

**Universidad de Morelia**

**Facultad de Ingeniería y Tecnología**

**Desarrollo de prototipado de interferómetro de Mach-Zehnder para la  
caracterización de fluidos y biocombustibles.**

**Ing. Gerardo S. Romo Cárdenas**

**Caracterización de fluidos por técnicas interferométricas**

**Lizsandy Torres Sánchez**

Resumen: Los interferómetros ópticos son instrumentos que pueden hacer mediciones muy precisas de objetos utilizando el patrón de interferencia de dos ondas de luz. Estos dispositivos se han utilizado para caracterizar materiales y para estudiar sus propiedades. En esta investigación se propone un estudio para desarrollar un protocolo de caracterización de fluidos para muestras hechas de los mismos componentes a diferentes concentraciones. La metodología consiste en el análisis de muestras de aceite comestible freído a una temperatura constante y con un tiempo variable, y una temperatura variable con un tiempo constante. Este protocolo no destructivo puede ser una herramienta para diversas aplicaciones en la ingeniería y la ciencia.

Palabras clave: interferometría, caracterización de fluidos, interferómetro Mach-Zehnder, técnicas interferométricas, full width at half maximum (FWHM).

# 1. Índice

1. Antecedentes .....	3
1.1.1. Tecnologías en biocombustibles .....	3
1.1.2. Interferometría.....	6
1.1.3. Interferómetro de Mach-Zehnder .....	7
1.1.4. Correlación de imágenes .....	8
1.1.5. Caracterización de fluidos por interferometría.....	8
1.2. Problema .....	10
i. Declaración del problema.....	10
ii. Definición del problema.....	10
iii. Justificación del problema.....	10
1.3. Objetivos .....	10
1.4. Preguntas e hipótesis.....	11
1.5. Limitaciones y delimitaciones .....	11
i. Limitaciones .....	11
ii. Delimitaciones.....	11
1.6. Definición de términos.....	11
2. Aporte del proyecto.....	13
2.1. Generación de muestras .....	13
2.2. Interferómetro Mach-Zehnder .....	13
2.3. Análisis de interferograma .....	16
2.4. Resultados .....	18
3. Conclusiones .....	21
4. Apéndices.....	23
1.1. Materiales .....	23
1.2. LVI Congreso de Nacional de Física 2013 .....	25
1.3. Andrews Research Conference: Early Career Researchers in STEM .....	26
1.4. Modelo construido en AutoCad del interferómetro de Mach-Zehnder utilizado en la experimentación del proyecto.....	27

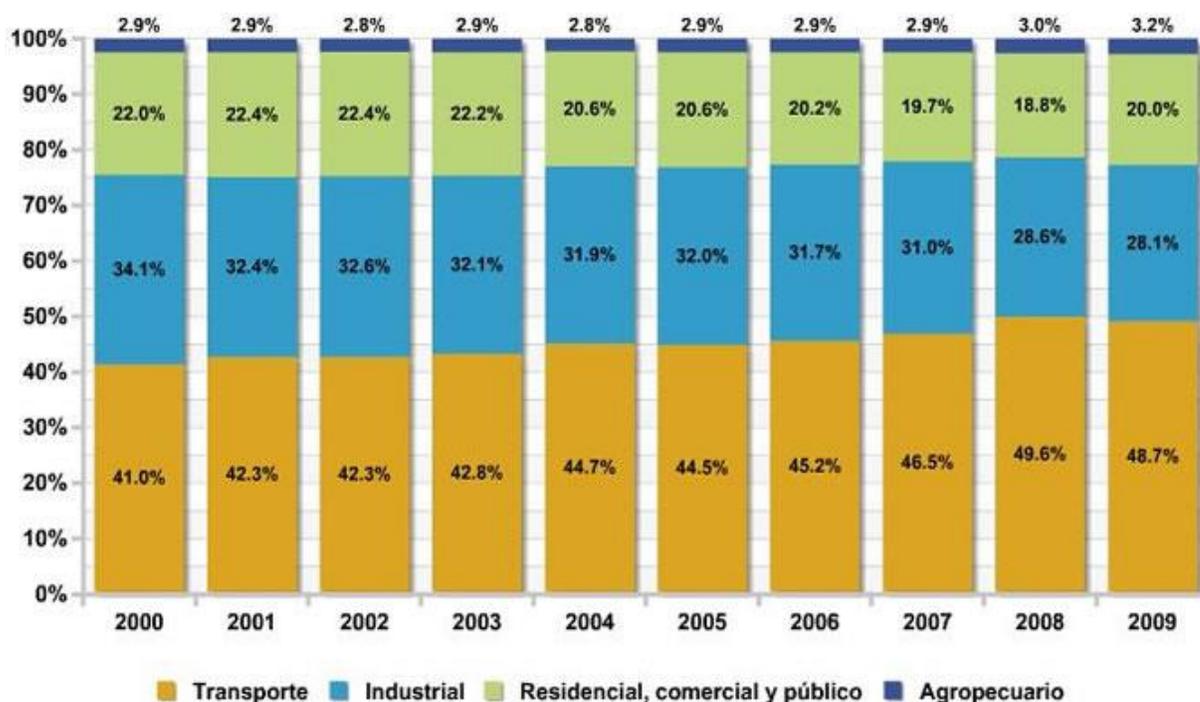
Bibliografía 29

## 1. Antecedentes

### 1.1.1. Tecnologías en biocombustibles

Históricamente sabemos que los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) han sido la principal fuente de energía empleada durante los últimos cien años (Educared, 2009).

Como se puede apreciar en la figura 1. La energía de este origen tiene aplicaciones en tanto en actividades productivas, como cotidianas.

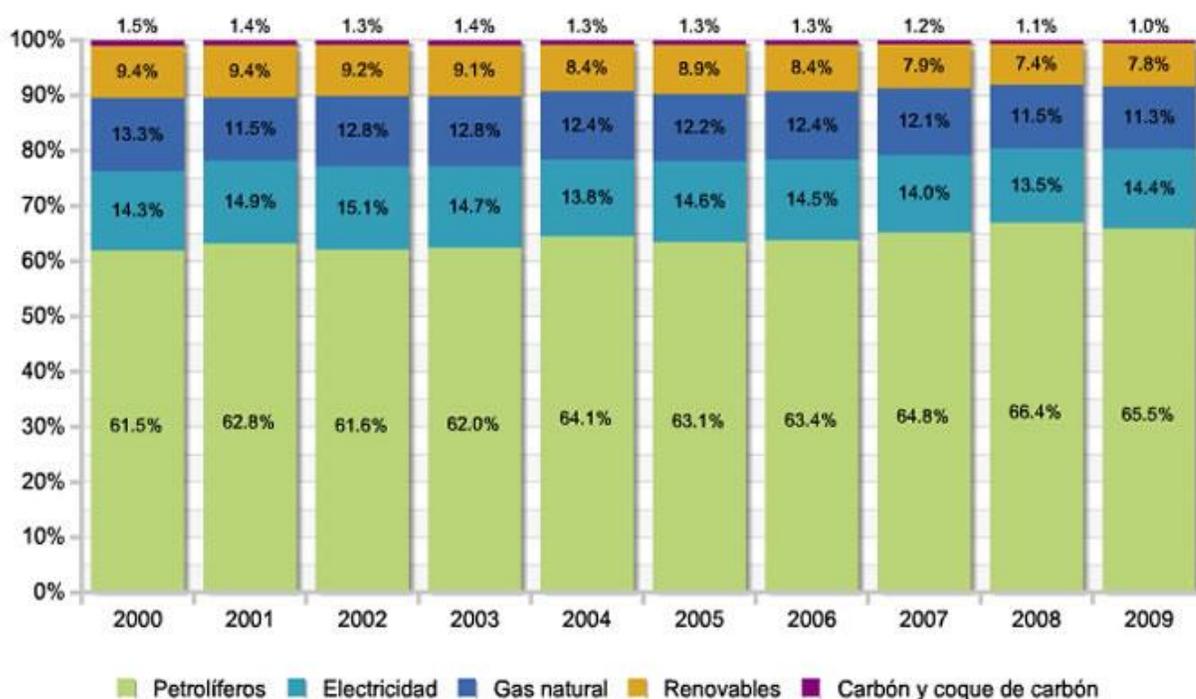


**Figura 1.** Distribución de consumo energético en México<sup>1</sup>.

Sin embargo, éstas presentan dos problemas fundamentales: por un lado son recursos finitos y se prevé el agotamiento de las reservas (especialmente de petróleo) en plazos cercanos, en función de los distintos estudios publicados (al G. , 2007). Por otra parte, la quema de estos combustibles libera a la atmósfera grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, siendo ésta la principal causa del calentamiento global. Por estos motivos, se estudian distintas opciones para sustituir la quema de combustibles fósiles por otras fuentes de energía carentes de estos problemas.

