



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**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERO EL ECTRICO ELECTRÓNICO**

P R E S E N T A

VICTOR HUGO SORIANO HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS

M. EN. I. EDGAR ALFREDO GONZALEZ GALINDO



FES Aragón UNAM Cd. Mx., Ingres a 2018

Título de la Tesis: Desarrollo y construcción de una superficie reflectora a base de un diodo emisor de luz de alta potencia para un reactor fotoquímico

Enunciado del Problema:

Hoy en día, los **reactores fotoquímicos** son empleados para uso inmediato en muchos **procesos de síntesis**, tanto en laboratorios de Universidades, laboratorios farmacéuticos, como laboratorios piloto y en el ramo industrial. Generalmente los procesos demoran mucho tiempo y en algunos casos los equipos **consumen mucha energía** para hacer **reaccionar la sustancia a nivel molecular**. Se ha detectado que gran parte del consumo de energía se debe al **tipo de fuente de iluminación**, ya que la mayoría usan **lámpara ultravioleta**, con una **potencia máxima aproximada** de 700 a 1000 Watts. En este trabajo se desarrolló una **superficie reflectora** a base de un **diodo emisor de luz de alta potencia** para un reactor fotoquímico usando **superficies reflectoras de canal tipo Fresnel**, para concentrar fotones en la sustancia química y reducir el tiempo de reacción, esto permitirá el ahorrar energía usando otro **tipo de fuente excitante**.

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo General

1.2 Objetivos Particulares

1.3 Hipótesis

1.4 Fotoquímica

1.5 Reactores Fotoquímicos

2. CAPÍTULO 2: DISEÑO DE UN CIRCUITO DE CONTROL PARA UN LED DE ALTA POTENCIA

2.1 Tipo de fuente luminosa.

2.2 Lámpara Ultravioleta

2.3 Diodo Emisor de Luz de alta potencia

2.4 Diseño de circuito esquemático

2.5 Diseño del circuito impreso

3. CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN REFLECTOR PARA UN REACTOR FOTOQUÍMICO

3.1 Reflectores

3.2 Principio de Huygens y Ley de Snell

3.3 Superficie plano cóncava

3.4 Análisis del ajuste polinomial y el área bajo la curva

3.6 Análisis del trazo de rayos sobre la superficie ajustada

3.7 Variante de la superficie plano-cóncava a una superficie de Fresnel

4. CAPÍTULO 4: DESARROLLO Y CONTROL DEL ARREGLO EXPERIMENTAL

4.1 Diseño del espacio aislado del arreglo experimental

4.2 Arreglo experimental controlado

4.3 Excitación de la sustancia reactiva sin reflector

4.4 Excitación de la sustancia reactiva con reflector

4.5 Resultados y Comparativa

5. CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Objetivos generales:

Optimizar la rapidez de reacción que tiene un reactor fotoquímico por la exposición a una fuente de luz, utilizando un reflector tipo Fresnel el cual concentrará los rayos luminosos en 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 la manipulación de 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 reflectora 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, hasta su variante tipo fresnel.

Diseñar y elaborar el arreglo experimental para la excitación del reactor fotoquímico, a través de un espacio aislado que a su vez estará controlado, y de esta manera obtener los resultados deseados.

Hipótesis

Mediante una sustancia líquida translúcida, tomando en cuenta sus características, podemos generar una superficie de refracción plano-convexo por gravedad para medir su distancia focal, que a su vez nos permitirá utilizar su ecuación para el diseño de una superficie de canal de reflexión tipo Fresnel.

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.

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.

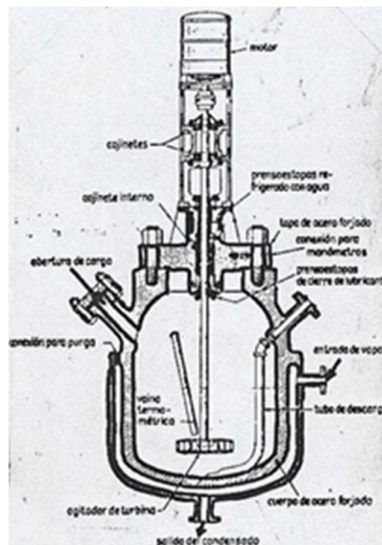


FIGURA 1: REACTOR TIPO DE TANQUE AGITADO

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

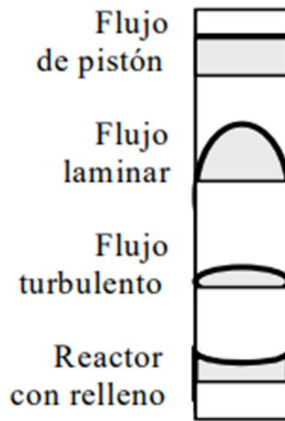


FIGURA 2: REACTOR TUBULAR

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.

