se observa el circuito impreso en la placa de doble cara aislada en sus dos partes. Con este arreglo se logró controlar cada parte del sistema de del reactor fotoquímico, la bomba sumergible que regulaba el flujo del agua como un refrigerante para la sustancia al momento de ser irradiada por la fuente de iluminación y el concentrador, el motor a pasos que colocaba al compuesto a la distancia

focal efectiva regulado por el sensor ultrasónico, y tanto el panel de LED como el LED de alta potencia. Sin embargo, por cuestión de tiempo, no se logró trabajar con dicho circuito.

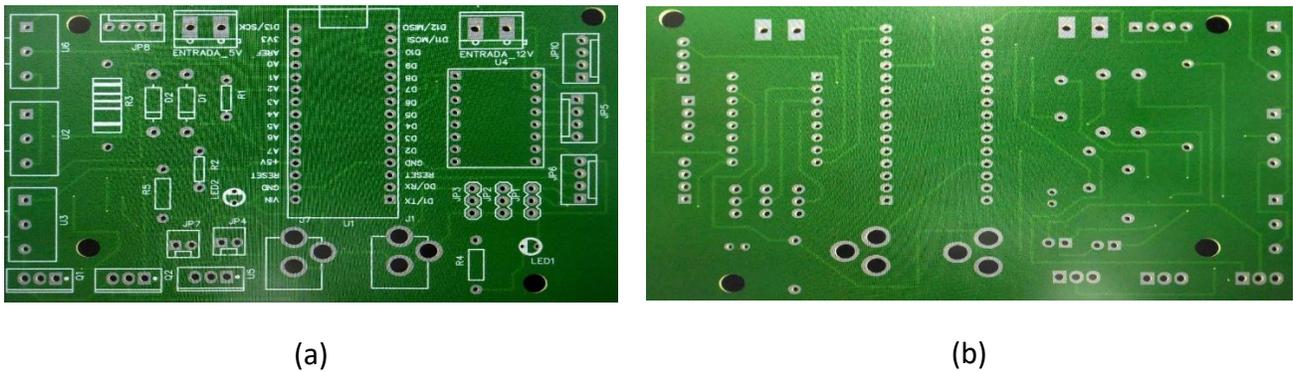


Figura 4.8. (a) Imagen del circuito impreso parte frontal, (b) Imagen del circuito impreso parte posterior

### 4.3 Intensidad de las fuentes de iluminación

Es importante hacer mención del ajuste Gaussiano de curvas definido por la siguiente ecuación:

$$y = \sum_{i=1}^n a_i e^{\left[-\left(\frac{x-b_i}{c_i}\right)^2\right]} \quad (4.1)$$

Donde

$a$  = Amplitud

$b$  = centroide

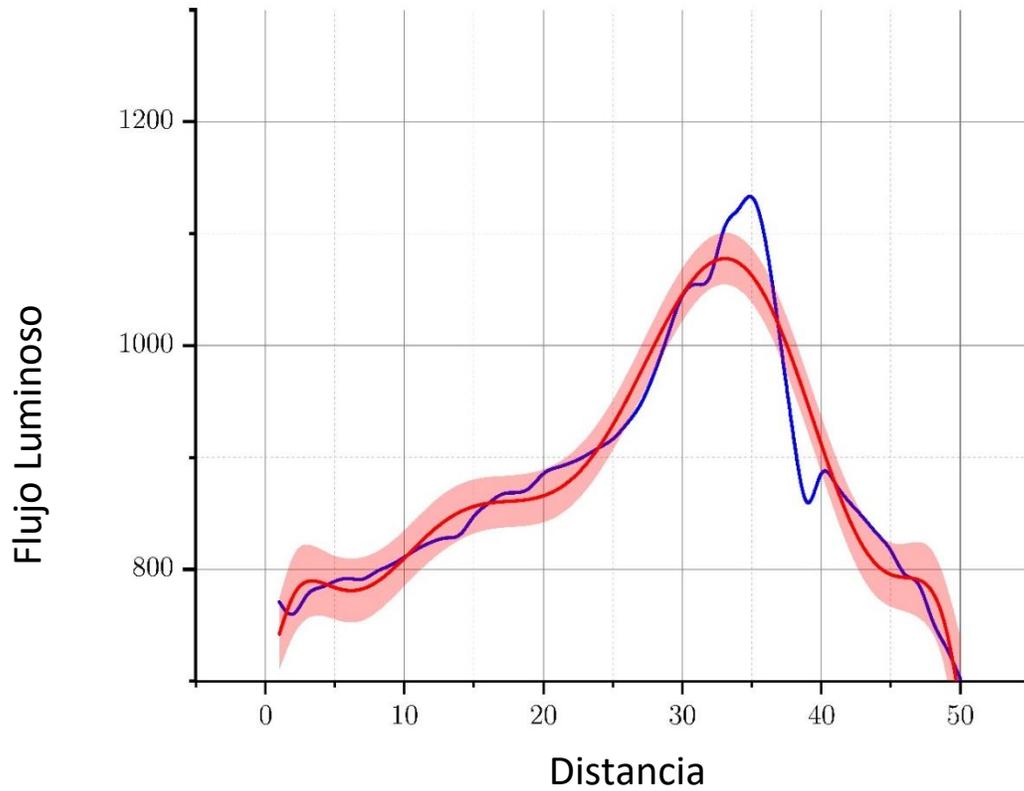
$c$  = Anchura de pico

$n$  = Número de picos para adaptarse

$1 \leq n \leq 8$

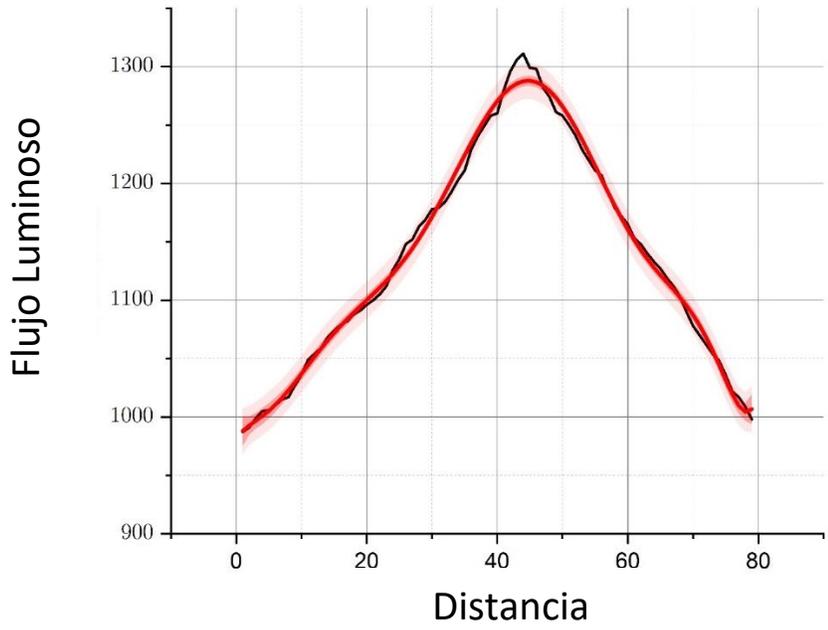
Los picos gaussianos se encuentran en muchas áreas de la ciencia e ingeniería, como en el análisis de la concentración química y espectros de emisión de línea [13].

En la Figura 4.9 se observa los datos graficados del arreglo matricial con el LED, viendo que la intensidad luminosa es de poco más de 1100 lúmenes sin rebasar los 1200 lúmenes.



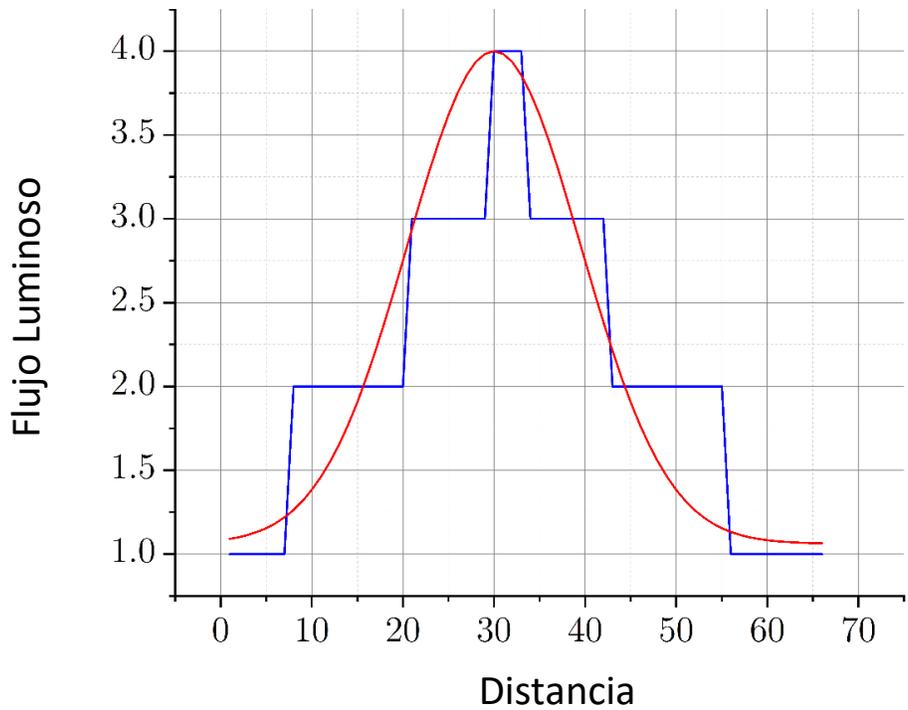
**Figura 4.9.** Gráfica de la curva característica de la Matriz de LED

Comparando el arreglo matricial con el LED de alta potencia vemos en la Figura 4.10 que la intensidad luminosa del LED de alta potencia es mayor al ver en esta un valor en el pico de la curva de poco más de 1300 lúmenes.



**Figura 4.10.** Gráfica de la curva característica del LED de Alta potencia

En la Figura 4.11 se observa el comportamiento de la luz que emana la lámpara UV, los datos originales están representados de color azul de forma escalonada y de color rojo el ajuste.



**Figura 4.11.** Gráfica de la curva característica de la Luz Ultravioleta

La Ecuación del ajuste se representa de la siguiente manera:

$$y = y_0 + Ae^{-\frac{(x-xc)^2}{2\omega^2}} \quad (4.2)$$

Los resultados obtenidos son:

$$y_0 = 1.0625, xc = 30, \omega = 2.49833, y_0 = 2.93747, x = 1,2,3, \dots, n, R^2 = 0.99997 \quad (4.3)$$

En la Figura 4.12 se observa el comportamiento de la luz que emite una lámpara incandescente, los datos originales están representados de color azul, en la cual observamos variaciones en la curva de registro y de color rojo su ajuste.

