

**Universidad de Costa Rica  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Eléctrica**

**CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE  
VINAGRE ARTESANAL UTILIZANDO LÁSER  
Y METROLOGÍA ÓPTICA**

**Por:**

**Iván Brizuela Gutiérrez**

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
Agosto de 2021**

# **CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE VINAGRE ARTESANAL UTILIZANDO LÁSER Y METROLOGÍA ÓPTICA**

**Por:**

**IVÁN BRIZUELA GUTIÉRREZ**

Sometido a la Escuela de Ingeniería Eléctrica  
de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad de Costa Rica  
como requisito parcial para optar por el grado de:

**LICENCIADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

Aprobado por el Tribunal:

---

Ing. Luis Jorge Poveda Wong, Ph.D.  
Representante del Director, Escuela de Ingeniería Eléctrica

---

Ing. Luis Diego Marín Naranjo, M.Sc.  
Director, Comité Asesor

---

Ing. Paola Montero Sánchez, M.Sc.  
Miembro, Comité Asesor

---

Ing. Víctor Vega Garita, Ph.D.  
Miembro, Comité Asesor

---

Ing. John Rosses Monge, Lic.  
Miembro del Tribunal

## **DEDICATORIA**

A mis padres, a mi hijo Matías y a mi sobrina Sofia quienes pueden contar con mi apoyo en esta etapa de sus vidas que se aproxima. A mis clientes, quienes se interesan por mis actividades realizadas.

## **RECONOCIMIENTOS**

A los asistentes de laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química por su ayuda en este proyecto. A la Escuela de Ingeniería Eléctrica y al profesor Luis Diego Marín Naranjo que permitieron el trabajo al máximo siguiendo los lineamientos necesarios a pesar de la situación sanitaria del país durante los periodos de II-2020 y I-2021.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>NOMENCLATURA.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO 1: Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación .....	3
1.3. Planteamiento del problema.....	5
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos .....	7
1.5. Alcance .....	7
1.6. Metodología.....	8
1.7. Procedimiento de evaluación.....	9
<b>CAPÍTULO 2: Desarrollo teórico .....</b>	<b>11</b>
2.1. El vinagre.....	11
2.1.1. ¿Qué es el vinagre? .....	11
2.1.2. ¿Cómo se elabora el vinagre? .....	11
2.1.3. ¿Cuántos tipos de vinagre existen? .....	12
2.1.4. Propiedades del vinagre .....	13
2.2. ¿Qué es el pH? .....	14
2.3. Propiedades radiométricas de los materiales .....	14
2.3.1. Terminología.....	14
2.3.2. Transmisión .....	16
2.3.3. Reflexión.....	16
2.3.4. Absorción.....	17
2.3.5. Relación entre reflectancia, transmitancia y absorbancia.....	17
2.3.6. Propiedades ópticas de superficie e interface .....	17
2.4. Polarización .....	18
2.4.2. Estados de polarización .....	19
2.4.3. Métodos de polarización .....	20
2.5. Colorimetría.....	26
2.6. Cálculo de incertidumbre.....	28
2.6.1. Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar .....	29
2.6.2. Evaluación tipo B de la incertidumbre estándar .....	30