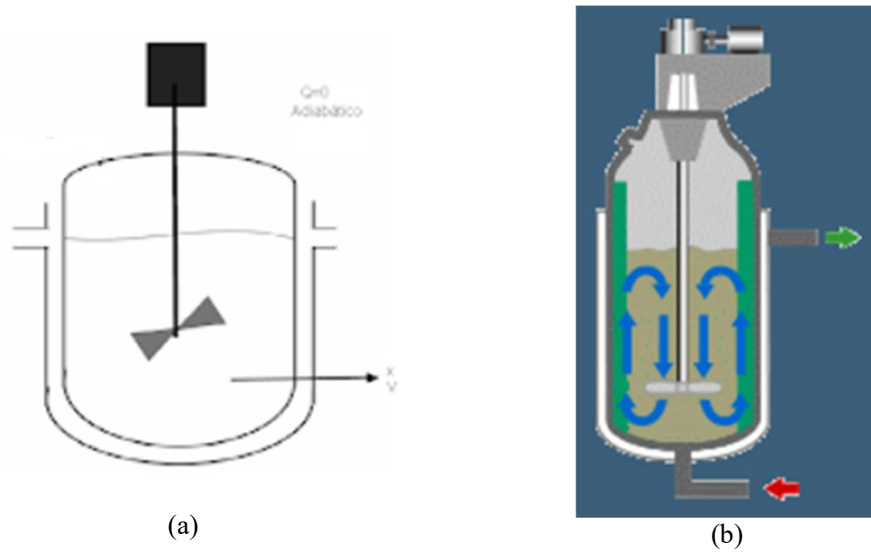


Figura 3. (a) Esquema de un reactor adiabático [2]. (b) esquema de un reactor isotérmico [3].

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[1].

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE UN CIRCUITO DE CONTROL PARA UN LED DE ALTA POTENCIA

Tipo de fuente luminosa.

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 ampollita, 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

Lámpara Ultravioleta

Las lámparas ultravioleta 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 su 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 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 a 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 mm 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].

[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

Diodo Emisor de Luz de alta potencia

Diseño de circuito esquemático

Diseño del circuito impreso

CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN REFLECTOR PARA UN REACTOR FOTOQUÍMICO (se encuentra en los archivos de el Ing. alfredo)

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 4.

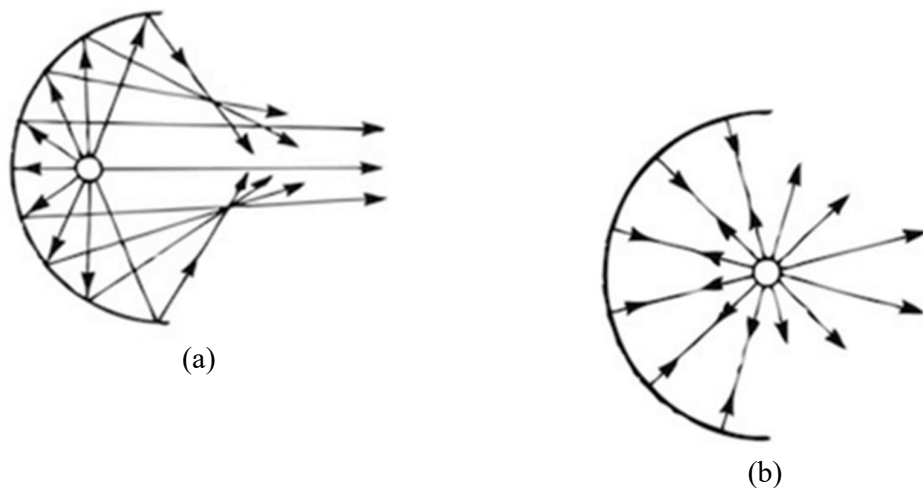


Figura 4. (a) Esquema de Reflector Circular deseado. (b) Esquema de Reflector Circular con fuente en el centro de la circunferencia.

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 luminotecnía, (Figura 5).

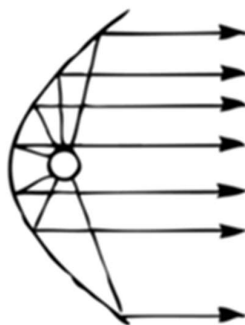


Figura 5. Esquema de un Reflector parabólico

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 6.

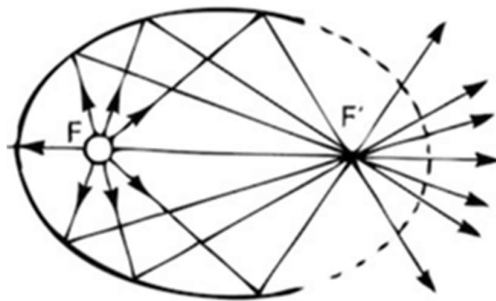


Figura 6. Esquema de un Reflector Elíptico

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° , además de que su superficie debe ser en un acabado mate o con pinturas opacas[4].