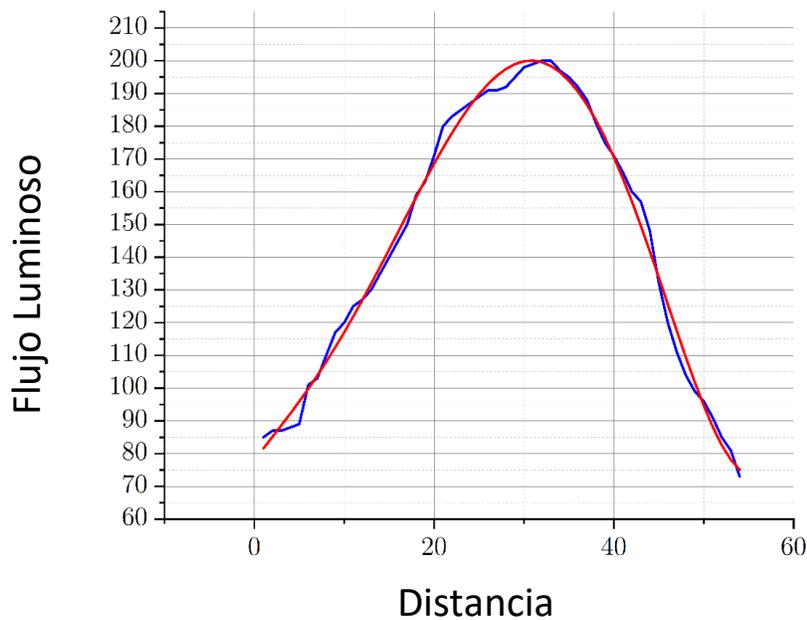


Figura 4.12. Gráfica de la curva característica de la Luz Incandescente

La Ecuación del ajuste es la siguiente:

$$y = \sum_{i=0}^5 A_i x_i \quad (4.4)$$

Por lo tanto:

$$a_0 = 77.22156, a_1 = 3.060083, a_2 = -0.06914, a_3 = 0.01451, a_4 = -5.44983 \times 10^{-4}, a_5 = 5.12678 \times 10^{-6} \quad (4.5)$$

En la Figura 4.13 se observa el comportamiento de la luz que emite un foco ahorrador, los datos originales están representados de color azul, en la cual también observamos variaciones en la curva como en el caso de la lámpara incandescente, y de color rojo su ajuste.

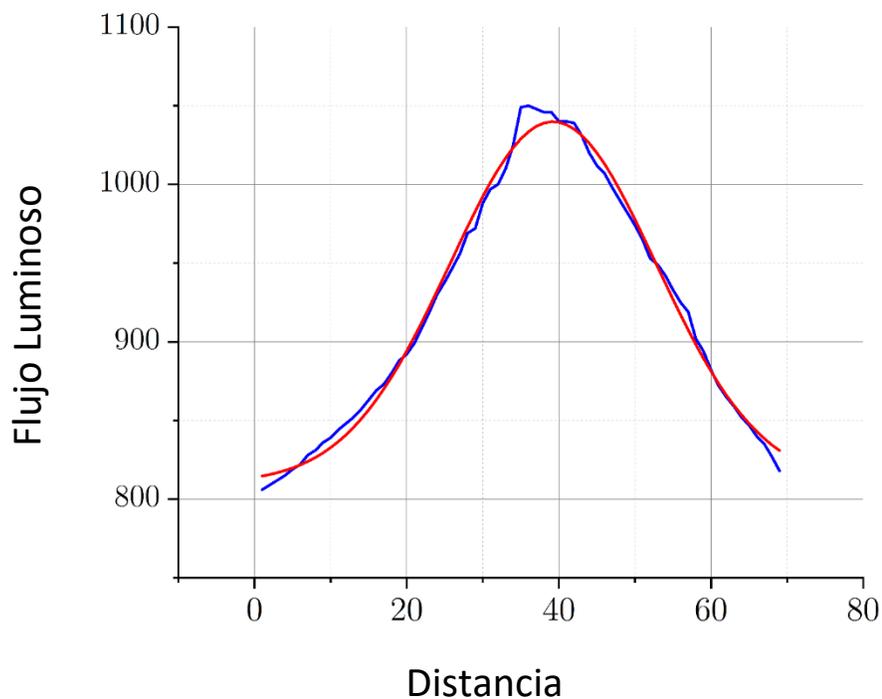


Figura 4.13. Gráfica de la curva característica del Foco ahorrador 300W

La Ecuación del ajuste es la siguiente:

$$y = y_0 + Ae^{-\frac{(x-xc)^2}{2\omega^2}} \quad (4.6)$$

Por lo tanto:

$$y_0 = 810.42, xc = 39.234, \omega = 13.539, A = 229.5040, x = 1,2,3, \dots, n, R^2 = 0.9929 \quad (4.6)$$

## 4.4 Excitación de la sustancia reactiva sin reflector

A lo largo del proyecto se realizaron diversas pruebas con el Complejo de rutenio II  $[RuLClP(Ph_3)]Cl$  utilizando diferentes tipos de fuentes de iluminación centrándose en la fuente de interés que es LED de alta potencia.

Además, se realizaron mediciones de intensidad luminosa en otros tipos de fuentes de iluminación como la lámpara UV, lámpara incandescente, foco ahorrador, arreglo matricial de LED y un LED de alta potencia de 30 W. Los resultados obtenidos se graficaron obteniendo así un resultado que favorecía al LED de alta potencia.

En la Figura 4.14 se observa el comportamiento del Complejo de rutenio II  $[RuLClP(Ph_3)]Cl$ , después de ser irradiado durante 120 minutos por el panel de led sin usar el reflector de Fresnel tipo canal.

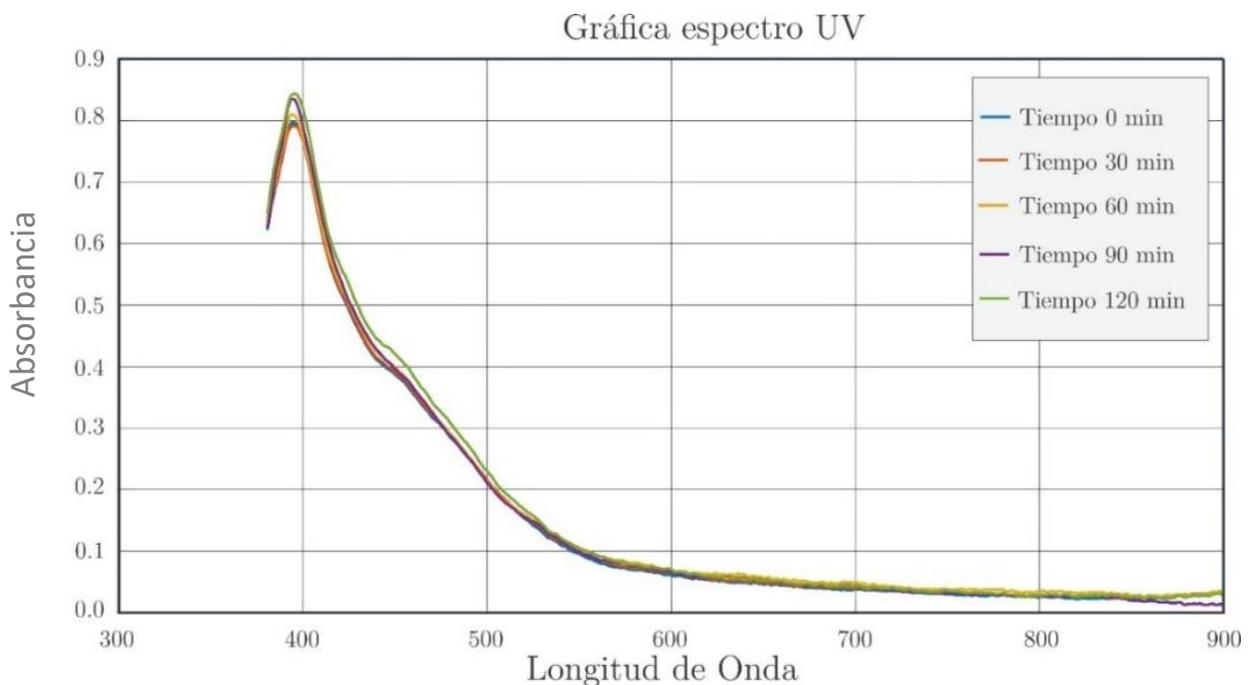


Figura 4.14. Gráfica resultante por la irradiación del Panel de led

En la Figura 4.15 se observa el comportamiento del Complejo de rutenio II  $[RuLClP(Ph_3)]Cl$  después de ser irradiado durante 120 minutos por el led de alta potencia sin usar el reflector de Fresnel tipo canal.

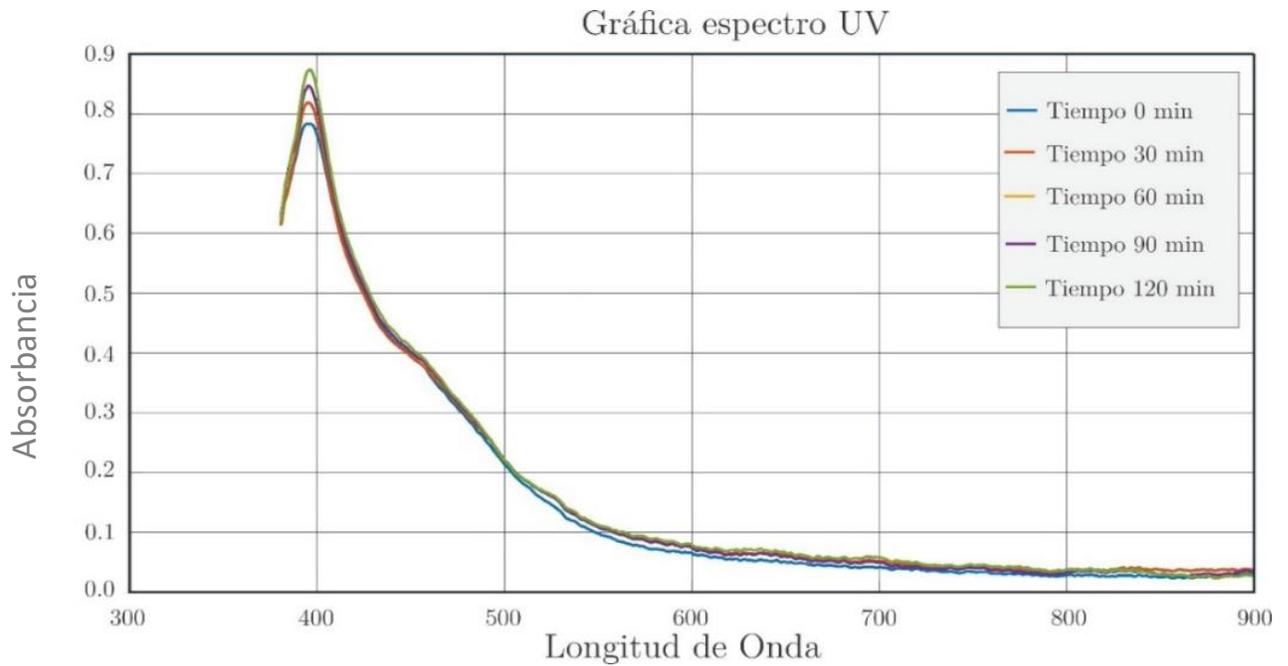


Figura 4.15. Gráfica resultante por la irradiación del Led de alta potencia

## 4.4 Excitación de la sustancia reactiva con reflector

En la Figura 4.16 se observa la sustancia reactiva cuando aún no es irradiada viendo su comportamiento en estado pasivo, comparando absorbancia con la longitud de onda sin el ajuste de las afectaciones externas.