<b>CAPÍTULO 3: Prácticas de laboratorio.....</b>	<b>31</b>
3.1. Pruebas Químicas.....	31
3.1.1. Equipo utilizado.....	31
3.1.2. Procedimiento.....	31
3.1.3. Resultados experimentales.....	32
3.2. Mediciones de transmitancia.....	35
3.2.1. Equipo utilizado.....	35
3.2.2. Procedimiento.....	38
3.2.3. Resultados experimentales.....	38
3.3. Pruebas de potencia de polarización.....	46
3.3.1. Equipo utilizado.....	46
3.3.2. Procedimiento.....	46
3.3.3. Resultados experimentales.....	47
<b>CAPÍTULO 4: Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>58</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ionización de analito por MALDI. (Creative Proteomics).....	1
Figura 2: Extracción del jugo de banano.....	5
Figura 3: Jugo de banano y vinagre de banano.....	12
Figura 4: Reflexión y transmisión. (Palmer, 2010) (Juds, 1988). ....	15
Figura 5: Onda electromagnética. (Serrano). ....	18
Figura 6: Polarización lineal.....	19
Figura 7: Polarización por reflexión. (Serrano).....	22
Figura 8: Ley de Brewster. (Arieli). ....	23
Figura 9: Polarización por refracción. (Serrano). ....	24
Figura 10: Espectro electromagnético. (El espectro electromagnético).....	25
Figura 11: Gráfica de pH o acidez. ....	35
Figura 12: Vista de las secciones del sensor. ....	37
Figura 13: Transmitancia a través de las muestras individuales, laser rojo.....	41
Figura 14: Gráfica de pH y potencia normalizada, laser rojo.....	42
Figura 15: Transmitancia a través de las muestras individuales, laser verde. ....	44
Figura 16: Gráfica de pH y potencia normalizada, laser verde. ....	45
Figura 17: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 1.....	47
Figura 18: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 2.....	48
Figura 19: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 3.....	48
Figura 20: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 4.....	49
Figura 21: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 5.....	49
Figura 22: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 6.....	50
Figura 23: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 7.....	50
Figura 24: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 8.....	51
Figura 25: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 9.....	51
Figura 26: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 10.....	52
Figura 27: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 1.....	52
Figura 28: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 2.....	53
Figura 29: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 3.....	53
Figura 30: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 4.....	54
Figura 31: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 5.....	54
Figura 32: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 6.....	55
Figura 33: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 7.....	55
Figura 34: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 8.....	56
Figura 35: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 9.....	56
Figura 36: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 10.....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Valores de acidez o pH en IQ. ....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 2: Mediciones de referencia con beaker vacío, laser rojo. ....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 3: Mediciones de referencia con beaker vacío, laser verde.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 4: Valores de potencia en el sensor.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 5: Potencia en sensor de medición utilizando laser rojo.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 6: Detalle de fechas para las muestras. ....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 7: Potencia en sensor de medición utilizando laser verde. ....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 8: Tabla de datos de polarización, muestra 1.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 9: Tabla de datos de polarización, muestra 2.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 10: Tabla de datos de polarización, muestra 3.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 11: Tabla de datos de polarización, muestra 4.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 12: Tabla de datos de polarización, muestra 5.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 13: Tabla de datos de polarización, muestra 6.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 14: Tabla de datos de polarización, muestra 7.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 15: Tabla de datos de polarización, muestra 8.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 16: Tabla de datos de polarización, muestra 9.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 17: Tabla de datos de polarización, muestra 10.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 18: Tabla de datos de polarización, muestra 1.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 19: Tabla de datos de polarización, muestra 2.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 20: Tabla de datos de polarización, muestra 3.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 21: Tabla de datos de polarización, muestra 4.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 22: Tabla de datos de polarización, muestra 5.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 23: Tabla de datos de polarización, muestra 6.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 24: Tabla de datos de polarización, muestra 7.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 25: Tabla de datos de polarización, muestra 8.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 26: Tabla de datos de polarización, muestra 9.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 27: Tabla de datos de polarización, muestra 10.....</b>	<b>57</b>



## **NOMENCLATURA**

CENAT	Centro Nacional de Alta Tecnología
GAM	Gran Área Metropolitana
IQ	Ingeniería Química
LAFTLA	Laboratorio de Fotónica y Tecnología Láser Aplicada
LANOTEC	Laboratorio de Nanotecnología
MALDI-TOF MS	Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization - Time Of Flight Mass Spectrometry (láser matriz asistido de desorción/ionización tiempo de viaje de espectrometría de masa).
SIBDI	Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información
TFG	Trabajo Final de Graduación
UCR	Universidad de Costa Rica

## RESUMEN

Se realizó la caracterización de un total de 10 muestras de vinagre de producción artesanal, cuyo añejamiento va desde el año 2017 hasta 2020, 2 muestras por año y 2 muestras extra que no cuentan con un sabor agradable para análisis y comparación. Se desea caracterizar estas muestras para realizar una mejor comercialización del producto.

Se realizaron prácticas de laboratorio en el LAFTLA y en la Escuela de IQ. Con sesiones de 2 horas semanales según los lineamientos dictados por la Universidad debido a la situación sanitaria actual. Se confecciono el reporte respectivo para cada actividad. Además, se llevó un archivo bitácora con la documentación del trabajo realizado.

Se realizaron mediciones de transmitancia a través de cada muestra con láser rojo y otra práctica completa con láser verde. Estos resultados fueron comparados con los resultados experimentales obtenidos en una práctica que se realizó en la Escuela de IQ. En donde se obtuvo la acidez de cada muestra y se comparó con la potencia transmitida a través de las mismas.