FORMAS 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° , pero que su superficie puede tener un diseño diferente si así se llega a requerir, esto dependerá de el 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[4].

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 explica 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. Otra 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. [5]

Principio de Huygens y Ley de Snell

Este principio nos habla de un método geométrico el cuál 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 (figura 7).

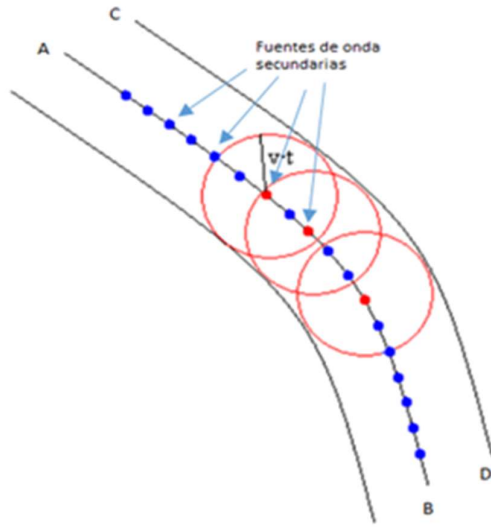


Figura 7. Esquema de frentes de onda

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 [6].

LEY DE LA REFLECCIÓN

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 θ_i , el cual al reflejarse creará un ángulo θ_r , que será de igual magnitud que el primer ángulo formado. Por ello tenemos que:

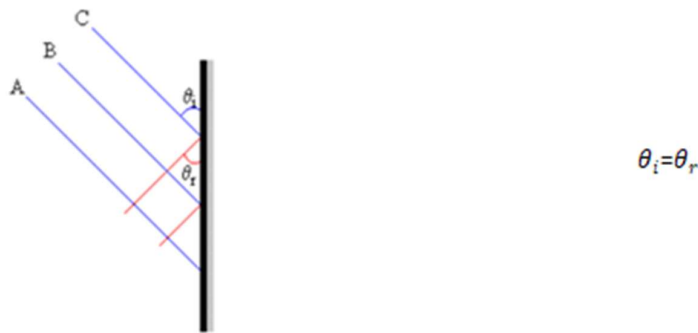


Figura 8. Esquema de reflexión

En la figura 9, 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 θ_i es igual al ángulo θ_r , al formarse los triángulos OPP' y $OO'P'$.

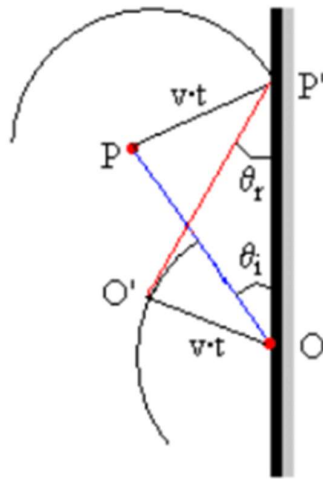


Figura 9. Esquema de igualdad de ángulos $\theta_i = \theta_r$.

Como conclusión tenemos que, al trazar rectas perpendiculares a los frentes de onda incidente y reflejado, vemos que el ángulo de incidencia θ_i es formado por el rayo incidente y la normal a la superficie reflejante (línea azul), y que el ángulo θ_r , formado por el rayo reflejado y dicha normal (línea roja), son iguales[6].

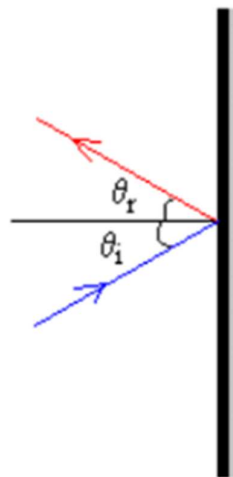


Figura 10. Esquema de ángulo incidente y reflejado

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 11.

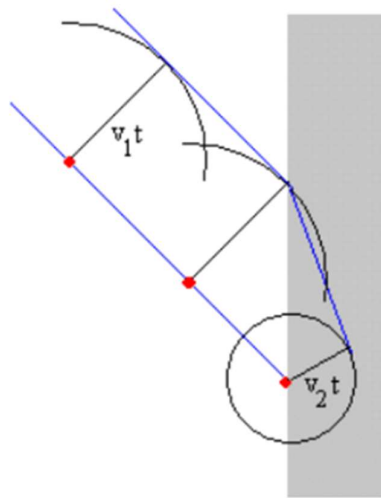


Figura 11. Esquema de propagación del primer medio al segundo medio

El frente de ondas incidente forma un ángulo θ_1 con la superficie de separación, y el frente de ondas refractado forma un ángulo θ_2 con dicha superficie.