<sup>1</sup> <http://www.sener.gob.mx/portal/Mobil.aspx?id=1791#Ce> (24, Agosto 2012)

Genéricamente, se denomina energía alternativa, o más propiamente fuentes de energía alternativas, a aquellas fuentes de energía planteadas como alternativa a las tradicionales o clásicas. No obstante, no existe consenso respecto a qué tecnologías están englobadas en este concepto, y la definición de "energía alternativa" difiere según los distintos autores. En la definición más estricta, *energía alternativa* sería equivalente al concepto de energía renovable o energía verde, mientras que las definiciones más amplias consideran *energías alternativas* a todas las fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles en estas definiciones, además de las renovables, están incluidas la energía nuclear o incluso la hidroeléctrica (Rodríguez-Vera).



**Figura 2.** Participación de las energías renovables en el consumo de México.

La utilización de biogás para las actividades cotidianas, es algo que ocurre a gran escala en todo el mundo. En países como China y la India, los residuos producidos por las grandes fábricas y hogares, está siendo usado para producir biogás; lo que por otro lado ha ayudado a reducir la contaminación ambiental (Appropriate Technology, 2008).

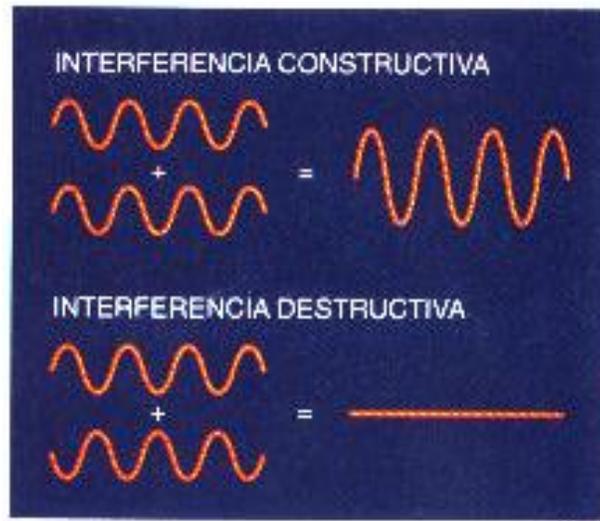
Por otro lado, se sabe que los interferómetros ópticos son instrumentos que pueden hacer mediciones muy precisas de objetos utilizando el patrón de interferencia de dos ondas de luz (Saleh, 1991). Estos dispositivos han sido utilizados para caracterizar materiales y estudiar propiedades de los mismos. Lo que nos puede guiar a buscar una solución al problema de los biocombustibles utilizando herramientas de este tipo.



### 1.1.2. Interferometría

Las técnicas ópticas no destructivas y sus aplicaciones industriales han jugado un papel muy importante en los últimos años. Esto es debido a que se pueden hacer mediciones sin estar en contacto con los objetos a medir. Entre las técnicas ópticas no destructivas más importantes encontramos la interferometría (Educared, 2009).

El principio fundamental de la interferometría consiste en la interacción o interferencia entre dos ondas luminosas que se encuentran una con otra, de forma parecida a lo que sucede cuando se encuentran dos ondas superficiales en el agua. En cualquiera de estos casos, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de la otra, la interferencia es destructiva y las ondas se anulan. Cuando coinciden las dos crestas o los dos valles, las ondas se refuerzan mutuamente, la interferencia es constructiva y las ondas se suman. En la figura 3 se puede observar éste fenómeno.



**Figura 3.** Principio de superposición. Cuando se presenta la interferencia las ondas se suman constructiva o destructivamente.

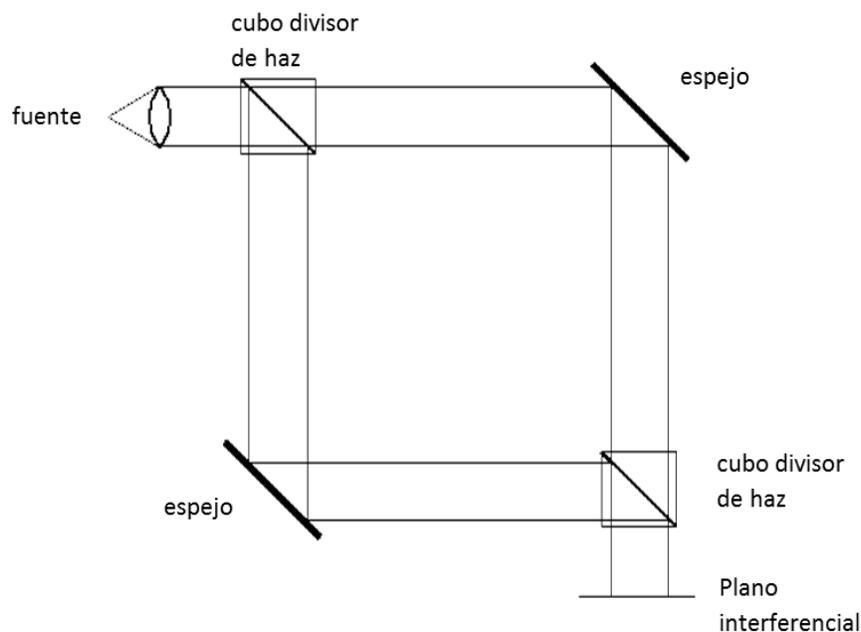
Los interferómetros pueden dividirse en dos clases, (Ditchburn, 1982) (Dresselhaus & Thomas, 2001):

- a. Los basados en la división del frente de onda: En este caso se usan porciones del frente de onda primario bien sea directamente como fuentes para emitir ondas secundarias o conjuntamente con sistemas ópticos para producir fuentes virtuales de ondas secundarias. Luego se hace que se encuentren estas ondas secundarias para interferir. Como ejemplo de esto se pueden mencionar el biprisma de Fresnel, los espejos de Fresnel y el espejo de Lloyd.

- b. Los que se fundamentan en la división de la amplitud: En este caso la onda primaria se divide en dos segmentos los cuales viajan por diferentes caminos antes de recombinarse e interferir.

### 1.1.3. Interferómetro de Mach-Zehnder

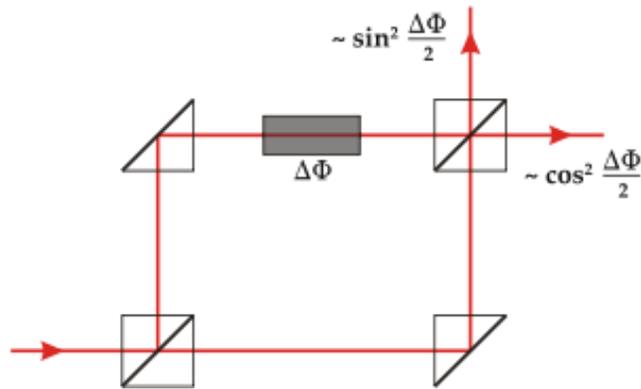
El interferómetro de Mach-Zehnder fue desarrollado por los físicos Ludwig Mach y Ludwig Zehnder. Este interferómetro es de clase por división de amplitud, donde la luz entrante se divide por medio de superficies semireflectantes en las que parte de la luz se refleja y parte se transmite; estas partes vuelven a juntarse mediante disposiciones adecuadas de espejos y prismas, por ser coherentes interfieren (Ditchburn, 1982). Como se muestra en la Figura 4, utilizados divisores de haz para dividir y recombinar los haces, y tiene dos salidas, que pueden ser enviadas a fotodetectores.