Se llegó a la conclusión que las pruebas de potencia están relacionadas con coloración y turbidez más que con acidez. Si la acidez provocara cambios en la potencia transmitida muy posiblemente ya existirían pHmetros optoelectrónicos para estas fechas. Se determinó experimentalmente que existe movimiento Browniano en las muestras durante estas pruebas de transmitancia.

Se realizaron pruebas de potencia de polarización con láser rojo y verde también. Las pruebas de potencia de polarización son un indicador del nivel de azúcar en las muestras, a grandes rasgos todas las muestras cuentan con niveles de azúcar semejantes.

Se recomienda utilizar un mecanismo mecánico para realizar el movimiento angular del polarizador en las pruebas de potencia de polarización.

Se omitieron las pruebas de colorimetría debido a la imposibilidad de utilizar las instalaciones debido a la situación sanitaria a nivel mundial y específicamente en nuestro país.

# CAPÍTULO 1: Introducción

## 1.1. Antecedentes

Existen pocos trabajos acerca de la utilización de fotónica o tecnología láser aplicada en procesos de análisis de vinagres o muestras de líquidos en general. Sin embargo a continuación se presentan algunos.

En el 2017, según Bekatorou, se inició la producción de vinagre de manzana. Utilizando la técnica de Láser Biospeckle se procedió a realizar un control de la fermentación. Se utilizó jugo de manzana junto con granos de kékfir brasileños para producir un cultivo de bacterias y levadura. Dicho cultivo fue identificado utilizando un láser matriz asistido de desorción/ionización tiempo de viaje de espectrometría de masa (MALDI-TOF MS) por sus siglas en inglés. La figura 1 muestra el proceso MALDI, en el que las partículas del haz láser son separadas y ionizadas para realizarles un análisis de masa. La mezcla dio como resultado etanol, ácido acético, alcoholes volátiles y aldehídos. Con una concentración de ácido acético de 79%. El proceso eliminó la necesidad de centrifugación convirtiendo la producción de vinagre a un proceso de un solo paso.

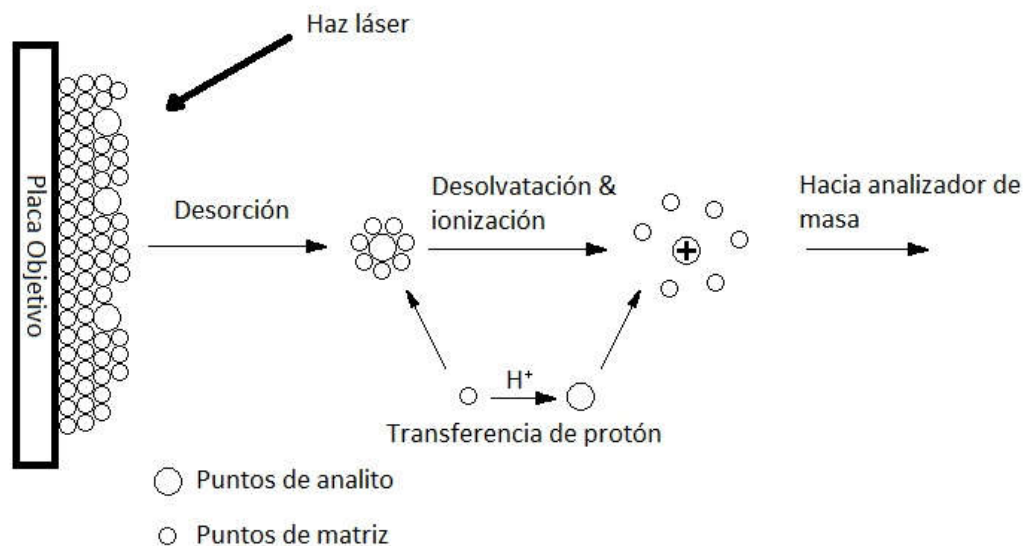


Figura 1: Ionización de analito por MALDI. (Creative Proteomics).

Magalhães, para el XXV Congreso Brasileño de Ciencia y Tecnología de Alimentos en el 2016 realizó una evaluación de la actividad metabólica con Láser Biospeckle. Igual que en el caso anterior, para realizar una observación de la actividad biológica. Se utilizó un láser de HeNe (632nm, 10 mW) para iluminar granos de kéfir usados en la producción de vinagre de manzana. Con una lente plana cóncava se agrando el haz para así cubrir la totalidad de la muestra. 128 imágenes de patrones de interferencia logrados fueron capturadas utilizando una cámara con dispositivo de carga acoplada y una resolución de 640x486 píxeles. El análisis de las imágenes se realizó siguiendo criterios apropiados.