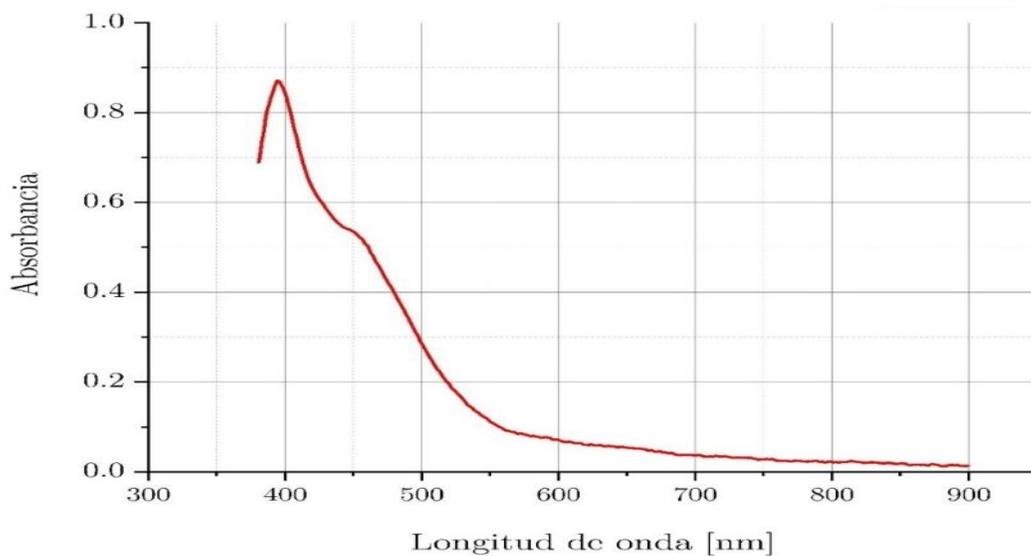
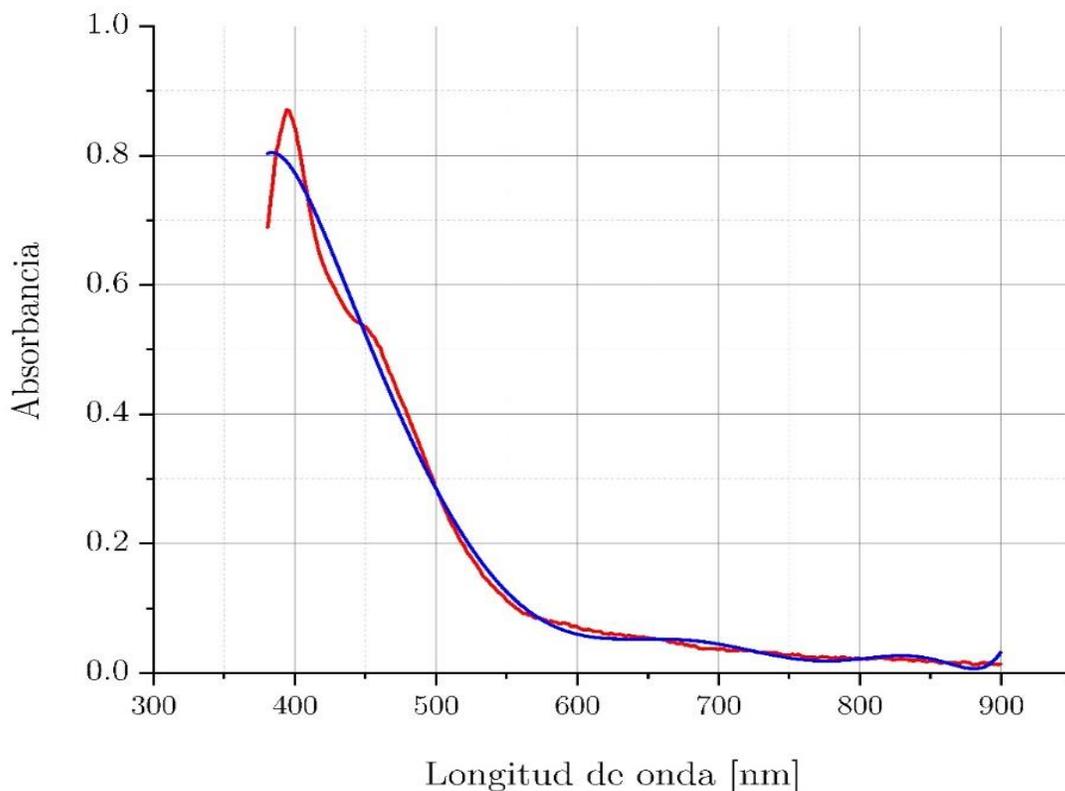


Figura 4.16. Gráfica del rutenio en el tiempo 0 sin ajustar

En la Figura 4.17 se observa el Complejo de rutenio II  $[RuLCIP(Ph_3)]Cl$  sin haber sido irradiado eliminando el ruido a través de un ajuste de curvas.

Para comenzar con las pruebas se echó mano de un espectrómetro UV para realizar las mediciones del comportamiento del Complejo de rutenio II  $[RuLCIP(Ph_3)]Cl$  calibrándose utilizando metanol como solvente del compuesto reactivo.

Durante dos horas se realizó la irradiación de la sustancia reactiva por medio del LED de alta potencia en un espacio cerrado y oscuro, ideal para el sistema, utilizando el reflector de Fresnel como concentrador de la energía, para evitar una mayor pérdida de iluminación y aprovechar al máximo la luz para excitar la sustancia a través de la absorbancia en los fotones del Complejo de rutenio II  $[RuLCIP(Ph_3)]Cl$ .



**Figura 4.17.** Gráfica del rutenio en el tiempo 0 ajustado

En la Figura 4.18 se observa las gráficas del rutenio expuesto a la luz del led de alta potencia junto con el reflector de Fresnel en un tiempo de 120 min, tomando muestras cada 30 min para ver su comportamiento y así comprobar que la sustancia muestra una reacción significativa al ser irradiada.

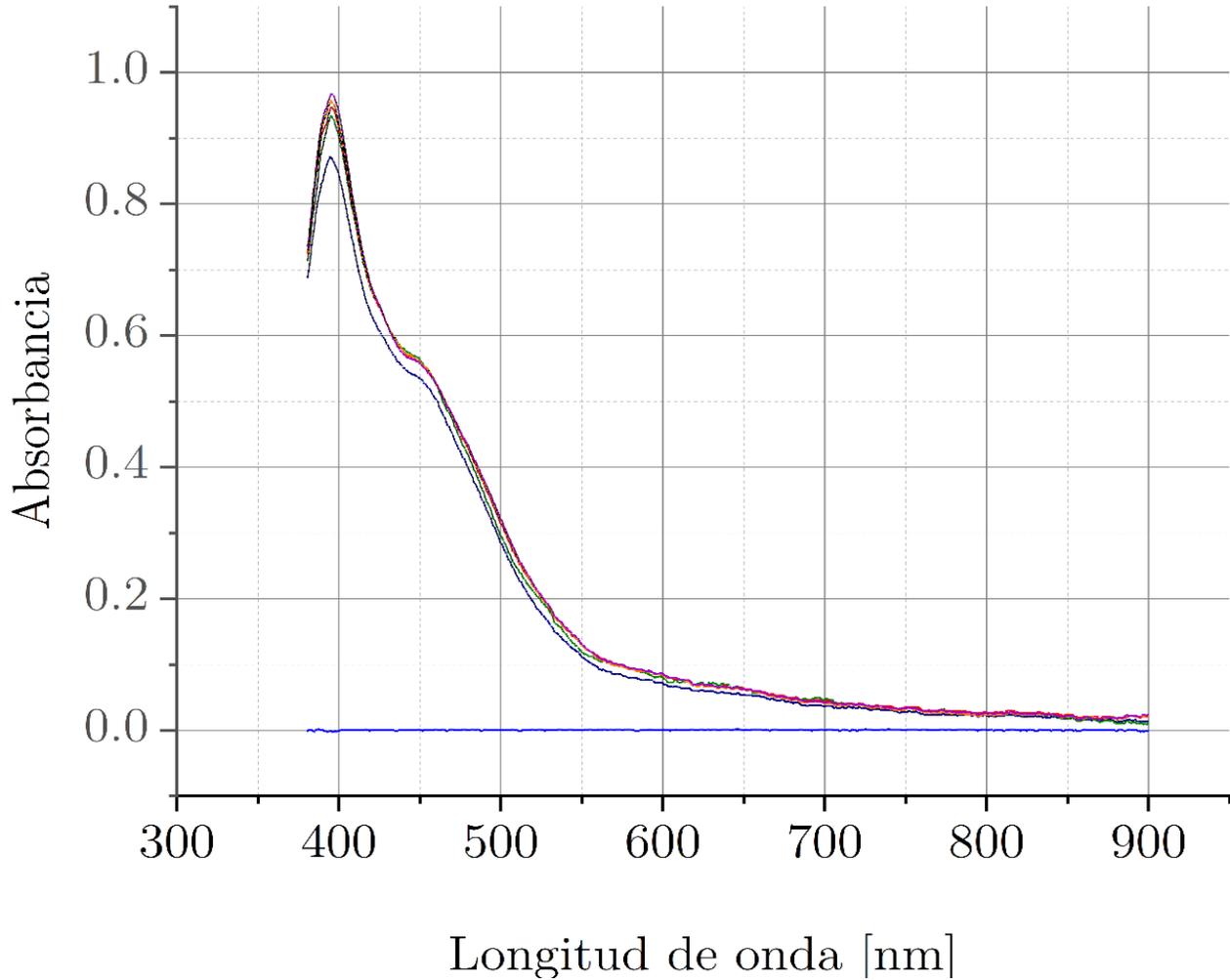
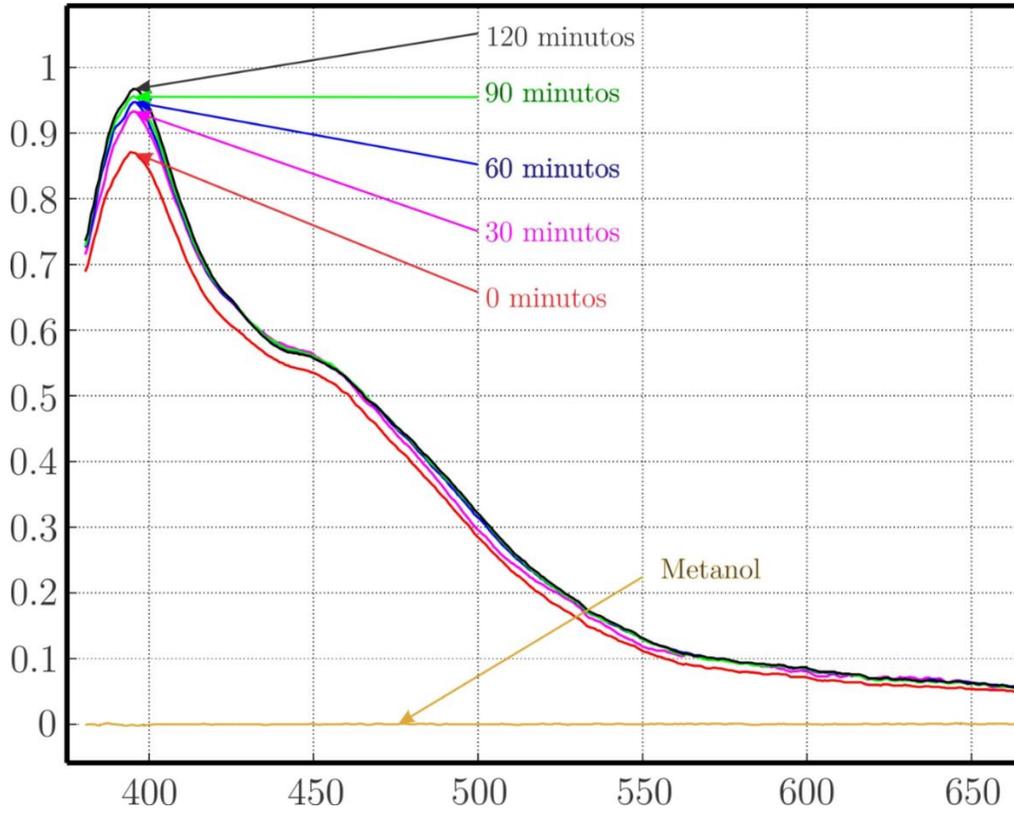


Figura 4.18. Gráfica del desplazamiento del rutenio durante dos horas

A diferencia de la figura 4.18, en la figura 4.19 se observa la gráfica ampliada que muestra el desplazamiento de la curva de reacción en el eje de la absorbancia con más claridad, así como los tiempos y la calibración indicados en cada cresta.