**Figura 4.** Esquema de Interferómetro de Mach-Zehnder.

Su ventaja principal es que permite interponer elementos en uno de los haces sin que el otro sea afectado, y de esta manera se altera la diferencia de camino óptico, cambiando el patrón de interferencia debido a un cambio de fase ( $\Delta\Phi$ ) en el campo eléctrico de la luz que viaja en el medio a analizar.

De tal forma que esto permite analizar el efecto de algún material “desconocido” posicionado en uno de los brazos del interferómetro, dando así cabida a su análisis.



**Figura 5.** Modelos de interferómetro de Mach-Zehnder con muestra a analizar.

#### 1.1.4. Correlación de imágenes

La correlación de imágenes tiene como objeto la localización de forma automática de un punto-objeto en una imagen. La correlación también llamada “matching” explica el proceso de identificación automática de los puntos homólogos en imágenes en digitales (Hech, 2000).

Lo cual permitiría hacer una comparación y asociación de una imagen en particular, o un interferograma en nuestro caso, contra una base de datos obtenida de un estudio profundo de distintas muestras de biogás. Implicando así una similitud entre las características e información incluida en las imágenes.

Permitiendo obtener información relevante acerca de la capacidad combustible del biogás, así como de su composición y hasta de los procedimientos necesarios para la optimización del biodigestor.

#### 1.1.5. Caracterización de fluidos por interferometría

Las mediciones por medios ópticos son ampliamente utilizadas en la mayoría de las áreas de ingeniería (Michael Bass, 1995). Dentro de una variedad de técnicas ópticas encontramos la interferometría (Hariharan, 2003), la cual básicamente es el uso de la interacción de la luz con la luz. Con la interferometría se pueden identificar pequeñas variaciones en el material a través del cual viaja una parte de la luz.

Durante el paso de los años se han construido sistemas interferométricos para aplicaciones de caracterización, en particular de fluidos, como la experimentación realizada y llevada al congreso internacional anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, donde se explica el método de caracterización por métodos

interferométricos utilizando los interferómetros Michelson y Mach Zehnder; el dispositivo creado con el fin de determinar la temperatura en fluidos. La detección de las propiedades y temperaturas se adquirieron con el análisis de interferogramas obtenidos del dispositivo hecho (Rodríguez M & Leal Garza, 2009).

La caracterización por interferometría dispone de una técnica de medida precisa, fiable eficiente y que se ajusta a los requerimientos experimentales gracias a los diferentes modelos de interferómetro que se pueden construir. Tal como se mostró en el experimento de medir deflexiones de acuerdo a una temperatura aplicada a estas, con la adquisición de los datos de la interferencia, usando el interferómetro de Michelson, se obtuvo el comportamiento dinámico de la membrana (Duarte E., Fernández Morales, & Moreno Sereno, 2007).

## **1.2. Problema**

### **i. Declaración del problema**

La propuesta ataca la limitante conocida de los biodigestores, donde la variabilidad latente de la reacción continua, debido a los insumos y manipulación implícita requerida para su producción (Karakashev & Bastone, 2005) genera un gas combustible con distintas energías caloríficas potenciales, donde ésta variabilidad puede llegar a comprometer su aplicación.

### **ii. Definición del problema**

Diseño de un instrumento óptico que por medio de la interacción de un haz láser con el gas producido por reacciones anaeróbicas, se caracterice, no destructivamente, el contenido de la composición del biogás en línea con su producción, que se correlacionará con su contenido energético. Por medios computacionales, se llegarán a conocer parámetros de reacción necesarios que mejoren el biogás combustible obtenido y por ende, el desempeño del biodigestor.

### **iii. Justificación del problema**

Los problemas ambientales relacionados al desarrollo económico y social están siendo, desde hace algunas décadas, tomados cada vez más en cuenta. El sistema de producción industrial actual nos ha llevado a una situación crítica que invita a tomar medidas inmediatas para revertir esta tendencia (Ecoportal, 2008).

Donde la caracterización multifactorial de estos problemas, hace necesarias soluciones complejas y multidisciplinarias con la intención de resolver este tipo de problemáticas. De ahí que proponemos un proyecto de desarrollo tecnológico y multidisciplinario que permita hacer del biogás una fuente de energía renovable y viable en distintos espacios de consumo energético, ya sean en áreas domésticas, agrícolas y de producción industrial.

## **1.3. Objetivos**

1. Diseñar y construir un interferómetro para el estudio de diferenciación de fluidos y coloides basados en los mismos componentes a diferente concentración.

## 1.4. Preguntas e hipótesis

Se sabe que existe variabilidad de contenido energético en el biogás, las implicaciones energéticas de su uso y las técnicas de medición de estos parámetros, lo que nos lleva al siguiente cuestionamiento.

¿Cómo hacer pruebas no destructivas para caracterizar la diferencia en los componentes de fluidos y coloides?

## 1.5. Limitaciones y delimitaciones

### i. Limitaciones

- a) No existen condiciones apropiadas en el laboratorio de optoelectrónica para la realización de algunos experimentos y requerirá hacer ajustes físicos en el espacio del mismo para la obtención de datos experimentales.
- b) Solo se cuenta con un láser HeNe para llevar a cabo 3 proyectos distintos.

### ii. Delimitaciones

- a) No existe una tecnología comercial que dé respuesta al planteamiento establecido en esta propuesta. Por lo que no existe un parámetro de comparación de desempeño.
- b) En particular con respecto a la tecnología en biogás. Existe la necesidad de caracterizar el producto obtenido de los biodigestores para lograr transferir esta tecnología a uso doméstico (Poloncarzova, 2011).

## 1.6. Definición de términos

- Interferometría: Técnica que consiste en combinar la luz proveniente de diferentes receptores para obtener una imagen de mayor resolución. El principio físico es que dos ondas de luz que coinciden en fase se amplifican mientras que dos ondas en oposición de fase se cancelan, esto permite realizar mediciones de superficie mediante haces de láser.
- Interferómetro: Instrumento que emplea la interferencia de las ondas de la luz para medir con gran precisión longitudes de onda de la misma luz.

- Interferograma: Representación gráfica de la transformada de Fourier de una curva obtenida.

## 2. Aporte del proyecto

### 2.1. Generación de muestras

Para generar muestras de fluidos de misma composición a distinta concentración, se prepararon muestras de aceite para insertarlas en el interferómetro. Estas muestras fueron proporcionadas por la escuela de QCB (químico clínico biólogo) de la universidad de Montemorelos, estas muestras fueron de aceite comestible freído a diferentes temperaturas con un tiempo constante y a diferentes tiempos con temperatura constante. A continuación en la tabla se muestra los dos grupos de aceites utilizados en la experimentación.