En el 2015, para la 9 Novena Conferencia Internacional en Tecnología de Sensado, Harald Axmann y Alexander Bergmann utilizaron un novedoso método para estimar la concentración de contaminantes producidos por motores diésel, partículas y NO<sub>2</sub>. Utilizaron un opacímetro para NO<sub>x</sub> y hollín. Midieron el coeficiente de extinción, con unidades 1/m, para diferentes concentraciones de NO<sub>2</sub>. Como era de esperar dicho coeficiente esta linealmente relacionado con la concentración de NO<sub>2</sub>. Planean realizar una práctica utilizando un enfoque multilongitud de onda para el futuro cercano.

Xiong, G. y otros en el 2015, realizaron mediciones de opacidad e investigación teórica en plasma caliente de Silicio. Una diminuta lámina de silicio fue calentada hasta el estado de plasma utilizando rayos X emitidos desde una pequeña cavidad de oro en forma de D, que era irradiada por varios láseres intensos. Líneas de absorción fueron medidas usando espectroscopia de proyección de punto. El espectro de transmisión del plasma de silicio fue determinado comparando la luz pasando a través del plasma con la luz de la misma fuente pasando cerca del plasma. El espectro de transmisión experimental fue comparado con el espectro de transmisión teórico logrando un resultado satisfactorio.

En Costa Rica, Hellen Elizondo Castillo, en su tesis de licenciatura llamada Obtención De Hidrogeles Híbridos Por Entrecruzamiento Físico Para Aplicaciones Biomédicas afirma que la espectroscopia infrarroja es la técnica más usada para el estudio de enlaces de hidrogeno, especialmente polímeros. Ella utiliza esta técnica infrarroja para caracterizar sus muestras de polímeros sometidas a procesos de modificación durante el entrecruzamiento. Algunos de los cambios son desplazamientos en la frecuencia de absorción de la señal, in-

cremento en el ancho de la banda, y cambios en la absorbancia o aparición de bandas atribuibles a los posibles subgrupos o especies de degradación. El acople de transformada de Fourier detecta cualquier contaminante en la sustancia de estudio.

El análisis mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier para las sustancias de partida así como para los hidrogeles híbridos, fueron realizados en el LANOTEC del CENAT, utilizando el Espectrómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier, marca Thermo Scientific modelo 4700/5700/6700/8700 Max Leitung.

Salazar A., A. afirma que utilizando fluorescencia de rayos x dispersiva en energía, la cual facilita la revisión de al menos 13 elementos químicos, se analizaron muestras de sedimentos marinos para las costas del Caribe, Pacífico Norte, Central y Sur de Costa Rica. Calcio y hierro fueron los elementos más abundantes, forman parte de la formación natural del sedimento. Las playas del Pacífico Norte mostraron la mayor concentración de calcio lo que sugiere la existencia de arrecifes en sus alrededores. El análisis de elementos traza de origen terrígeno muestra evidencias de hierro similares a la mayoría de las regiones. En el Pacífico Central y Sur se pueden encontrar estos elementos traza lo que demuestra una mayor concentración terrígena y poca concentración de carbonato de calcio debido a la ausencia de corales. Por último, los resultados del análisis no muestran evidencia de contaminación antropogénica y solo una parte de la playa de Puerto Viejo presentó concentraciones altas de Pb, Zn y Ti con lo cual existe la posibilidad de que esté relacionado con fuentes hidrotermales en esta región.

## **1.2. Justificación**

Se quiere realizar metrología óptica en muestras de vinagre disponibles. Este estudio podrá ser utilizado en posibles cursos de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCR u otras actividades relacionadas del LAFTLA.

Se poseen muestras de vinagre con añejamientos que van desde el año 2017 hasta muestras del presente año 2020. Se obtienen por medio de un proceso artesanal de un cultivo de banano. Figura 2.

Se participa en una actividad familiar en la zona de Turrialba en donde se cuenta con un terreno de aproximadamente 2 hectáreas de extensión. La zona es sumamente apta para el cultivo de banano y por lo tanto gran parte de dicho terreno se dedica a la plantación de esta fruta. Mi persona es la encargada de limpiarlo y darle mantenimiento cada vez que se visita el terreno. Esto incluye cortar los racimos y el acarreo hasta los corredores de la casa de la finca para cargar el vehículo y realizar el transporte hasta la GAM.