**Figura 4.19.** Gráfica del desplazamiento del rutenio durante dos horas con tiempos

## Capítulo 5. Conclusiones y Trabajo a futuro

A lo largo del trabajo se vieron diferentes conceptos, los cuales sirvieron para conocer el tema de la fotoquímica y específicamente sus aplicaciones en los reactores fotoquímicos, así como su funcionamiento que fue la base para realizar el sistema con el cual se trabajó a lo largo del proyecto.

Se conoció también las diferentes fuentes de iluminación más comunes y las que se usan en los reactores fotoquímicos, su intensidad luminosa y la energía que consumen, esto para implementar cada fuente en el sistema donde se irradió el compuesto de rutenio II  $[RuLClP(Ph_3)]Cl$ , principalmente el LED de alta potencia. Además, se diseñó y construyó el circuito de control con el que se trabajó a lo largo del proyecto.

A través del método polinomial para el ajuste de curvas, se logró obtener la función que satisfacía a la superficie plano-cóncava, la cual fue la base para el diseño de la superficie de Fresnel tipo canal. También se realizó la investigación con respecto a la reflexión y los tipos de reflectores que existen, y con el conocimiento adquirido se construyó el reflector de Fresnel tipo canal, implementándolo en el sistema para concentrar los rayos de luz emitidos por la fuente de iluminación en el compuesto químico, aprovechando al máximo la energía luminosa emitida.

Se logró construir un sistema de control con el fin de colocar el complejo de rutenio II  $[RuLClP(Ph_3)]Cl$  entre el reflector de Fresnel tipo canal y la fuente de iluminación a la distancia focal efectiva, para concentrar los rayos reflejados en dicho complejo.

Por ello, se llega a la conclusión de que la implementación de un reflector de Fresnel tipo canal utilizado como concentrador, es una excelente aportación en los reactores fotoquímicos para mejorar su eficiencia, puesto que se logró disminuir el tiempo de trabajo en comparación a las veces que no se utilizó, y consumir menor cantidad de energía al echar mano de un LED de alta potencia, consumiendo este, menos energía que las otras fuentes que normalmente se encuentran en los reactores.

Como trabajo a futuro se propone la implementación de una tarjeta como adquisición de datos y control, utilizando en diseño mencionado en la figura 4.5 del Capítulo 4. Además se diseñará un gabinete con las dimensiones adecuadas para introducir el arreglo experimental con el que se trabajó, impidiendo la entrada de cualquier fuente luminosa externa que pueda alterar la reacción del compuesto químico. Para realizar el diseño hay que tomar en cuenta la distancia focal efectiva entre la sustancia y el reflector de Fresnel.

Para tener un mejor control del compuesto, se recomienda implementar un contenedor sellado como refrigerante, que permita su traslado y colocación en espacios más pequeños a los que normalmente se utilizan. Esto permitirá que se realicen nuevas prácticas para laboratorio en diversas carreras como la carrera de ingeniería química, civil, eléctrica electrónica; este último en las materias como microprocesadores y microcontroladores, electrónica, amplificación de señales, medición e instrumentación, e instrumentación electrónica.

Se propone además probar distintas superficies para ver la reacción que puede tener el Complejo de rutenio II  $[RuLClP(Ph_3)]Cl$  al ser irradiado por diferentes fuentes de iluminación, además realizar a futuro pruebas con otros compuestos químicos y ver el comportamiento que tiene al utilizar el concentrador de energía.

Finalmente, en conjunto con mi asesor, estamos generando una publicación de la implementación de un reflector de Fresnel tipo canal en un reactor fotoquímico, donde participo como coautor bajo la misma línea del trabajo de investigación.

## Referencias Bibliográficas

- [1] ENCYCLOPEDIA UNIVERSALIS FRANCE SAS. (10/2017). PHOTOCHIMIE. 10/2018, de ENCYCLOPEDIA UNIVERSALIS Sitio web: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/photochimie/1-historique/>
- [2] Fernando Gutiérrez Martín. (02/2017). ingeniería de la reacción química. 06/2018, de upm, URL: <http://ocw.upm.es/ingenieria-quimica/ingenieria-de-la-reaccion-quimica/contenidos/OCW/LO/cap1.pdf>
- [3] Gisbel Bordonos. (03/2015). Reactores Batch. 06/2018, de Google Sites, URL: <https://sites.google.com/site/reactoresbatch/reactor-adiabatico>
- [4] Gisbel Bordonos. (03/2015). Reactores Batch. 06/2018, de Google Sites URL: <https://sites.google.com/site/reactoresbatch/reactor-isotermico>
- [5] Anarella Gatto, Sebastián Mendieta y Silvia Pedreira. (06/2017). Importancia de la luz y fuentes luminosas. 09/2018, de Portal Uruguay Educa. Sitio web: <http://aulas.uruguayeduca.edu.uy/mod/book/tool/print/index.php?id=23929#ch9800>
- [6] David Valenzuela Z. (09/2018). Fuentes de Luz. 09/2018, Sitio web: <https://www.fisic.ch/contenidos/ondas-y-la-luz/color-y-luz/>
- [7] Zkerly Vázquez Delgado. (05/2005). Análisis, diseño y construcción de reactores a escala para desinfección de agua potable con radiación UV. 09/2018, de Universidad de las Américas Puebla Sitio web: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/vazquez\\_d\\_z/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/vazquez_d_z/capitulo2.pdf)
- [8] SiLed. (03/2018). LEDs de POTENCIA. 10/2018, de SiLed Sitio web: <https://www.siled.com.mx/catalogos/potencia/files/leds%20de%20potencia.pdf>

- [9] Electricidad Básica. (10/2018). Diodos Emisores de Luz de Alta Potencia. 10/2018, de Electricidad Básica Sitio web: [http://www.electricidadbasica.net/leds\\_alta\\_potencia.htm](http://www.electricidadbasica.net/leds_alta_potencia.htm)
- [10] Cristina Morente Montserrat, Manuel García Gil. (11/2017). Sistemas de Iluminación. 07/2018, de Universidad Politécnica de Catalunya URL: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasiluminacion-luminarias-reflectores.php>
- [11] Teresa Alameda. (07/2014). Los reflectores plásticos Reflexis pueden reducir costes en las centrales termosolares. 06/2018, de Mit Technology Review URL: <https://www.technologyreview.es/s/4300/los-reflectores-plasticos-reflexis-pueden-reducir-costes-en-las-centrales-termosolares>
- [12] Ángel Franco García. (05/2009). Ley de Snell de la refracción. 06/2018, de Universidad del País Vasco (Euskal Herriko Unibertsitatea) Sitio web: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/snell/snell.htm>
- [13] MATLAB. (2018). Gaussian Models. 02/2019, de MATHWORKS Sitio web: <https://la.mathworks.com/help/curvefit/gaussian.html>
- [1a] Dr. Rogelio García Cuevas. (09/2009). Introducción a los Reactores Químicos. 05/2019, de Departamento de Fotoquímica UNAM Sitio web: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IntroReactores\\_10564.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IntroReactores_10564.pdf)
- [1b] Gisbel Bordones. (03/2015). Estudio de los fundamentos teóricos y prácticos necesarios para el diseño de los reactores intermitentes. 05/2019, de Google Sites Sitio web: <https://sites.google.com/site/reactoresbatch/reactor-adiabatico>
- [1c] Alejandra Sarzosa, Aracely Yandún, Luis Garcés. (10/2017). Análisis del Rendimiento de un Reactor Químico Isotérmico Mediante Controladores PID, SSC y SMC. 05/2019, de SCIELO Sitio web: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-01292018000100019](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292018000100019)
- [3a] CLIMATE-DATA.ORG, (septiembre,2017): 1. <https://es.climate-data.org/location/1093/>

# Apéndice A. Hoja de Datos LM555



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

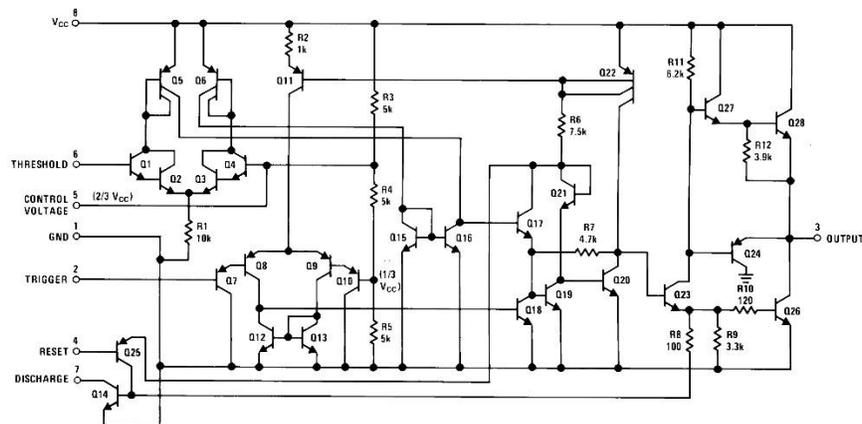
The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an 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<sup>(1)</sup>

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

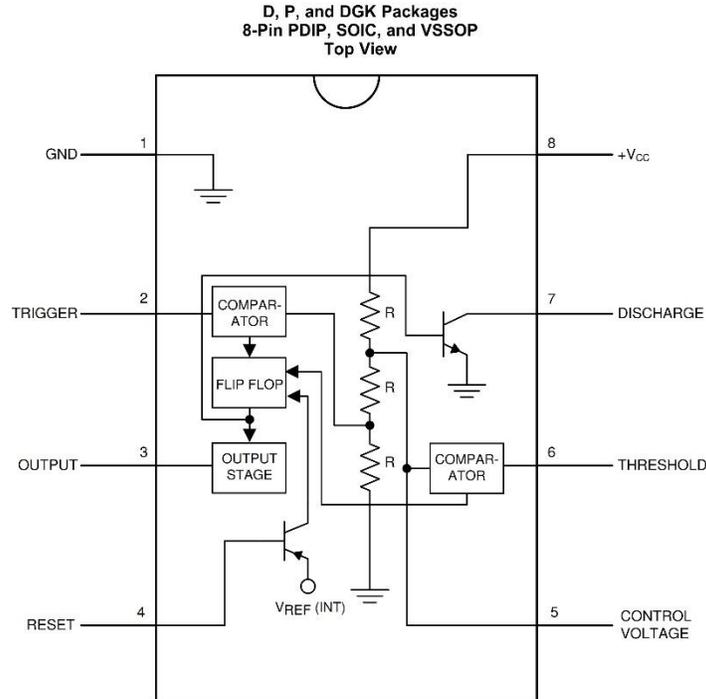
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

### Schematic Diagram



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

## 5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NO.	NAME		
5	Control Voltage	I	Controls the threshold and trigger levels. It determines the pulse width of the output waveform. An external voltage applied to this pin can also be used to modulate the output waveform
7	Discharge	I	Open collector output which discharges a capacitor between intervals (in phase with output). It toggles the output from high to low when voltage reaches 2/3 of the supply voltage
1	GND	O	Ground reference voltage
3	Output	O	Output driven waveform
4	Reset	I	Negative pulse applied to this pin to disable or reset the timer. When not used for reset purposes, it should be connected to VCC to avoid false triggering
6	Threshold	I	Compares the voltage applied to the terminal with a reference voltage of 2/3 Vcc. The amplitude of voltage applied to this terminal is responsible for the set state of the flip-flop
2	Trigger	I	Responsible for transition of the flip-flop from set to reset. The output of the timer depends on the amplitude of the external trigger pulse applied to this pin
8	V <sup>+</sup>	I	Supply voltage with respect to GND

**LM555**

SNAS548D – FEBRUARY 2000 – REVISED JANUARY 2015

[www.ti.com](http://www.ti.com)

## 6 Specifications

### 6.1 Absolute Maximum Ratings

 over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)(2)</sup>

		MIN	MAX	UNIT	
Power Dissipation <sup>(3)</sup>	LM555CM, LM555CN <sup>(4)</sup>		1180	mW	
	LM555CMM		613	mW	
Soldering Information	PDIP Package		260	°C	
	Small Outline Packages (SOIC and VSSOP)	Vapor Phase (60 Seconds)		215	°C
		Infrared (15 Seconds)		220	°C
Storage temperature, T <sub>stg</sub>		-65	150	°C	

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (PDIP), 170°C/W (SOIC-8), and 204°C/W (VSSOP) junction to ambient.
- (4) Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

### 6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT	
V <sub>(ESD)</sub>	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 <sup>(1)</sup>	±500 <sup>(2)</sup>	V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) The ESD information listed is for the SOIC package.