**Tabla 1.** Grupos de aceite comestible utilizados en la experimentación.

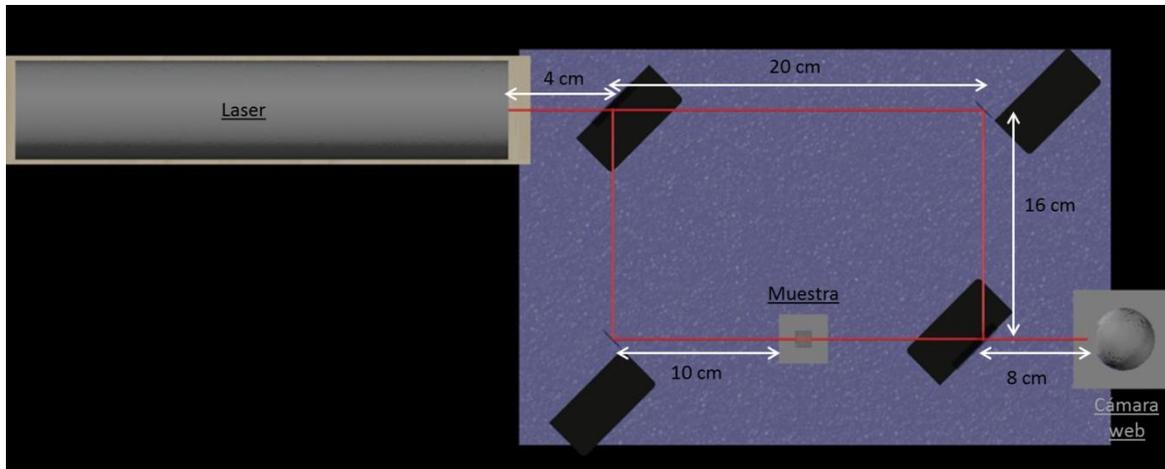
GRUPO A		GRUPO B	
Temperatura constante	Tiempo variable (minutos)	Tiempo constante	Temperatura variable (Celsius)
180° Celsius	20	20 minutos	100°
	40		120°
	60		140°
	80		160°
	100		180°

### 2.2. Interferómetro Mach-Zehnder

Se construyó un interferómetro Mach-Zehnder, los materiales utilizados para el análisis de aceites fueron principalmente dos espejos y dos divisores de haz (laser optics kit 45-600, marca: Industrial Fiber Optics).

También se utilizó una cámara web (COM-11, marca: Steren) para capturar la imagen a la salida de la interposición de dos haz de luz. A esta se le tuvo que retirar el lente para que solo se pudiera capturar los colores primarios en términos de video, es decir solo quedó el CCD de la cámara web. La capacidad de resolución de la cámara es de 300,000 pixeles, con esto la lente recibe la luz percibida y el circuito dentro de la cámara web convierte esas intensidades de luz captadas en voltajes, lo que permite digitalizar la imagen captada.

El haz de luz utilizado para analizar cada muestra de aceite fue de un láser HeNe utilizado, de 10mW a 632.8nm (05-LHP-141-15, marca: Melles Griot).

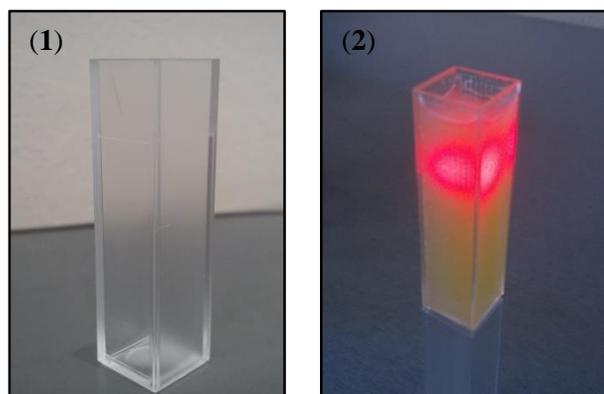


**Figura 6.** Diseño y medidas de interferómetro de Mach-Zehnder construido.

En algunas mediciones se utilizó una cubierta para bloquear la luz ambiental como protector sobre el interferómetro de Mach-Zehnder ya que la luz ambiental afectaba a la reflexión en los espejos y divisores de haz y así evitar partículas no deseadas en el aire.

La construcción del interferómetro se llevó a cabo en un lugar estable, con lo menos posible de ruido ni vibraciones, como tradicionalmente está constituido un interferómetro de Mach-Zehnder así mismo se construyó para las pruebas con aceite, dos divisores de haz y dos espejos, el láser a la entrada y en la salida una cámara web conectada a una computadora para la adquisición de imágenes.

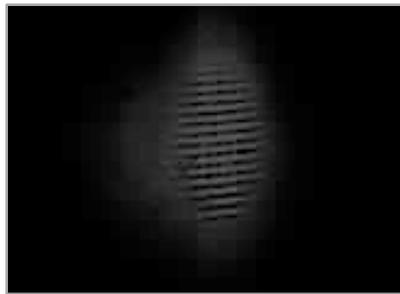
Para colocar las pruebas en el interferómetro se utilizó las cubetas de espectrofotómetro de 12.5x12.5x45mm (de 2.5ml, cubeta-uv macro, marca: BRAND®). Para cada prueba de aceite diferente se utilizaba una cubeta totalmente limpia, para evitar un mal resultado e interferencia cuando el haz del láser cruzaba cada prueba de aceite.



**Figura 7.** Cubeta de espectrofotómetro vacía utilizada en análisis de aceite (1). Cubeta de espectrofotómetro con contenido de aceite y un haz de luz proveniente del láser atraviesa la muestra de aceite (2).

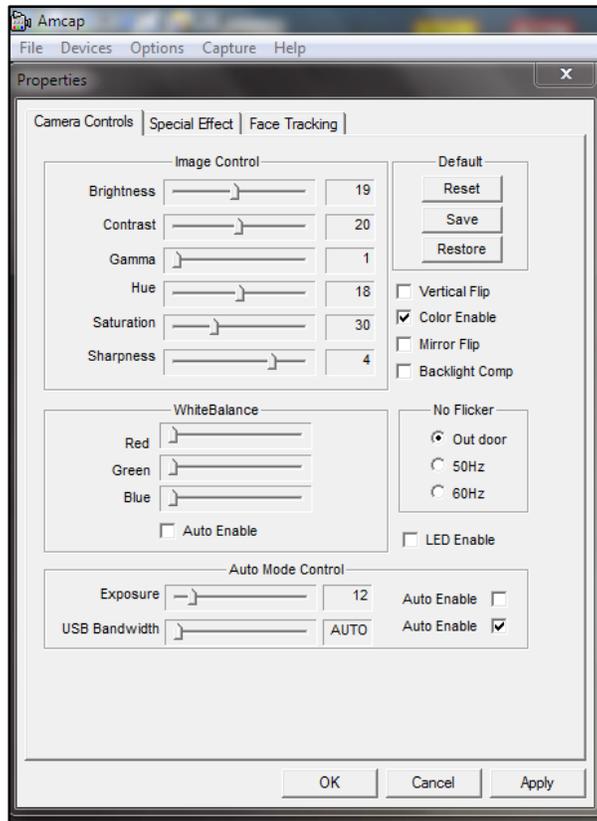
Por otro parte en la fase de captura de interferogramas, se utilizó la cámara web para captar la interposición del haz de luz a la salida del interferómetro. Para que la información fuera procesada se utilizó una computadora que contenía el software Amcap conectada la cámara web a su interfaz y con ello se capturaron los interferogramas salientes por cada muestra de aceite analizada.

Amcap es un software que permite realizar capturas de video de forma, recogiendo la señal de imagen del dispositivo conectado a la computadora. Se puede modificar el color y el contraste para manipular la imagen y esta sea mejor apreciada. En la figura 8 se muestran los parámetros de Amcap con los cuales se tomaron las medidas de cada muestra de aceite.



**Figura 9.** Interferograma obtenido por la cámara web (muestra de aceite de 180°C/20min).

La adquisición de imágenes de cada grupo de aceites se tomó dos veces, es decir, se analizó la prueba y a la misma prueba se le hizo dos capturas con el software Amcap para cerciorarse de que las mediciones y los promedios que se obtendrían fueran consistentes.