Cuando se regresa a casa, en San José, se continúa a cargo del cultivo. Progresivamente los racimos van madurando, entonces se procede a cortar las manos que van tomando color y a ordenarlas en cajas plásticas. Cada cierto tiempo se sale en las mañanas a repartir y vender el banano al detalle, logrando distribuir a clientes y familiares la mayoría de la fruta. Sin embargo a veces quedan sobrantes que dependiendo de la época pueden ser de varias manos, entre 5 y 10 manos. Este sobrante a veces se pasa del punto de maduración y para un efectivo aprovechamiento del producto se procede a extraer jugo, el cual se convertirá en vinagre. Figura 2.

Para realizar este proceso se debe de lavar y pelar el banano, a continuación se procede a introducirlo en una funda de almohada y a colocarlo en un lugar abierto para extracción del líquido. Inicialmente el jugo se mantiene añejando en botellas grandes, generalmente vidrio de un 1 litro o más. Luego se pasa a botellas más pequeñas para almacenamiento. Durante el proceso de añejamiento es necesario filtrar el vinagre, en algunas ocasiones un par de veces. Esto para remover sustancias gelatinosas que se forman durante el proceso. También es necesario decantar las botellas para deshacerse de sedimentos.



Figura 2: Extracción del jugo de banano.

El resultado final del proceso es una cantidad de muestras o botellas de vinagre que necesitan un proceso de añejamiento de varias semanas. En este punto se torna necesario realizar una caracterización de las propiedades de estas muestras, para investigación y oferta del producto. Como parte de un proceso de mejoramiento continuo es estratégico el homogenizar el contenido de las botellas para lograr niveles de acidez, azúcar, contenido alcohólico y coloración semejantes en toda la producción.

### **1.3.Planteamiento del problema**

Se ha incursionado en la producción artesanal de vinagre y se cuenta con un número de muestras independientes que presentan características heterogéneas.

Para conveniencia de los posibles clientes y para facilitar su comercialización es necesario el mejoramiento y por ende la homogenización de la muestra total. Es muy factible que existan clientes interesados en adquirir más de una muestra o botella de vinagre. El que

estas muestras exhiban las mismas características facilita y estimula la adquisición del producto. El definir las propiedades que distinguirán y caracterizaran (químicamente, visualmente y su percepción al sentido del gusto) al producto toma importancia.

Haciendo uso de la metrología óptica se desea realizar la caracterización de muestras de vinagre artesanal para homogenización y mejoramiento de la calidad. Se realizaran una serie de pruebas ópticas de 3 tipos diferentes para efectuar dicha caracterización. Pruebas de propiedades radiométricas, polarización y colorimetría.

También se procederá a realizar un análisis químico del producto por medio de la Escuela de IQ. Estas pruebas químicas se utilizaran para correlacionar con los datos obtenidos de las mediciones ópticas, haciendo un análisis de resultados con la información adquirida.

Además, es conveniente verificar que las muestras conserven un nivel de acidez apto para el consumo humano, especialmente las muestras que datan del 2017. Investigar el nivel de pH con el que cuentan las muestras contribuye a la caracterización del producto. El asegurar por medio de estas pruebas químicas que el producto no es nocivo para la salud y que por el contrario su uso es completamente recomendado permitirá su comercialización.

La introducción de este producto a un mercado comercial de vinagre está relacionada con la información obtenida de estas pruebas ópticas y químicas. Las pruebas se realizaran en pequeñas muestras y reflejaran el comportamiento del producto para su distribución.

La investigación y los resultados de este proyecto pueden ser valiosos para lograr un mejoramiento en la producción, dada la demanda de clientes actuales y potenciales atraídos por la calidad del producto. ¿Qué tanta agua se le podría agregar a la producción de vinagre dada la alta concentración que posee, sin alterar severamente las propiedades que lo distinguen?

Es idóneo poder llegar a asegurar niveles de acidez, azúcar, contenido alcohólico y coloración semejantes en las muestras. El cómo se ven afectados los resultados de las diferentes pruebas a variaciones en los niveles de estas características puede ser objeto de estudio.