### 6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT
Supply Voltage		18	V
Temperature, T <sub>A</sub>	0	70	°C
Operating junction temperature, T <sub>J</sub>		70	°C

### 6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	LM555			UNIT
	PDIP	SOIC	VSSOP	
	8 PINS			
R <sub>θJA</sub> Junction-to-ambient thermal resistance	106	170	204	°C/W

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).

## 6.5 Electrical Characteristics

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{ V}$ , $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{ V}$ , $R_L = \infty$ (Low State) <sup>(3)</sup>		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1 %		
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{ k to }100\text{ k}\Omega$ , $C = 0.1\ \mu\text{F}$ , <sup>(4)</sup>		50		ppm/ $^\circ\text{C}$
Accuracy over Temperature			1.5 %		
Drift with Supply			0.1 %		V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{ k to }100\text{ k}\Omega$ , $C = 0.1\ \mu\text{F}$ , <sup>(4)</sup>		150		ppm/ $^\circ\text{C}$
Accuracy over Temperature			3.0%		
Drift with Supply			0.30 %		$\text{V}$
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$ $V_{CC} = 5\text{ V}$		5 1.67		V V
Trigger Current			0.5	0.9	$\mu\text{A}$
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	<sup>(5)</sup>		0.1	0.25	$\mu\text{A}$
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{ V}$ $V_{CC} = 5\text{ V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat <sup>(6)</sup>					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $I_7 = 15\text{ mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$ , $I_7 = 4.5\text{ mA}$		80	200	mV
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{ V}$ $I_{\text{SINK}} = 10\text{ mA}$ $I_{\text{SINK}} = 50\text{ mA}$ $I_{\text{SINK}} = 100\text{ mA}$ $I_{\text{SINK}} = 200\text{ mA}$ $V_{CC} = 5\text{ V}$ $I_{\text{SINK}} = 8\text{ mA}$ $I_{\text{SINK}} = 5\text{ mA}$		0.1 0.4 2 2.5	0.25 0.75 2.5	V V V V V V V

- (1) All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.
- (2) *Absolute Maximum Ratings* indicate limits beyond which damage to the device may occur. *Recommended Operating Conditions* indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. *Electrical Characteristics* state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which ensures specific performance limits. This assumes that the device is within the *Recommended Operating Conditions*. Specifications are not ensured for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.
- (3) Supply current when output high typically 1 mA less at  $V_{CC} = 5\text{ V}$ .
- (4) Tested at  $V_{CC} = 5\text{ V}$  and  $V_{CC} = 15\text{ V}$ .
- (5) This will determine the maximum value of  $R_A + R_B$  for 15 V operation. The maximum total ( $R_A + R_B$ ) is 20 M $\Omega$ .
- (6) No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

**LM555**

SNAS548D – FEBRUARY 2000 – REVISED JANUARY 2015

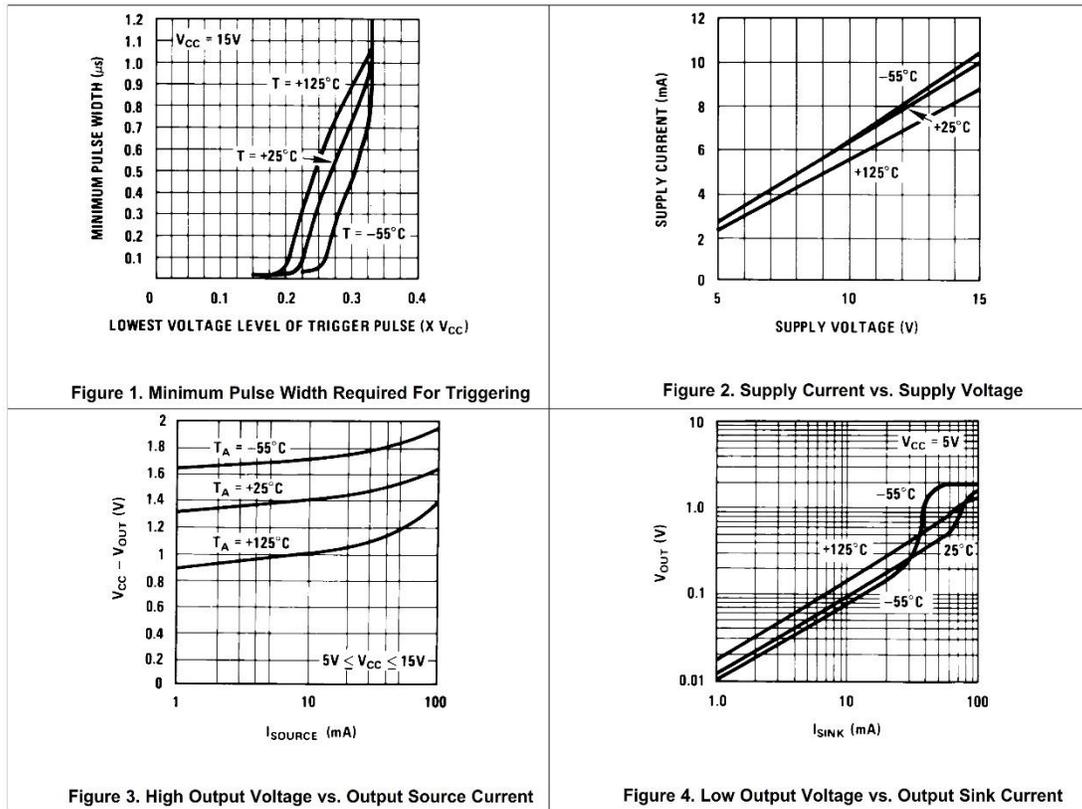
www.ti.com

**Electrical Characteristics (continued)**

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

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**

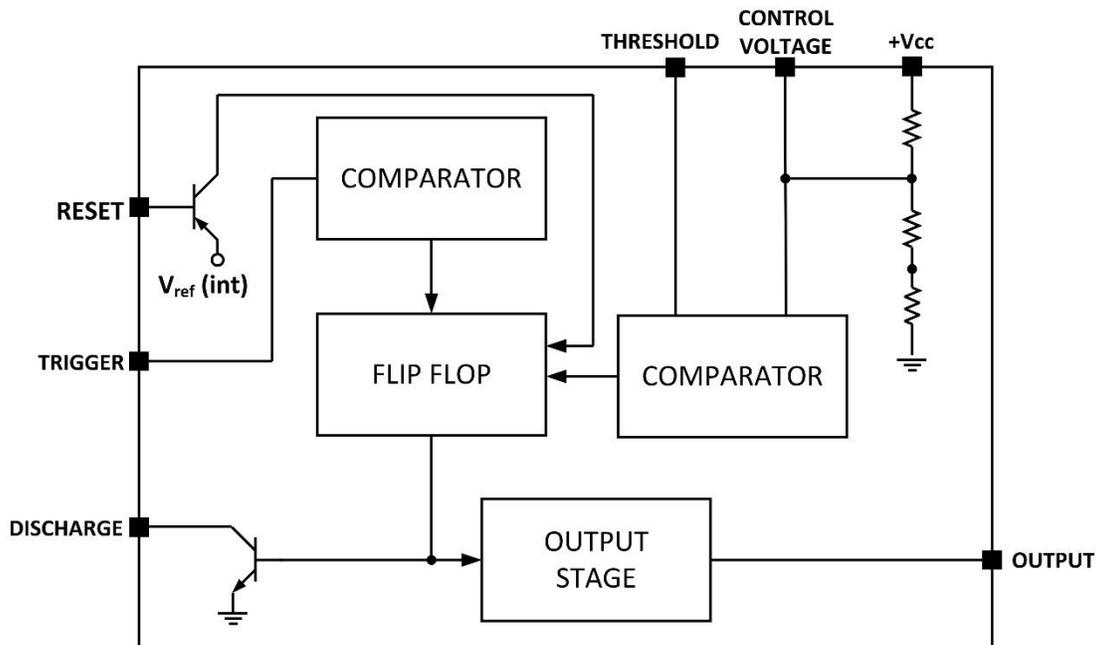


## 7 Detailed Description

### 7.1 Overview

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 astable 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 200mA or driver TTL circuits. The LM555 are available in 8-pin PDIP, SOIC, and VSSOP packages and is a direct replacement for SE555/NE555.

### 7.2 Functional Block Diagram



### 7.3 Feature Description

#### 7.3.1 Direct Replacement for SE555/NE555

The LM555 timer is a direct replacement for SE555 and NE555. It is pin-to-pin compatible so that no schematic or layout changes are necessary. The LM555 come in an 8-pin PDIP, SOIC, and VSSOP package.

#### 7.3.2 Timing From Microseconds Through Hours

The LM555 has the ability to have timing parameters from the microseconds range to hours. The time delay of the system can be determined by the time constant of the R and C value used for either the monostable or astable configuration. A nomograph is available for easy determination of R and C values for various time delays.

#### 7.3.3 Operates in Both Astable and Monostable Mode

The LM555 can operate in both astable and monostable mode depending on the application requirements.

- Monostable mode: The LM555 timer acts as a "one-shot" pulse generator. The pulse begins when the LM555 timer receives a signal at the trigger input that falls below a 1/3 of the voltage supply. The width of the output pulse is determined by the time constant of an RC network. The output pulse ends when the voltage on the

## Feature Description (continued)

capacitor equals  $2/3$  of the supply voltage. The output pulse width can be extended or shortened depending on the application by adjusting the R and C values.

- Astable (free-running) mode: The LM555 timer can operate as an oscillator and puts out a continuous stream of rectangular pulses having a specified frequency. The frequency of the pulse stream depends on the values of  $R_A$ ,  $R_B$ , and C.