**Figura 9.** Parámetros del software Amcap para la toma de muestras de aceite.

### 2.3. Análisis de interferograma

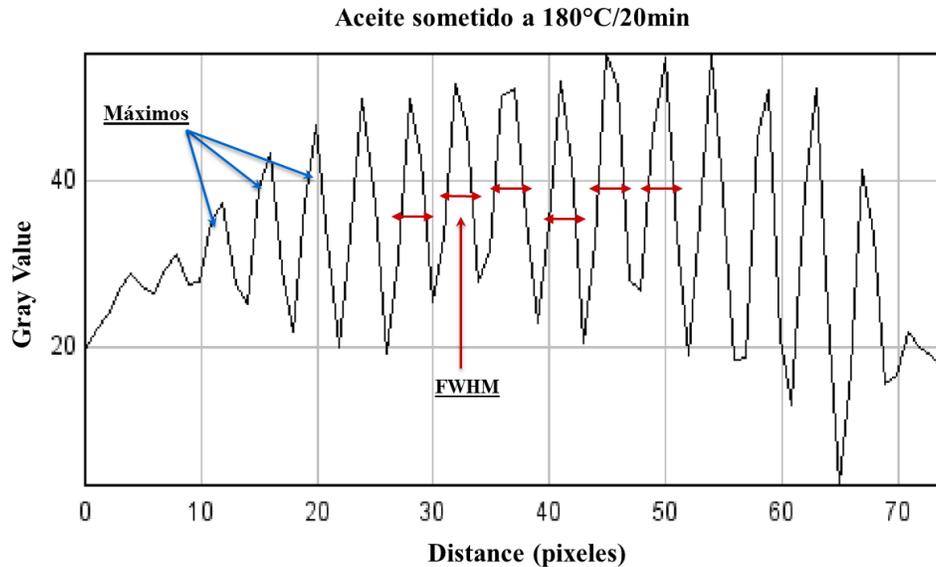
Para el procesamiento de la imagen y adquisición de los interferogramas se utilizó el software ImageJ con él se adquieren las gráficas para el análisis automático o manual de cada interferograma.

ImageJ es un programa de procesamiento de imágenes programado en Java. Mide el área, la media, desviación estándar, mínimos y máximos de la selección o la totalidad de la imagen. Puede medir longitudes y ángulos. Utiliza unidades de medida reales, tales como milímetros y puede generar histogramas y gráficos de perfil (Collins, 2007).

Con el software ImageJ se hizo el análisis para la adquisición de los perfiles de interferogramas, a cada interferograma que captó la cámara web se le trazó una línea horizontal con respecto a las ondulaciones de los píxeles y se generó con ella un perfil de intensidad de interferograma donde representa la relación entre el valor de gris y la distancia entre píxeles.

Se tomó la medición del ancho total a la mitad del máximo (FWHM) de cada máximo en la gráfica (interferograma).



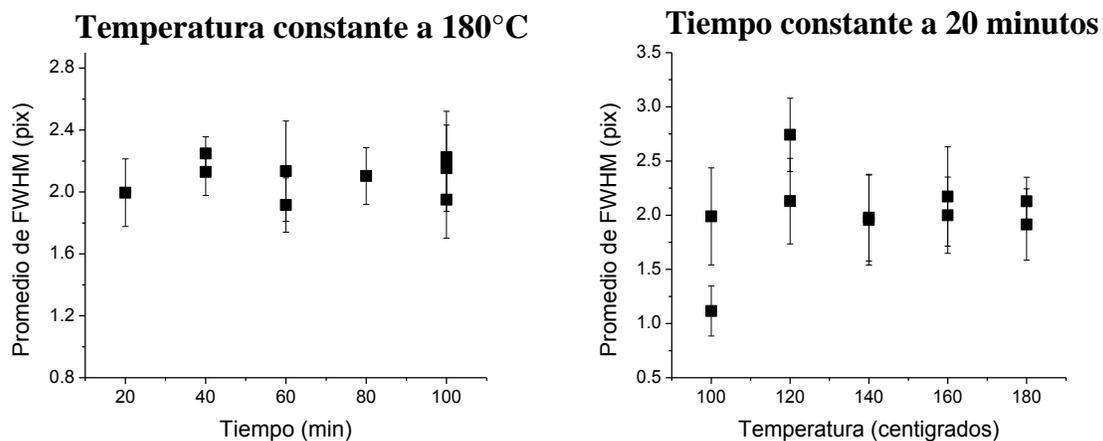


**Figura 11.** Representación de la composición de un perfil de intensidad de interferograma.

## 2.4. Resultados

Se observó que el promedio resultante obtenido de cada uno de sus FWHM en el grupo A lleva una forma casi lineal, lo que no hace pensar que el tiempo no afecta tanto el comportamiento de composición del aceite cuando se mantiene a cierto grado de temperatura en freír.

En los resultados del grupo B se nota un ligero modelo exponencial a la cual éste se eleva, en 100°C y 120°C dándonos cabida a nuevos estudios para comprender el comportamiento molecular del aceite en estos rangos comprendidos.



**Figura 12.** Gráficas resultantes del Grupo A y B respectivamente.

Posteriormente de obtener resultados en las dos respectivas gráficas se hizo una prueba t-Student para determinar si la hipótesis de una variación del grupo B en 100 y 120 grados centígrados es cierta.

La prueba t-Student se utiliza para obtener resultados en contrastes de promedios de muestras en poblaciones que tienen una distribución normal, donde la estadística resultante resuelve si una hipótesis establecida es derogada o cierta (de la Torre, 2007) .

El análisis se realizó con los datos de promedio de FWHM (ancho total a la mitad del máximo) de ambas variables, 100°C y 120°C, los datos que arrojó el software (Origin) se muestra en la figura 9.

El resultado fue que la hipótesis anterior es cierta, es decir, hay probabilidad del 95% (0.05, como se muestra en la figura 9), de la existencia y variación en la composición molecular de ambos aceites, de 100°C y 120°C del grupo B. Esto nos da cabida a estudios posteriores para el análisis específicamente en esa área específica del grupo B, como su evolución, cambios y/o aparición de nuevos compuestos en el aceite.

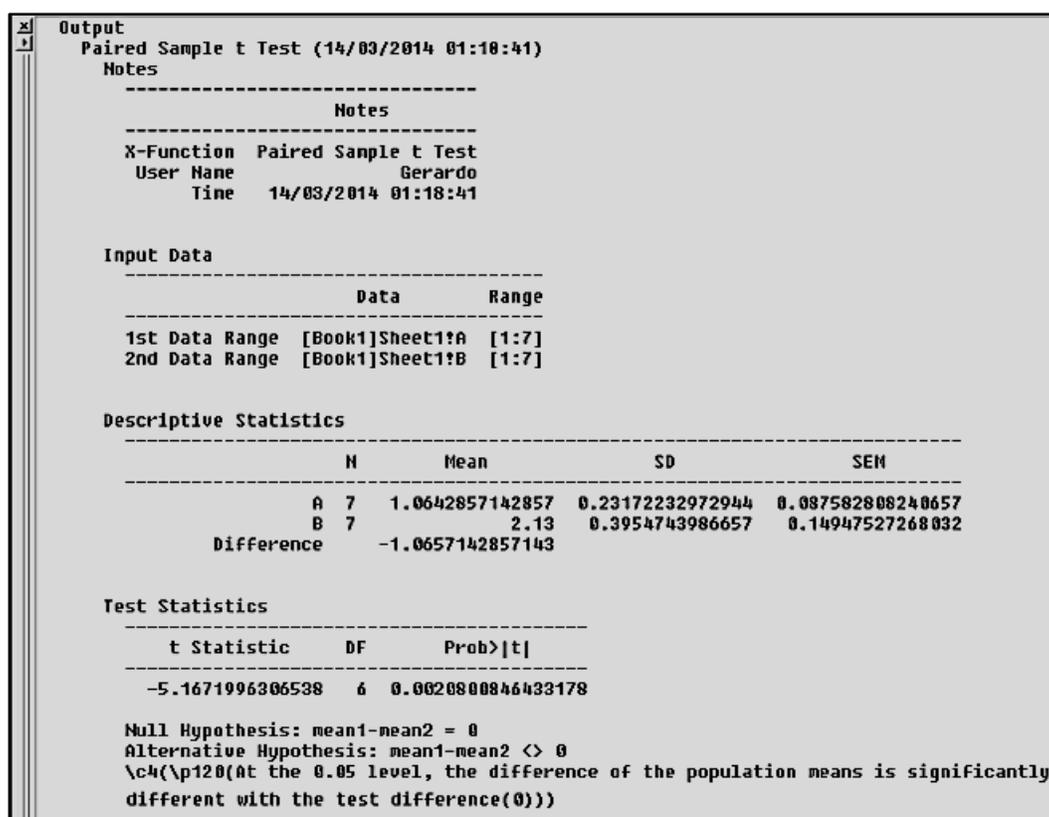


Figura 13. Resultado de la prueba t-Student.