## **1.4.Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar una caracterización de muestras de vinagre por medio de una serie de pruebas ópticas y un análisis químico para homogenización y mejoramiento de la calidad de la producción artesanal de vinagre.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

1. Realizar búsqueda bibliográfica acerca de la producción de vinagre y mediciones ópticas utilizadas para caracterización de muestras.
2. Realizar pruebas ópticas para determinar las propiedades radiométricas de muestras de vinagre. Las cuales pueden presentar diferentes niveles de acidez, azúcar, contenido alcohólico y coloración. Para realizar análisis de datos y resultados.
3. Realizar pruebas de polarización en muestras de vinagre utilizando láser. Para diferentes muestras que pueden presentar diferentes niveles de acidez, azúcar, contenido alcohólico y coloración. Para realizar análisis de datos y resultados.
4. Realizar pruebas de colorimetría en muestras de vinagre que pueden presentar diferentes niveles de acidez, azúcar, contenido alcohólico y coloración. Para realizar análisis de datos y resultados.
5. Realizar con ayuda de la Escuela de IQ pruebas químicas de acidez o pH para realizar una correlación de datos con las pruebas ópticas.
6. Preparar un documento escrito en donde se documentara el trabajo realizado.

## **1.5.Alcance**

El proyecto busca analizar los resultados de pruebas ópticas, que incluye pruebas de propiedades radiométricas, polarización y colorimetría en muestras de vinagre añejadas en pequeñas botellas plásticas. Las muestras poseen añejamientos que varían desde el año 2017 hasta el 2020. Algunas de las pruebas, como las de colorimetría requieren unos cuantos mililitros para ser realizadas.

Se estudiarán los resultados con sus respectivos cálculos de incertidumbre de las 3 pruebas ópticas y se realizará una correlación con los datos obtenidos de pruebas químicas realizadas con la colaboración de la Escuela de IQ.

## **1.6. Metodología**

Inicialmente se realiza una determinación de la base teórica de fotónica y tecnología láser aplicada. Se efectúa una revisión de antecedentes y se procede a realizar un estudio de la teoría necesaria durante los ensayos de prueba para una comprensión total del trabajo realizado. Para esto se hará uso del servicio de Referencia Virtual del SIBDI, con el que se obtendrán referencias de las distintas bases de datos de la UCR. Se hará revisión de material bibliográfico, revisión de material del equipo del LAFTLA y consulta de libros facilitados por el profesor Ing. Luis Diego Marín Naranjo, M.Sc.

Una vez asimilada la teoría necesaria se inicia con las pruebas ópticas para la caracterización de las muestras de vinagre. Dichas pruebas se realizarán en el LAFTLA 4 horas por semana de manera supervisada por parte del profesor.

Se inicia con pruebas de propiedades radiométricas y se realiza el análisis de datos y resultados. A continuación se procede a elaborar su debida documentación para evitar que la información se estanque y se omitan o se olviden aspectos del análisis.

Procedimiento 1: Para estas pruebas se utilizarán medidores de potencia óptica. Específicamente el monitoreador de potencia óptica PM400 de Thorlabs. La consola de mesa de trabajo medidora de potencia y energía de doble canal PM320 marca Thorlabs. La consola para el medidor digital de potencia óptica Thorlabs PM100. Láseres de HeNe y de argón marca Newport, láseres de estado sólido (SSL) de Coherent. Estos dispositivos se usarán para medir la potencia o flujo incidente, la potencia o flujo reflejado y la potencia o flujo transmitido. De esta manera se determinarán los valores de absorción, reflexión y transmisión con sus respectivas incertidumbres.

Se continúa con la realización de pruebas de polarización, análisis de datos y resultados y la apropiada documentación.

Procedimiento 2: Para estas pruebas se medirá intensidad luminosa con su respectiva incertidumbre utilizando medidores de potencia óptica. El arreglo marca Newport que se utilizara cuenta con láser y polarizadores para realizar los distintos procedimientos que se ejecutaran.

Se procede con la realización las pruebas de colorimetría, análisis de datos y resultados con su respectiva documentación.

Procedimiento 3: Las pruebas de colorimetría se utilizara el colorímetro Pasco modelo CI-6747, este mide la cantidad de luz que es transmitida a través de un líquido. Algunas concentraciones de químicos pueden ser determinadas a partir de la intensidad de luz atravesando la sustancia.

En el equipo se dispone de los siguientes colores para realizar pruebas: anaranjado (630 nm), verde (565 nm), azul (460 nm) y rojo (697 nm). El colorímetro cuenta con un pequeño recipiente, que puede almacenar pequeñas cantidades de líquido. El recipiente es introducido dentro del dispositivo para realizar las mediciones. Las lecturas realizadas con el colorímetro poseen su respectiva incertidumbre de medición.