## 7.4 Device Functional Modes

### 7.4.1 Monostable Operation

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 11). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than  $1/3 V_{CC}$  to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

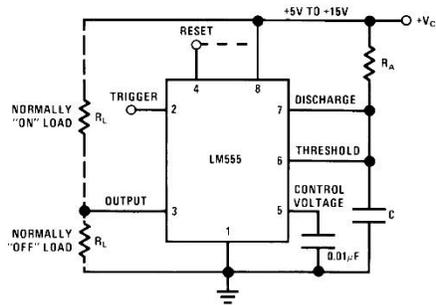
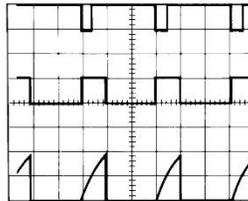


Figure 11. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of  $t = 1.1 R_A C$ , at the end of which time the voltage equals  $2/3 V_{CC}$ . The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 12 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5\text{ V}$   
 TIME = 0.1 ms/DIV.  
 $R_A = 9.1\text{ k}\Omega$   
 $C = 0.01\text{ }\mu\text{F}$

Top Trace: Input 5V/Div.  
 Middle Trace: Output 5V/Div.  
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

Figure 12. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least  $10\text{ }\mu\text{s}$  before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, TI recommends connecting the Reset pin to  $V_{CC}$  to avoid any possibility of false triggering.

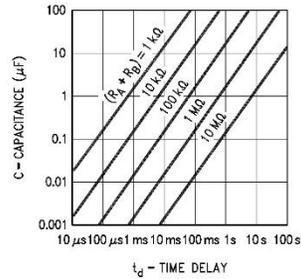
**LM555**

SNAS548D – FEBRUARY 2000 – REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

**Device Functional Modes (continued)**

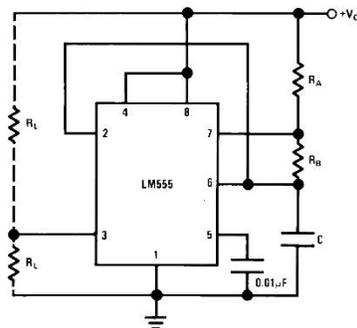
Figure 13 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.



**Figure 13. Time Delay**

**7.4.2 Astable Operation**

If the circuit is connected as shown in Figure 14 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through  $R_A + R_B$  and discharges through  $R_B$ . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

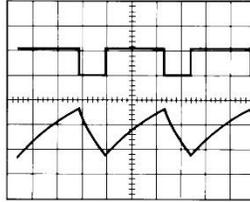


**Figure 14. Astable**

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between  $1/3 V_{CC}$  and  $2/3 V_{CC}$ . As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Figure 15 shows the waveforms generated in this mode of operation.

Device Functional Modes (continued)



$V_{CC} = 5\text{ V}$   
 TIME = 20 $\mu\text{s}$ /DIV. Top Trace: Output 5V/Div.  
 $R_A = 3.9\text{ k}\Omega$  Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.  
 $R_B = 3\text{ k}\Omega$   
 $C = 0.01\text{ }\mu\text{F}$

Figure 15. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C \tag{1}$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C \tag{2}$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C \tag{3}$$

The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C} \tag{4}$$

Figure 16 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \tag{5}$$

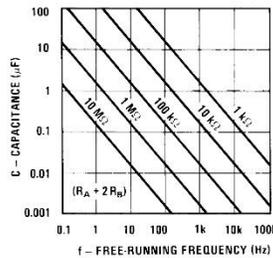


Figure 16. Free Running Frequency

## 8 Application and Implementation

### NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

### 8.1 Application Information

The LM555 timer can be used a various configurations, but the most commonly used configuration is in monostable mode. A typical application for the LM555 timer in monostable mode is to turn on an LED for a specific time duration. A pushbutton is used as the trigger to output a high pulse when trigger pin is pulsed low. This simple application can be modified to fit any application requirement.

### 8.2 Typical Application

Figure 17 shows the schematic of the LM555 that flashes an LED in monostable mode.

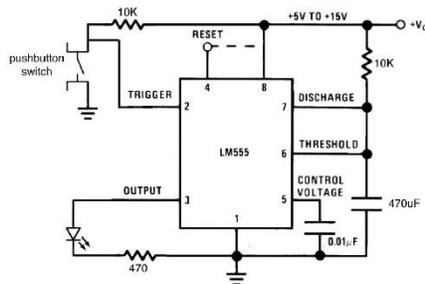


Figure 17. Schematic of Monostable Mode to Flash an LED

#### 8.2.1 Design Requirements

The main design requirement for this application requires calculating the duration of time for which the output stays high. The duration of time is dependent on the R and C values (as shown in Figure 17) and can be calculated by:

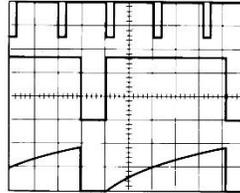
$$t = 1.1 \times R \times C \text{ seconds} \quad (6)$$

#### 8.2.2 Detailed Design Procedure

To allow the LED to flash on for a noticeable amount of time, a 5 second time delay was chosen for this application. By using Equation 6, RC equals 4.545. If R is selected as 100 kΩ, C = 45.4 μF. The values of R = 100 kΩ and C = 47 μF was selected based on standard values of resistors and capacitors. A momentary push button switch connected to ground is connected to the trigger input with a 10-K current limiting resistor pullup to the supply voltage. When the push button is pressed, the trigger pin goes to GND. An LED is connected to the output pin with a current limiting resistor in series from the output of the LM555 to GND. The reset pin is not used and was connected to the supply voltage.

##### 8.2.2.1 Frequency Divider

The monostable circuit of Figure 11 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 18 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.

**Typical Application (continued)**


$V_{CC} = 5\text{ V}$   
 $TIME = 20\ \mu\text{s}/\text{DIV.}$   
 $R_A = 9.1\ \text{k}\Omega$   
 $C = 0.01\ \mu\text{F}$

Top Trace: Input 4 V/Div.  
 Middle Trace: Output 2V/Div.  
 Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.

**Figure 18. Frequency Divider**
**8.2.2.2 Additional Information**

Lower comparator storage time can be as long as  $10\ \mu\text{s}$  when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to  $10\ \mu\text{s}$  minimum.

Delay time reset to output is  $0.47\ \mu\text{s}$  typical. Minimum reset pulse width must be  $0.3\ \mu\text{s}$ , typical.

Pin 7 current switches within  $30\ \text{ns}$  of the output (pin 3) voltage.

**8.2.3 Application Curves**

The data shown below was collected with the circuit used in the typical applications section. The LM555 was configured in the monostable mode with a time delay of  $5.17\ \text{s}$ . The waveforms correspond to:

- Top Waveform (Yellow) – Capacitor voltage
- Middle Waveform (Green) – Trigger
- Bottom Waveform (Purple) – Output

As the trigger pin pulses low, the capacitor voltage starts charging and the output goes high. The output goes low as soon as the capacitor voltage reaches  $2/3$  of the supply voltage, which is the time delay set by the R and C value. For this example, the time delay is  $5.17\ \text{s}$ .

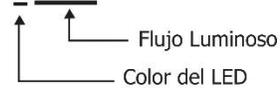
# Apéndice B. LED de Alta Potencia 30 Watts

## LED DE POTENCIA 30W



## LED DE POTENCIA 30W

LED-P30YLLLLL-120/430



### Especificaciones

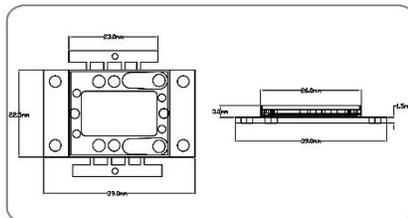
Tipo de LED: POTENCIA de 30W  
 Ángulo de apertura: 120 grados  
 Encapsulado transparente  
 Base para disipador de calor

Temperatura de operación: - 35 a 60 °C  
 Corriente nominal: 2100mA  
 Temperatura de soldadura sin plomo: 260°C  
 5 seg. máximo  
 Número de chips internos: 30

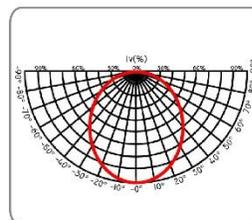
Y Colores disponibles	Temperatura de Color [Tc]	Voltaje de Operación [V]		Consumo [W]	Flujo Luminoso [lm]	
		Min	Máx		Min	Máx
WW	3000-5000 K	15	18	30	1200	1800
W	5000-7000 K	15	18	30	2000	2800

LLLLL=Flujo Luminoso Máx

Dimensiones



Curva de Distribución luminosa



**Nota:**  
 Es necesario dotar al LED de un disipador de calor adecuado con el fin de mantenerlo dentro de la temperatura de operación especificada, de lo contrario una temperatura excesiva causara una degradación o daño permanente

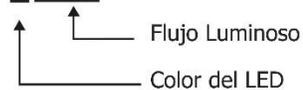


## LED DE POTENCIA 3X1W



## LED DE POTENCIA 3X1W

LED-P3YLLLLL-120/43



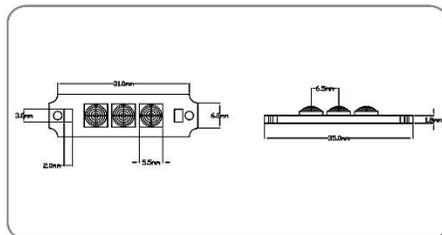
### Especificaciones

Tipo de LED: Arreglo de 3 LEDs de 1W  
 Ángulo de apertura: 120 grados  
 Encapsulado transparente  
 Base para disipador de calor

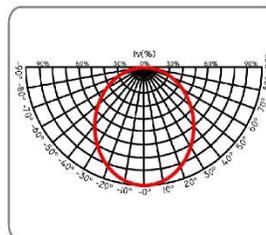
Temperatura de operación: - 35 a 60 °C  
 Corriente nominal: 350mA  
 Temperatura de soldadura sin plomo: 260°C  
 5 seg. máximo  
 Número de chips internos: 3

Y Colores disponibles	Longitud de onda [nm] / Temperatura de Color [Tc]	Voltaje de Operación [V]		Consumo [W]	Flujo Luminoso [lm]	
		Min	Máx		Min	Máx
R	600-650	6.0	7.0	3.0	75	105
G	490-540	9.0	12.0	3.0	100	150
B	450-500	9.0	12.0	3.0	30	60
Y	550-600	6.0	7.0	3.0	75	105
WW	3000-5000 K	9.0	12.0	3.0	70	100
W	5000-7000 K	9.0	12.0	3.0	100	140

Dimensiones



Curva de Distribución luminosa



LLLLL=Flujo Luminoso Máx

**Nota:**  
 Es necesario dotar al LED de un disipador de calor adecuado con el fin de mantenerlo dentro de la temperatura de operación especificada, de lo contrario una temperatura excesiva causara una degradación o daño permanente



# Apéndice C. IRF3205 Hoja de Datos

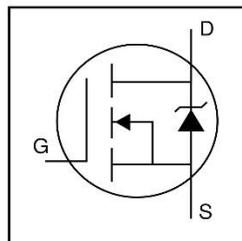
International  
**IR** Rectifier

PD-91279E

## IRF3205

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175 °C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$V_{DSS} = 55V$
$R_{DS(on)} = 8.0m\Omega$
$I_D = 110A^{\textcircled{5}}$

### Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	110 <sup>⑤</sup>	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	80	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current <sup>①</sup>	390	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_{AR}$	Avalanche Current <sup>①</sup>	62	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy <sup>①</sup>	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt <sup>③</sup>	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 srew	10 lbf•in (1.1N•m)	

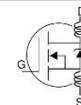
### Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

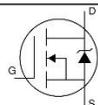
www.irf.com

1  
01/25/01

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.057	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	8.0	m $\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 62A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	44	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 62A$ ④
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	146	nC	$I_D = 62A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	35		$V_{DS} = 44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	54		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	14	—	ns	$V_{DD} = 28V$
$t_r$	Rise Time	—	101	—		$I_D = 62A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	50	—		$R_G = 4.5\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	65	—		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 10 ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact 
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	3247	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	781	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	211	—		$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	1050 ⑥	264 ⑦		mJ

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	110	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	390		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 62A, V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	69	104	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 62A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	143	215	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 138\mu H$   
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 62A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 62A, di/dt \leq 207A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 400\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ⑤ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 75A.
- ⑥ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑦ This is a calculated value limited to  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .

# Apéndice D. Panel de LED 2 Watts

MLM-5050WH

## Modulo 3 LED's 5050 MANUAL DE INSTRUCCIONES

Lea completo este manual antes de usar este producto por primera vez.

- Cortar la cadena de LED para lograr la cantidad necesaria, y estirar los cables en unos 10 mm (0.4in).
- Nota: Por favor corte en el medio de la cables.
- Cuando los cables del último módulo este expuesto, en primer lugar estire el cable unos 10 mm (0.4in), a continuación, tape el cable "+" y el cable "-" con el conector enlace en forma de alambre retorcido para proteger contra la humedad y la corrosión
- Cuando los módulos necesiten estar conectados, por favor estire los cables alrededor de 10 mm (0.4in), a continuación, conecte los módulos con el enlace en forma de alambre retorcido (cable raya roja "+" a cable raya roja "+", cable blanco "-" a cable blanco "-")
- Nota: La cantidad máxima para conectar por cadena es de no más de 30 módulos para la terminal de potencia de alimentación.
- Ajuste los módulos LED a el mejor lugar, después fíjelos con los tornillos
- Haga un agujero en el lugar adecuado, a continuación, ponga los cables de suministro a través del agujero y fíjelos bien para una buena protección.
- Nota: Haga un agujero con la fuerza adecuada para evitar daños en el panel.
- Asegúrese de que las polaridades de los módulos de LED sean correctamente conectado a la de la fuente de alimentación.

NOTAS :

1-Notas de Instalación:

Asegúrese de que las polaridades de conexión realizadas en módulos y fuente de alimentación son correctos, de lo contrario la señal no se encenderá.

2-Notas para Suministros opcionales:

Cuando la cantidad módulos estándar por cadena es 50pcs se recomienda elegir una fuente de alimentación certificada segura con 110W de potencia nominal y DC 12V tensión de salida (con protecciones contra corto-circuito, sobretensión y sobrecarga) El rango de tolerancia de voltaje de salida de la fuente de alimentación es de  $\pm 5\%$ .

La fuente de alimentación en ambos extremos de la cadena, si la fuente de alimentación está en un solo extremo, asegúrese que no haya más de 30 módulos por cadena, si se necesitan más módulos, asegúrese de que la fuente de alimentación tenga más del 20% de incremento de carga.

MAL FUNCIONAMIENTO Y TABLA DE SOLUCIONES

MAL FUNCIONAMIENTO	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES
Ningún Led funciona	1-No hay poder primario	Retire cualquier circuito corto o abierto con mal funcionamiento, y energice el accesorio
	2-La fuente de alimentación este auto protegido desde que el corto circuito se produce en la salida abierta de la SMPS	
	3-Los cables de entrada de los módulos están conectados a la inversa.	
Algunos módulos de Led no funcionan	1-Algunos SMPS no reciben energía primaria	Revise la fuente de alimentación y remueva mal funcionamiento
	2-Algunos módulos están erróneamente conectado a la fuente de alimentación	Conecte los cables correctamente
	3-Alguna de las polaridades de los módulos están conectadas a la inversa	
El brillo del led es débil o no tiene	1-Fuente de alimentación está sobrecargada	Cambie a una fuente de alimentación de alta potencia de acuerdo con la carga real
	2-El cable perdió la fuente de alimentación, o el cable perdió la diferencia entre cada cadena porque son muchas	Asegúrese de que el voltaje de funcionamiento de cada módulo es de $\pm 5\%$ de tensión nominal (1.reduceza el alambre entre la fuente de alimentación y el primer módulo o usando uno de los cables de suministrado más grueso; asegúrese de que la cantidad de ramas funcionando no sea más de la cantidad máxima conectable, y asegúrese de que cada rama tenga la misma cantidad de módulos, sera mejor con la cantidad de 3 módulos de diferencia
	3-Demasiados módulos de led conectados	Ajuste la cantidad de módulo en cada rama para satisfacer la cantidad máxima que se puede conectar.
Los Led's están parpadeando	1-Existen conexiones sueltas	Encuentre las conexiones sueltas y elimine cualquier mal funcionamiento
	2-EI SMPS no funciona	Reemplace la fuente de alimentación.

ADVERTENCIA

- No desmonte ni modifique el módulo.
- No toque la superficie del LED de materia dura.
- No instale los módulos con la energía encendida.
- Prohíba el uso de solventes químicos orgánicos.
- Utilice un electricista con licencia para instalar ya mantener el producto en servicio. Utilice el pegamento vidrio neutro para fijar estos productos, no sellar el producto hasta que el pegamento se haya solidificado en entorno abierto 4 horas más tarde.

- Durante la instalación, por favor aislar los cables expuestos y los puntos de conexión; mientras tanto, cubra por favor los cables para protegerlos contra la humedad y la corrosión.
- Por favor, elija cables 20AWG o cables más gruesos para evitar la sobrecarga u otro peligro cuando los cables de suministro de módulos necesitan extensión.
- La cantidad máxima de módulos por cadena es de 50 módulos para alimentación de energía de doble y 30 módulos para alimentación de energía sencilla, está prohibido excederlo, el cable de alimentación entre el primer módulo y la fuente de alimentación deben ser de no más de 2 m o la pérdida de corriente en el cable se incrementará, lo que causara diferencias de brillo entre el primer módulo y el último módulo.
- Este producto es aplicable a la parte interior de la caja de luz o al de canal letras, está prohibido exponerlos al aire libre o un semi-exterior directo.

#### ESPECIFICACIONES

Modelo: MLM-5050WH

Voltaje de alimentación: 12 Vcc

Potencia: 2,16 W (por modulo)

Grados IP: IP65

Temperatura de operación (°C [°F]): -25~60 [-13~140]

#### PÓLIZA DE GARANTÍA

PRODUCTO: Modulo 3 LED's 5050

MODELO: MLM-5050WH

MARCA: MITZU®

## Apéndice E. Motor Bipolar

# Motor Paso a Paso de 4 Hilos 17HS4401

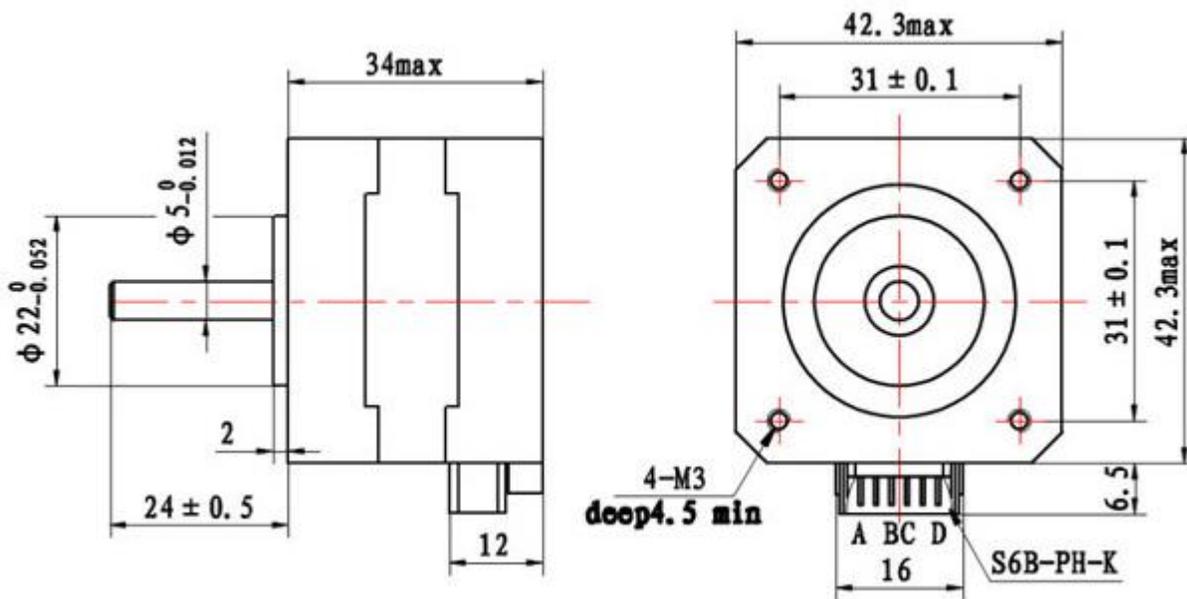


FICHA TÉCNICA	
Voltaje de alimentación mínimo	3 V
Voltaje de alimentación máximo	20V
Corriente sin Carga	1.7 A
Torque máximo	4 kg/cm
Ángulo de pasos	1.8°
No. De pasos por vuelta	200
No. De vías	4
Resistencia de la fase	1.5 $\Omega$
Inductancia de la bobina	2.8 mH
No. De cables	4
Conexiones	Azul: B-; Verde A-; Rojo A+; Amarillo B+
Material	Metálico
Longitud de cable	95 cm
Longitud de eje	20 mm

Diámetro del eje	5 mm
Norma de motor	NEMA-17
Modelo	17HS4401

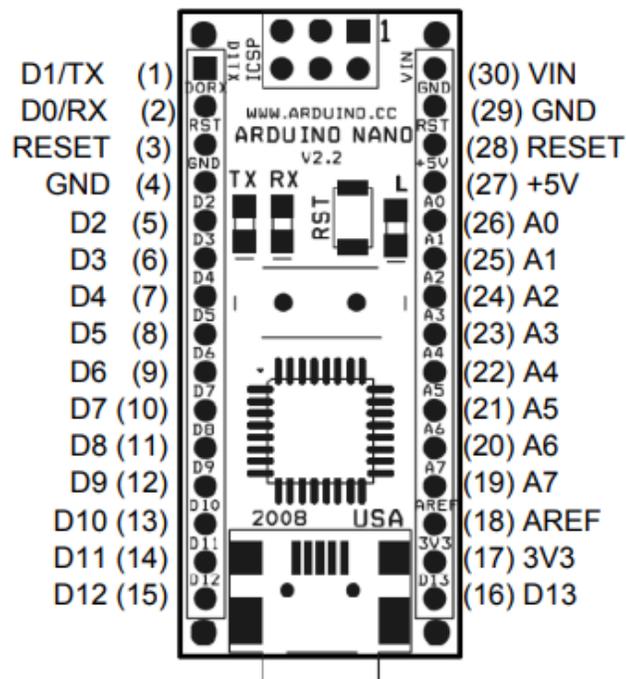
Este motor a pasos NEMA 17 es ideal para proyectos de impresoras 3D y maquinaria CNC gracias a su precisión de giro y facilidad de control. Cumple con el estándar NEMA 17 que define el tamaño del motor (para montaje), por lo que puede usarse en cualquier proyecto CNC o 3D que esté diseñado para usar motores que cumplan con dicho estándar. Se trata de un motor de tipo bipolar, tiene un ángulo de paso de  $1.8^\circ$  (200 pasos por vuelta) y cada bobinado es de 1.7 A, capaz de desarrollar un torque de hasta 4 Kg/cm.

Los motores paso a paso se utilizan generalmente en una variedad de aplicaciones donde el control de la posición exacta es deseable y el coste o la complejidad del sistema de control sea justificable. Aquí se muestran algunas aplicaciones en motores paso a paso a menudo se encuentran: Impresoras CNC, impresora 3D / prototipos de máquinas, cortadoras láser, actuadores lineales, entre otros.