La realización de este ejercicio nos comprueba la viabilidad de usar esta técnica para caracterizar diferencias en fluidos de composición similar a distintas concentraciones sin realizar pruebas destructivas o manipulación de la muestra, solo induciendo un haz de luz a través de una muestra de fluido.

Para trabajos futuros con estos datos se podrá hacer un análisis mediante métodos matemáticos que se relacione con el análisis por interferometría y obtener graficas de correlación.

### 3. Conclusiones

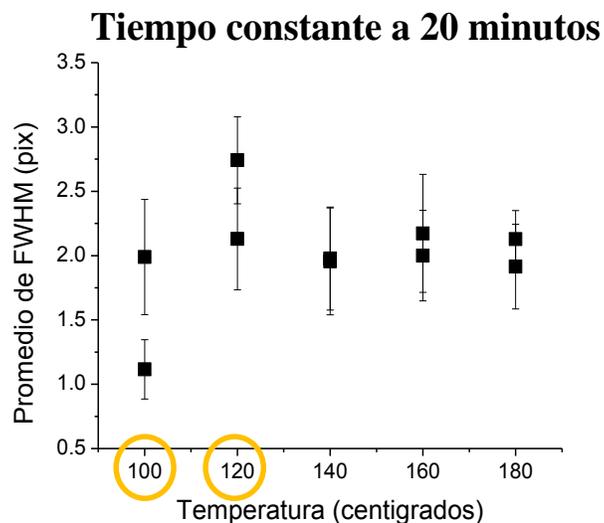
Al concluir con la fase de experimentación del proyecto de caracterizar los grupos de aceites de los grupos A y B con un interferómetro Mach-Zehnder construido, se da por conclusión que ciertamente existe una herramienta eficiente y fiable para la caracterización de fluidos por técnicas interferométricas para fluidos basados en mismos componentes a diferentes concentraciones. A pesar de los artesanal del diseño del prototipo utilizado.

Este método ofrece analizar fluidos sin afectar su composición o entrar en contacto con ella, así como evita desperdiciar, dañar o modificar la sustancia que se toma por muestra evitando realizar pruebas destructivas, tal como se requiere para la caracterización de biogás donde es de suma importancia que no se desperdicie el contenido producido, sino que con un análisis interferométrico se pueda conocer el contenido de la composición del biogás o su contenido energético.

Las recomendaciones para la correcta integración de este aporte a la investigación mayor es proveer de una mesa holográfica para montar el interferómetro y obtener la mayor estabilidad del interferómetro Mach-Zehnder; obtener de un espacio acondicionado para el análisis de las muestras, donde se evite el ruido y luz ambiental.

En cuanto al análisis la recomendación es desarrollar un software para analizar los interferogramas de manera automática, ahorrando tiempo y desarrollando el proceso de análisis para la investigación mayor.

En el ámbito de los resultados obtenidos en los aceites comestibles freídos de los grupos A y B, se sugiere la realización de un estudio meticoloso en el grupo B de aceites.



**Figura 14.** Grupo B de aceites.

Cuando el aceite se somete a una temperatura de 100°C y 120°C con un tiempo constante de 20 minutos, los resultados en la gráfica del grupo B muestran un cambio en esas dos variables de temperatura.

Estos resultados arrojados dan a conclusiones preliminares que la composición de aceite está variando. Y como conclusión final, después de realizar una prueba t-Student, donde la hipótesis que se plantea es que puede existir un cambio significativo en la composición de los aceites sometidos a 100°C y 120°C cada uno, efectivamente el resultado de la prueba t-Student nos dice que existe un cambio notorio

Lo cual se sugiere para estudios posteriores ampliar el análisis dentro de las dos variables 100°C y 120°C para determinar que componentes están cambiando y/o produciéndose.

## 4. Apéndices

### 1.1. Materiales

#### \* Cubetas desechables de 2.5 ml macro

- Marca: BRAND
- Características: - Cubetas de polimetacrilato de metilo (PMMA)
  - rango de aplicación: desde 300 nm hasta 900 nm. Desviación estándar a 320 nm: Delta +/-0,004 unidades de absorción.
  - Marca de flecha para indicar la dirección de transmisión
  - Paso óptico de 10 mm, claro y limpio
  - Paredes en bajorrelieve proporcionan protección contra rayaduras Externas:
  - Dimensiones: 12.5 x 12.5 x 45 x 1mm
  - Pared: Cubeta macro: 10x35 mm



#### \* Cámara web

- Marca: Steren
- Modelo: COM – 111
- Resolución: 320 x 240 (300 pixeles)
- Entrada: 5 Vcc



#### \* Laser He-Ne

- Marca: Melles Griot
- Modelo: 05-LHP-141 Head Laser 10mW Red HeNe
- Especificaciones:
  - ~ Longitud de onda: 632,8 nm
  - ~ Potencia de salida: 10 mW
  - ~ Cociente de la polarización: Aleatorio



**\* Kit Laser Optics Lab**

- Marca: Industrial Fiber Optics
- Modelo: 45-600
- Componentes:
  - El kit incluye:
    - 3 lentes
    - 4 espejos
    - 1 divisor de haz recubierto
    - 1 prisma equilátero
    - esparcidor de haz óptico
    - holograma de transmisión
    - la difracción de mosaico
    - rejilla de difracción
    - guía de luz de fibra óptica
    - par de placas de interferencia de vidrio, de polarización
    - filtros de color
  - Un sistema de banco de la óptica que consiste en:
    - portadores de componentes metálicos
    - mesa óptica de acero
    - bandas magnéticas
    - Manual de usuario



## 1.2. LVI Congreso de Nacional de Física 2013

Proyecto aprobado para ser presentado como cartel en el congreso nacional de física 2013 en San Luis Potosí, México.

México, D.F. 17 de Agosto de 2013

Departamento de Física, 2o piso Facultad de Ciencias UNAM, CP 04510 Ciudad Universitaria México, D.F.

Gerardo Romo Cardenas  
Fac. de Ingeniería, Universidad de Morelos

Me es grato comunicarle que el trabajo con número de registro 0133 y cuyo título es:

“Estudio y desarrollo de caracterizador de fluidos y biocombustibles por técnicas interferométricas”,

de los autores:

Gerardo Romo Cardenas  
Gener Avilés Rodríguez  
Juan Carlos Zúñiga Enriquez  
Lisandy Torres  
Alex Muñoz

ha sido aceptado para su presentación en el LVI CONGRESO NACIONAL DE FÍSICA, que se celebrará en San Luis Potosí, S.L.P., del del 28 de octubre al 1 de noviembre de 2013, posteriormente recibirá fecha y hora de su sesión.

ATENTAMENTE

The logo for the Sociedad Mexicana de Física (SMF) features the letters 'SMF' in a bold, green, sans-serif font. A stylized green waveform or signal line is superimposed over the letters.