Durante el semestre y con colaboración de la Escuela de IQ se realizaran pruebas de pH para verificar la acidez de las muestras y realizar una correlación de datos con los resultados de las pruebas ópticas.

### **1.7.Procedimiento de evaluación**

El proyecto consta de cuatro etapas, en las cuales se trabaja en cuestiones tanto teóricas en las que se realiza investigación bibliográfica como prácticas o de trabajo en laboratorio. Se trabaja también en cuestiones técnicas y de documentación, todas son partes vitales que conforman el proyecto.

La primera etapa es básicamente de revisión bibliográfica para determinación de la teoría necesaria para realizar el trabajo. Se debe de entender con detalle los conceptos y la información con la que se trabajara. También se deben de comprender los métodos necesarios para realizar los cálculos de incertidumbre de las respectivas mediciones. Esta etapa tiene un valor de un 15%.

En la segunda etapa se realizarán las pruebas ópticas para la caracterización de las muestras de vinagre artesanal, el procedimiento de medición, toma de datos, análisis de la información y resultados obtenidos con su respectiva documentación. Se realizará una revisión de la precisión y exactitud de los datos además de efectuar el respectivo cálculo de incertidumbres en los 3 tipos de series de pruebas que se efectuarán. Como ya se ha indicado pruebas de propiedades radiométricas, polarización y colorimetría. Estas pruebas tienen un valor de 20% cada una, para un total de carga de 60%.

En la siguiente etapa se debe contar con los resultados de las pruebas químicas de la Escuela de IQ para su análisis, el valor de esta etapa es de 5%. Este proceso puede ser llevado durante las demás etapas de trabajo para asegurar su ejecución, sin embargo en este punto del trabajo se debe realizar la correlación con los datos obtenidos de las mediciones ópticas y el análisis de resultados.

Finalmente, en la cuarta etapa se realizará y evaluará el informe escrito del TFG, esta etapa final tiene un valor de 20%.

## **CAPÍTULO 2: Desarrollo teórico**

### **2.1.El vinagre**

#### **2.1.1. ¿Qué es el vinagre?**

El vinagre es producto de la actividad de las bacterias *Mycoderma aceti* o bacterias acéticas que transforman mediante fermentación, el alcohol etílico en ácido acético o vinagre. Ciertos niveles de pH o acidez así como niveles de concentración de alcohol y nutrientes son necesarios para que se de dicho proceso de fermentación. (El vinagre). (Bodegas La Aurora. Que es).

La palabra vinagre proviene de las palabras vino agrio y luego paso a llamarse vinagre. Es a través del vino que se descubre el vinagre y de donde toma su nombre. En sus inicios el vinagre era resultado de barriles de vino que se descomponían o se agriaban.

El gastrónomo Apicio, en la época romana, elaboró el primer libro de cocina de la humanidad y fue en este que se introdujo el vinagre como conservante. (Bodegas La Aurora. Que es).

#### **2.1.2. ¿Cómo se elabora el vinagre?**

Cuando se empiezan a disfrutar las propiedades de esta sustancia se inicia el perfeccionamiento del método de elaboración. Los primeros vinagres se obtuvieron por accidente al agriarse algunos barriles de vino.

El primer método completo desarrollado y cuyo objetivo era la fabricación de vinagre se dio en el año 1864 por Louis Pasteur. Desarrollo un método que lleva su nombre y consiste en llenar recipientes grandes con vino y vinagre. Cada vez que se saca vinagre se sustituye con la misma cantidad de vino.

El segundo método es llamado Schuetzenbach es más veloz que el primero. En este método se utilizan barriles que cuentan con un doble fondo relleno de virutas de madera en donde se cultivan bacterias. EL alcohol se hace pasar por este doble fondo haciendo que el ácido acético aumente entre un 1% y un 2%. (Bodegas La Aurora. Que es).

### 2.1.3. ¿Cuántos tipos de vinagre existen?

Existen muchos tipos diferentes de vinagre. Actualmente no solo de vino se produce el vinagre, sin embargo fue de este que se descubrió.