En la figura 10 se establece la relación que existe entre los ángulos θ_i y θ_r :

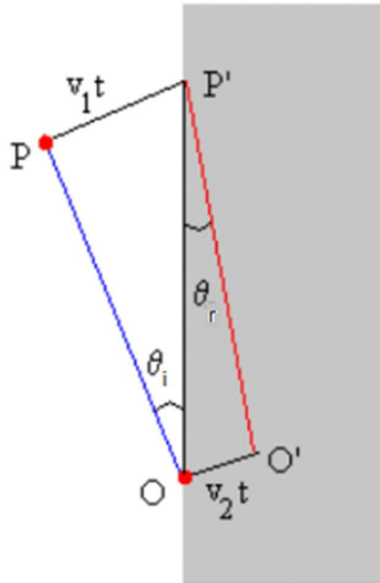


Figura 12. Esquema de ángulos θ_i y θ_r .

- En el triángulo rectángulo OPP' tenemos que:
 $v_1 \cdot t = |OP'| \cdot \text{sen} \theta_i$
 - En el triángulo rectángulo $OO'P'$ tenemos que:
 $v_2 \cdot t = |OP'| \cdot \text{sen} \theta_r$
 La relación entre los ángulos θ_i y θ_r es:
 $v_1 / (\text{sen} \theta_i) = v_2 / (\text{sen} \theta_r)$

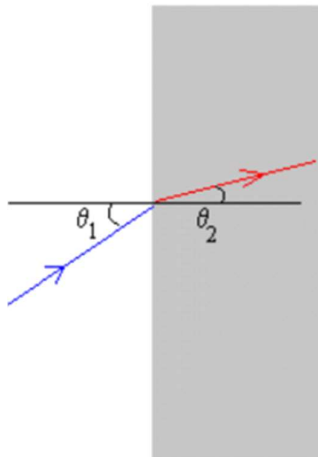


Figura 13. Esquema de la Relación entre los ángulos θ_i y θ_r

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 θ_c , el ángulo de refracción es $\theta_r = \pi/2$. Pero, ¿Qué 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:

$$\text{sen}\theta_c = v_1/v_2$$

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.

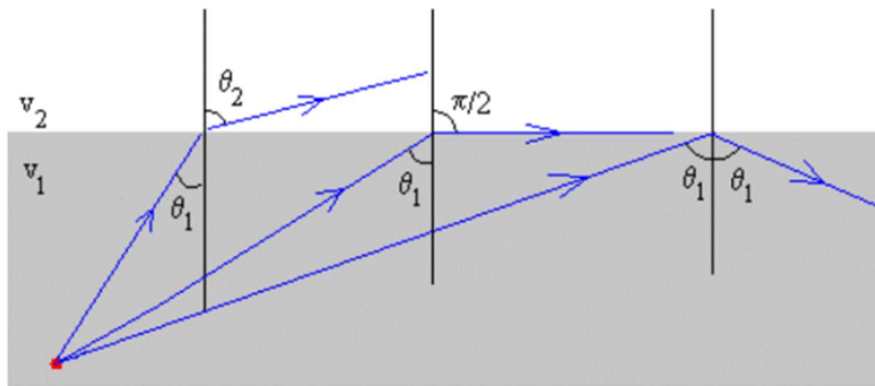


Figura 14. Esquema de refracción

En la figura 14 vemos que a medida que va incrementando el ángulo de incidencia θ_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 [6].

ÍNDICE DE REFRACCIÓN

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:

$$n = c/v$$

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

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$$

En la siguiente tabla tenemos índices de refracción algunas sustancias:

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
Tabla obtenida de Koshkin N. I., Shirkévich M. G. Manual de Física elemental. Edt. Mir (1975), pág. 209	

- [1] 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>[2] Gisbel Bordones. (03/2015). Reactores Batch. 06/2018, de Google Sites, URL: <https://sites.google.com/site/reactoresbatch/reactor-adiabatico>
- [3]Gisbel Bordones. (03/2015). Reactores Batch. 06/2018, de Google Sites URL: <https://sites.google.com/site/reactoresbatch/reactor-isotermico>
- [4] 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>
- [5] 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>
- [6] 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>
- <http://etasto.com/caja-de-cerebro/conocimiento-7830.html>

Superficie plano cóncava

Análisis matemático de la función

Rectificación y obtención del área bajo la curva

Rayos de incidencia

Superficies Reflectoras de canal tipo Fresnel

CAPÍTULO 4: DESARROLLO Y CONTROL DEL ARREGLO EXPERIMENTAL

Diseño del espacio aislado del arreglo experimental

Arreglo experimental controlado

Excitación de la sustancia reactiva sin reflector

Excitación de la sustancia reactiva con reflector

Resultados y Comparativa