Ma. Luisa Marquina Fábrega.  
Comité Organizador  
LVI Congreso Nacional de Física

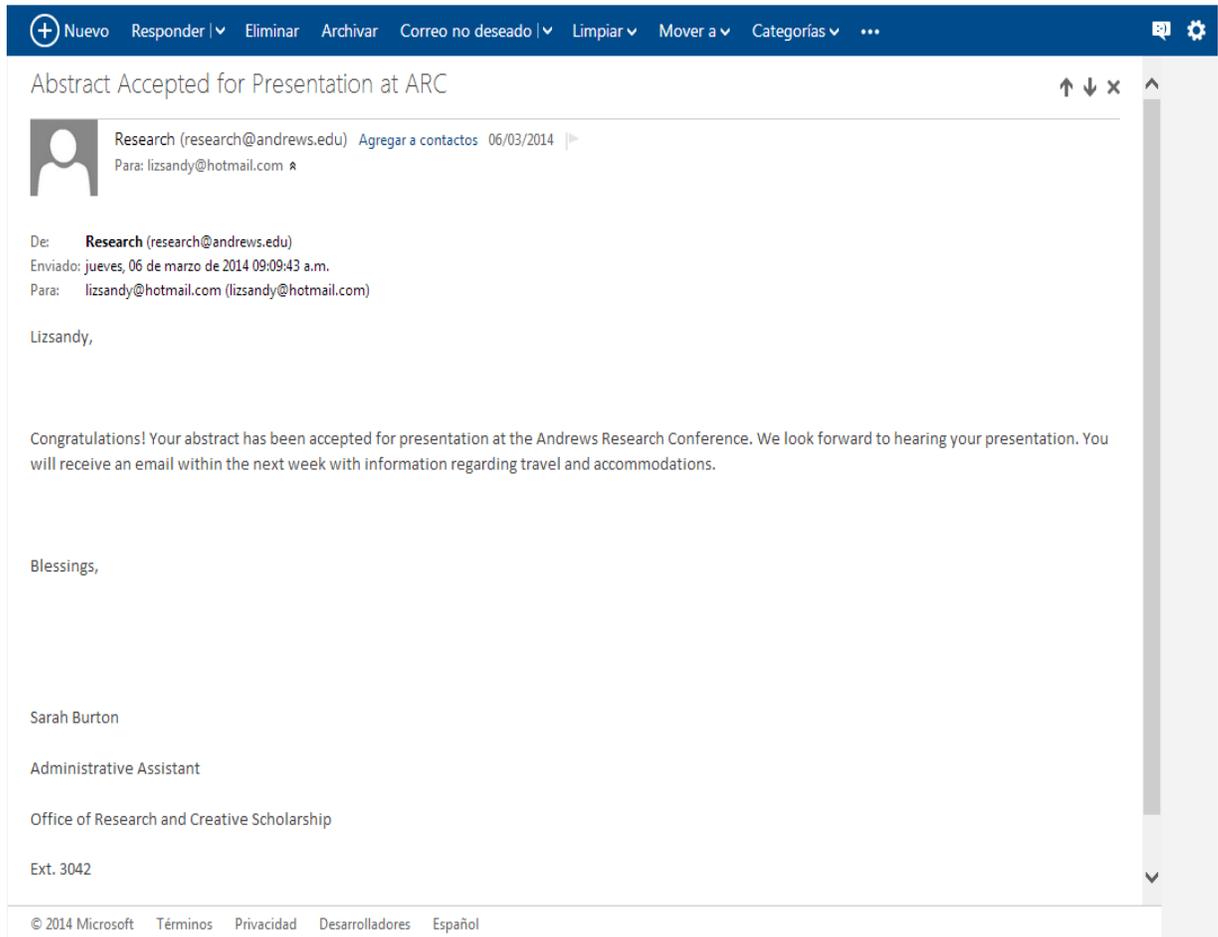


Sociedad Mexicana de Física

Apartado Postal 70-348 Delegación Coyoacán  
04511 México, D.F.  
Tels./Fax: (52 55) 5622 - 4993 ♦ 5622 - 4840 ♦ 5622 - 4946  
<http://www.smf.mx/>  
[smf@hp.fciencias.unam.mx](mailto:smf@hp.fciencias.unam.mx)

### 1.3. Andrews Research Conference: Early Career Researchers in STEM

Proyecto aprobado para ser presentado como conferencia en Andrews University Míchigan. U.S.A., 2014.



The screenshot shows an email client interface with a blue header bar containing navigation options: 'Nuevo', 'Responder', 'Eliminar', 'Archivar', 'Correo no deseado', 'Limpiar', 'Mover a', 'Categorías', and a settings gear icon. The email title is 'Abstract Accepted for Presentation at ARC'. The sender is 'Research (research@andrews.edu)' with a profile picture icon, and the recipient is 'lizsandy@hotmail.com'. The email content includes the following text:

De: **Research** (research@andrews.edu)  
Enviado: jueves, 06 de marzo de 2014 09:09:43 a.m.  
Para: lizsandy@hotmail.com (lizsandy@hotmail.com)

Lizsandy,

Congratulations! Your abstract has been accepted for presentation at the Andrews Research Conference. We look forward to hearing your presentation. You will receive an email within the next week with information regarding travel and accommodations.

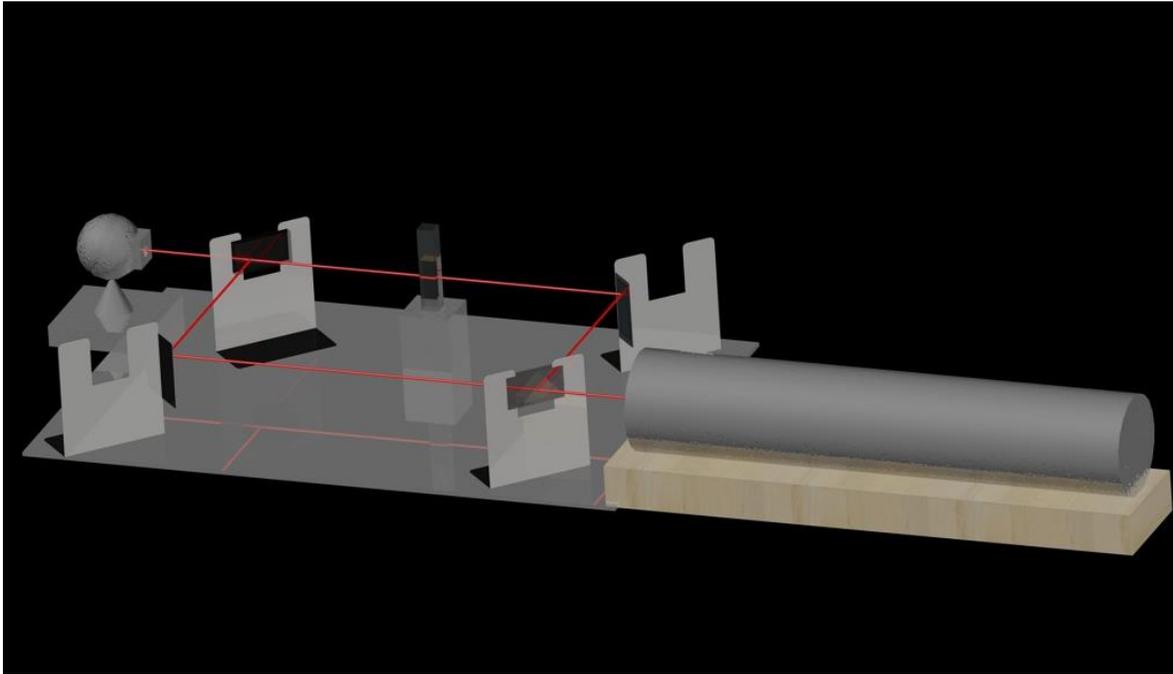
Blessings,

Sarah Burton  
Administrative Assistant  
Office of Research and Creative Scholarship  
Ext. 3042