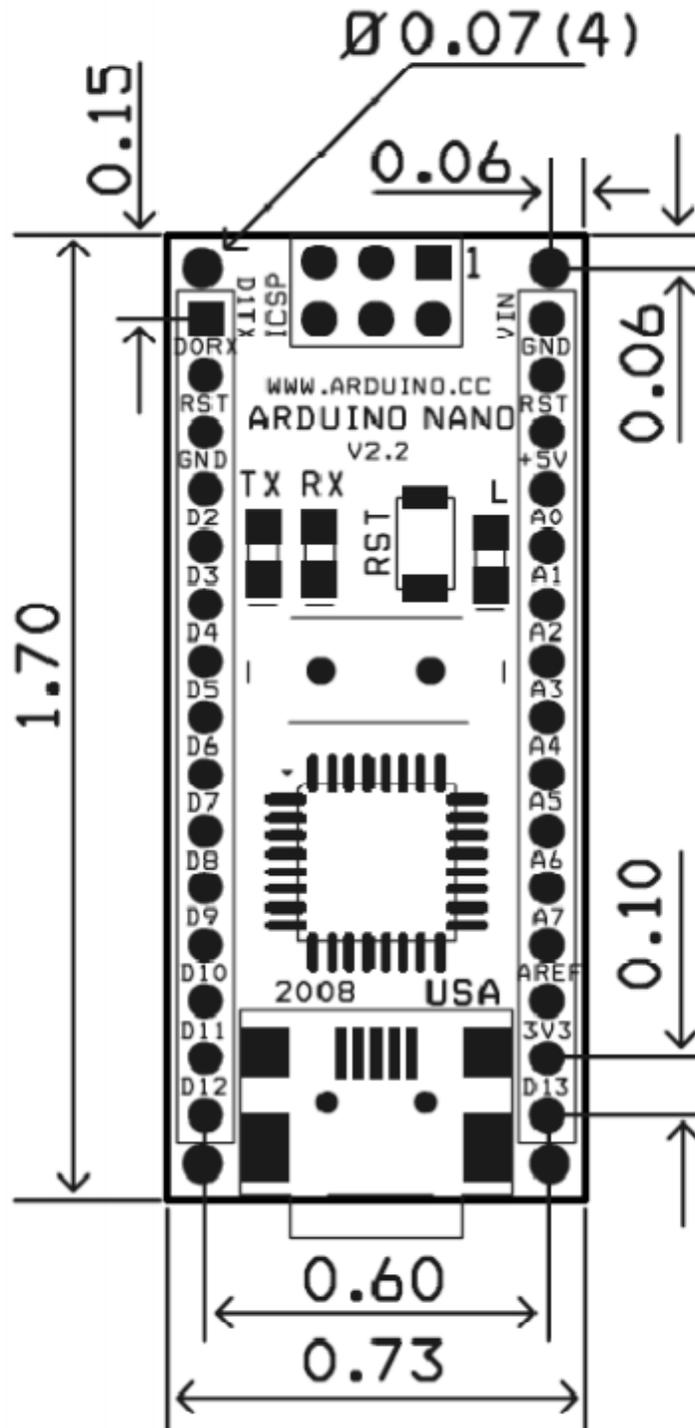
## Apéndice F. Nano Arduino

### Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

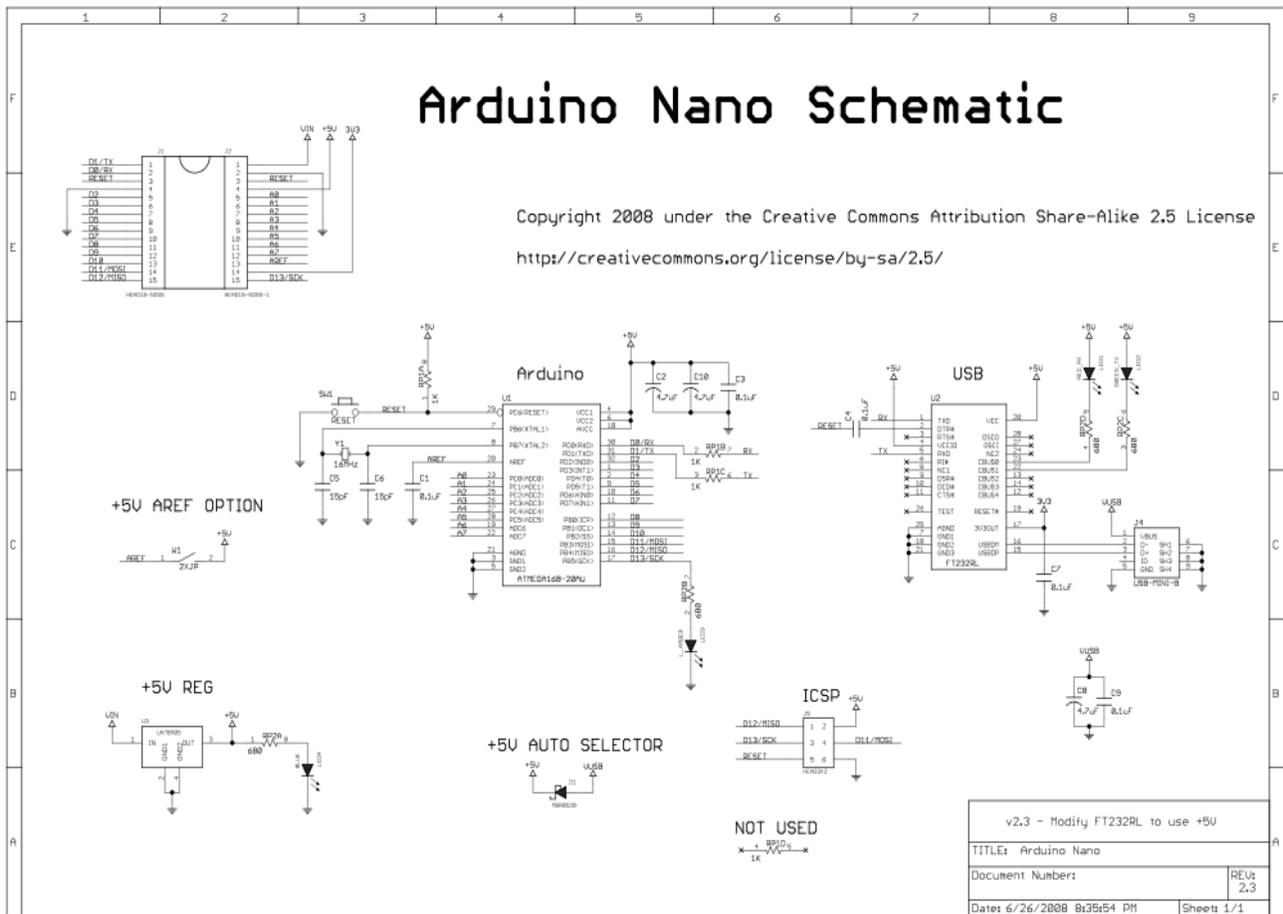
## Arduino Nano Mechanical Drawing



ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES

**Arduino Nano Bill of Material**

Item Number	Qty.	Ref. Dest.	Description	Mfg. P/N	MFG	Vendor P/N	Vendor
1	5	C1,C3,C4,C7,C9	Capacitor, 0.1uF 50V 10% Ceramic X7R 0805	C0805C104K5RACTU	Kemet	80-C0805C104K5R	Mouser
2	3	C2,C8,C10	Capacitor, 4.7uF 10V 10% Tantalum Case A	T491A475K010AT	Kemet	80-T491A475K010	Mouser
3	2	C5,C6	Capacitor, 18pF 50V 5% Ceramic NOP/COG 0805	C0805C180J5GACTU	Kemet	80-C0805C180J5G	Mouser
4	1	D1	Diode, Schottky 0.5A 20V	MBR0520LT1G	ONsemi	863-MBR0520LT1G	Mouser
5	1	J1,J2	Headers, 36PS 1 Row	68000-136HLF	FCI	649-68000-136HLF	Mouser
6	1	J4	Connector, Mini-B Recept Rt. Angle	67503-1020	Molex	538-67503-1020	Mouser
7	1	J5	Headers, 72PS 2 Rows	67996-272HLF	FCI	649-67996-272HLF	Mouser
8	1	LD1	LED, Super Bright RED 100mcd 640nm 120degree 0805	APT2012SRCPRV	Kingbright	604-APT2012SRCPRV	Mouser
9	1	LD2	LED, Super Bright GREEN 50mcd 570nm 110degree 0805	APHCM2012CGCK-F01	Kingbright	604-APHCM2012CGCK	Mouser
10	1	LD3	LED, Super Bright ORANGE 160mcd 601nm 110degree 0805	APHCM2012SECK-F01	Kingbright	04-APHCM2012SECK	Mouser
11	1	LD4	LED, Super Bright BLUE 80mcd 470nm 110degree 0805	LTST-C170TBKT	Lite-On Inc	160-1579-1-ND	Digikey
12	1	R1	Resistor Pack, 1K +/-5% 62.5mW 4RES SMD	YC164-JR-071KL	Yageo	YC164J-1.0KCT-ND	Digikey
13	1	R2	Resistor Pack, 680 +/-5% 62.5mW 4RES SMD	YC164-JR-07680RL	Yageo	YC164J-680CT-ND	Digikey
14	1	SW1	Switch, Momentary Tact SPST 150gf 3.0x2.5mm	B3U-1000P	Omron	SW1020CT-ND	Digikey
15	1	U1	IC, Microcontroller RISC 16kB Flash, 0.5kB EEPROM, 23 I/O Pins	ATmega168-20AU	Atmel	556-ATMEGA168-20AU	Mouser
16	1	U2	IC, USB to SERIAL UART 28 Pins SSOP	FT232RL	FTDI	895-FT232RL	Mouser
17	1	U3	IC, Voltage regulator 5V, 500mA SOT-223	UA78M05CDCYRG3	TI	595-UA78M05CDCYRG3	Mouser
18	1	Y1	Crystal, 16MHz +/-20ppm HC-49/US Low Profile	ABL-16.000MHZ-B2	Abracon	815-ABL-16-B2	Mouser



Released under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>  
 More information: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

## Apéndice G. Bomba Sumergible

### FICHA TÉCNICA MINI BOMBA SUMERGIBLE DE AGUA DC 3V 120L/H



Electrocomponentes © 2019 Desarrollado por Prodesin

Voltaje de Funcionamiento	2.5 – 6 V CD
Intensidad máxima	300 mA
Altura de bombeo Max	40 – 110 cm
Caudal de bombeo Max	80-120 l/h.
Diámetro de salida exterior	7,5 mm.
Diámetro de salida interior	5 mm.
Longitud de cable	20cm.
Tiempo continuo de trabajo	500 horas.

Mini bomba de agua sumergible con un voltaje de funcionamiento de 2,5v a 6v DC, es un producto muy práctico y confiable que te permitirá tener un flujo de hasta 2 litros de agua por minuto (de 80 - 120l/h dependiendo del voltaje de alimentación), sirve para trabajos y proyectos sencillos que requieran de un pequeño caudal. Incluye un motor interno de 0,3A y la carcasa está fabricada de termoplástico resistente a la erosión provocada por el fluido. Es totalmente sumergible. Su instalación es sencilla, solo se necesita colocar un pequeño tubo en la salida de la bomba, alimentarla con el voltaje deseado y sumergirla completamente en el líquido que deseamos bombear. La mini bomba de agua puede tener una gran cantidad de aplicaciones como filtros o flujo de acuarios o peceras pequeñas (máx. 100 litros), cascadas o fuentes, regadores de pasto, etc.