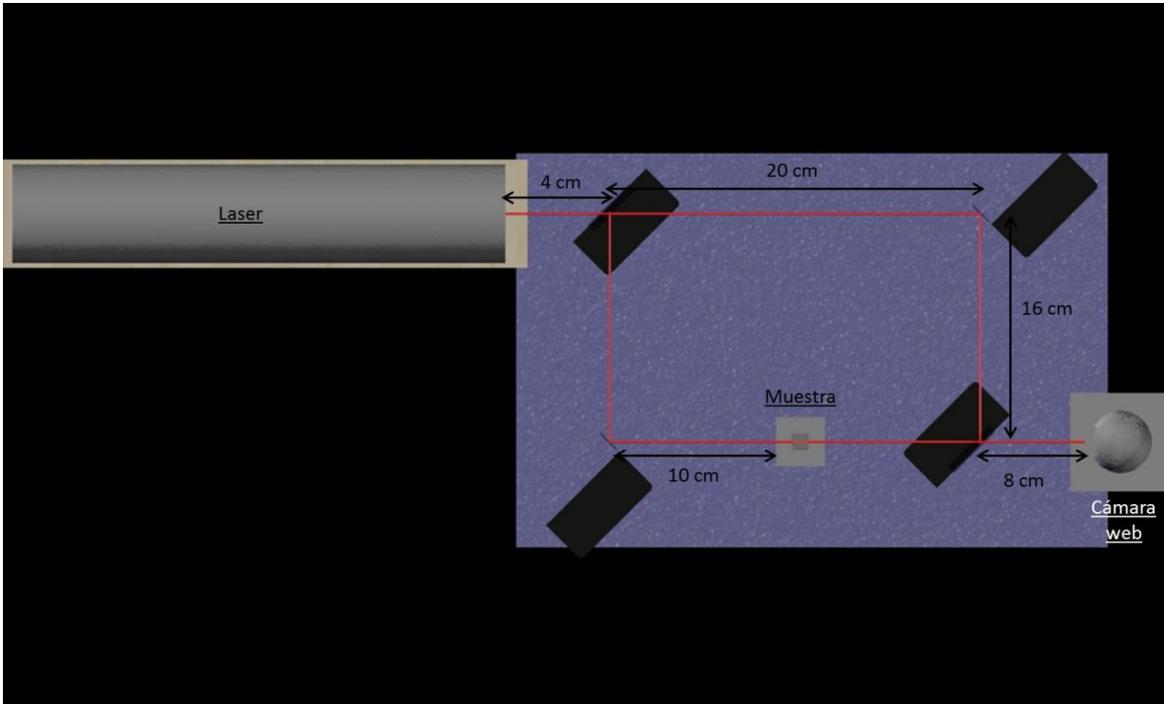
At the bottom of the email client, there is a footer with copyright information: '© 2014 Microsoft', and links for 'Términos', 'Privacidad', 'Desarrolladores', and 'Español'.

**1.4. Modelo construido en AutoCad del interferómetro de Mach-Zehnder utilizado en la experimentación del proyecto.**

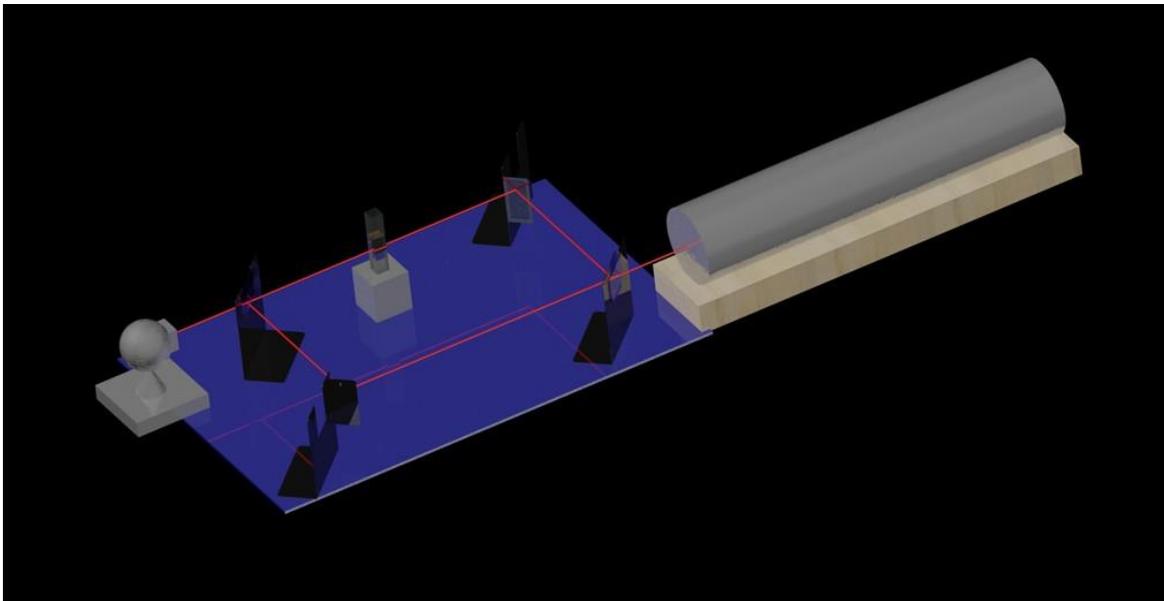
Diseñador: Alex W. Muñoz Arpaiz.



**a. Ilustración 1**



b. Ilustración 2



c. Ilustración 3

## Bibliografía

- al, E. I. (2011). Characterization and performance evaluation of 11m<sup>3</sup> biogas plant constructed at National Center for Energy Research and Development, University of Nigeria, Nsukka. *Continental J. RenewableEnergy*, 2(1), 1 - 6.
- al, G. (2007). World Oil Depletion Models: Price effects compared with strategic or technological interventions. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4).  
Appropriate Techonology. (2008). Using a Biogas Digester. *Appropriate Technology*, 58-62.
- Bahaa, E. S., & Malvin, C. T. (1991). *Fundamentals of photonics*. New York: A wiley-Interscience Publication.
- Collins, T. J. (Julio de 2007). ImageJ for microscopy. *BioTechniques*, 25-30.
- de la Torre, R. D. (2007). *Probabilidad y estadística para ciencias e ingenierías*. Delta Publicaciones.
- Ditchburn, R. (1982). *Óptica* (Third ed.). Barcelona, España: Reverté.
- Dresselhausy, M. S., & Thomas, I. L. (2001). Alternative energy technologies. *Nature*, 414, 332-337.
- Duarte E., J., Fernández Morales, F. H., & Moreno Sereno, M. (2007). Caracterización de membranas termoneumáticas mediante interferometría óptica. *Física*, 79-87.
- Ecoportal. (2008). Recuperado el 20 de Agosto de 2010, de <http://educación.ecoportal.net>
- Educared. (2009). *Educared*. Recuperado el 24 de Agosto de 2010, de <http://www.educared.net/primerasnoticias/uni/petro/texto.htm>
- Eliceiri, K. W., & Rueden, C. (2005). Tools for visualizing multidimensional images from living specimens. *Photochemistry and Photobiology*, 81(5), 1116-1122.
- Farhad, R. (2010). Performance evaluation of different configurations of biogas-fuelled SOFC micro-CHP systems for residential applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(8), 3758–3768.
- Hariharan, P. (2003). "Optical interferometry". *Academia Press*.
- Hech, E. (2000). *Óptica*. Madrid, : Addison Wesley Iberoamericana.

- Kagan, J. (03 de junio de 2010). *Third and Fourth Generation Biofuels: Technologies, Markets and Economics Through 2015*. (Greentechmedia) Recuperado el 6 de Noviembre de 2012, de <http://www.greentechmedia.com/research/report/third-and-fourth-generation-biofuels>
- Karakashev, D., & Bastone, D. (2005). Influence of environmental conditions of methanogenic compositions of anaerobic digesters. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(1), 331-332.
- Madlener, R. e. (2009). Assessing the performance of biogas plants with multi-criteria and data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 197(3), 1084–1094.
- Michael Bass, E. (1995). *"Handbook of optics"*. Mc-Graw Hill.
- Poloncarzova, e. a. (2011). Effective Purification of Biogas by a Condensing-Liquid Membrane. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), 669–671.
- Rodríguez M, G., & Leal Garza, R. D. (2009). "Construcción y caracterización de un interferómetro para su uso en la determinación de campos de temperatura en fluidos". *memorias de XV congreso internacional anual de la SOMIM*.
- Rodríguez-Vera, R. (s.f.). Algunas aplicaciones industriales de la interferometría electrónica de patrones de moteado. *Publicaciones CIO*.
- Saleh, B. (1991). *Fundamentals of Photonics*. 63 – 68: Wiley.