- Vinagre de vino: Es el más conocido, de mayor consumo y producción.
- Vinagre blanco: Se obtiene como resultado de la fermentación del alcohol puro de caña de azúcar. Es utilizado para resaltar los colores de las prendas y evitar que destiñan.
- Vinagre balsámico: Es de origen italiano y el proceso de maduración tarda al menos 12 años. Se usa en vinagretas y unas pocas gotas son suficientes para dar sabor a una salsa.
- Vinagre de sidra: Se obtiene a partir de la fermentación alcohólica de la manzana en sidra. (Bodegas La Aurora. Que es).
- Vinagre de banano: Se obtiene mediante extracción del jugo de la fruta con un proceso de filtración y se fermenta por varias semanas. Para que el alcohol etílico se transforme en ácido acético o vinagre.



Figura 3: Jugo de banano y vinagre de banano.

El jugo de las botellas grandes se encuentra en proceso de fermentación. Durante el proceso se da una liberación de gases, las tapas se deben dejar flojas para evitar que las botellas puedan llegar a explotar.

#### 2.1.4. **Propiedades del vinagre**

1. **Excelente antioxidante:** Polifenoles y vitaminas presentes en el vinagre, ayudan a combatir el estrés, gracias a sustancias como la catequina, epicatequina o el ácido clorogénico.
2. **Fantástico limpiador:** Por sus propiedades antimicrobianas el vinagre es uno de los mejores productos naturales de limpieza que existen. Funciona como un desinfectante tanto en comidas como higiene personal. El ácido acético es el responsable de esta propiedad, también es efectivo contra la salmonela.
3. **Remedio contra la diabetes:** Se cree que el ácido acético en el vinagre puede reducir el azúcar en la sangre.
4. **Buen adelgazante:** El vinagre aumenta la sensación de saciedad, por lo tanto se consume menos comida.
5. **Mejora la acidez:** Tomando vinagre de manera constante se mejora la acidez, ya que retiene poco ácido en el estómago.
6. **Cuida el corazón:** Reduce el colesterol y baja la presión arterial
7. **Propiedades curativas:** La telaraña que flota en el vinagre sin filtrar, tiene propiedades antibacterianas las cuales curan heridas como quemaduras, el vinagre también ayuda a reducir el daño muscular causado por el ejercicio.
8. **Mejora la absorción de nutrientes:** El ácido acético favorece la absorción de minerales.
9. **Acondicionador del cabello:** La acidez del vinagre es muy cercana a la del cabello humano. Es un buen acondicionador y agente de limpieza. Produce desinfección y provoca brillo natural en el cabello.

10. **Cuida el cerebro:** Puede mejorar la función cognitiva, investigaciones han mostrado que el ácido acético produce esfingolípidos, que son precursores de bloques de construcción en tejidos cerebrales. (Bodegas La Aurora. 10 propiedades).

## 2.2. ¿Qué es el pH?

El pH da la información de acidez o alcalinidad, representa la cantidad de iones de hidrogeno en una sustancia. Significa potencial de hidrogeno.

Las sustancias acidas poseen pH cero y las alcalinas 14. Sustancias neutras como el agua o la sangre presentan valores de pH entre 7 y 7,3. El jugo de limón posee un pH entre 2 y 3, la orina entre 4 y 7. Los jugos gástricos entre 1 y 2 y los ácidos de baterías entre 0 y 1. Las sustancias alcalinas como la leche magnesia tienen valores entre 10 y 11. Los limpiadores con amoniaco entre 11 y 12. (Significado de pH). El vinagre, que es un alimento posee un pH de entre 2,4 a 3,4. (¿Qué pH tiene el vinagre?).

Una sustancia con pH 2 es 10 veces más acida que una con pH 3 y 100 veces más acida que una con pH 4. Esto debido a que el pH presenta una escala logarítmica. (¿Qué pH debe tener el agua?).

## 2.3. Propiedades radiométricas de los materiales

### 2.3.1. Terminología

Cuando flujo radiante impacta en una superficie, se dan tres fenómenos diferentes: reflexión, absorción y transmisión. Una parte del haz se refleja, otra se absorbe y otra es transmitida. Transmitancia  $\tau$  estudia la potencia transmitida, Reflectancia  $\rho$  se refiere a la potencia reflejada y Absorbancia  $\alpha$  es la potencia absorbida. Todas estas en función del haz de luz incidente, de la potencia de incidencia. (Palmer, 2010).

Existe transmisión y reflexión tanto especular como difusa, difusa es en la que una superficie áspera dispersa el haz en múltiples direcciones. Especular en cambio, es en la que la superficie cuenta con un poco de brillo y el haz es reflejado en una sola dirección. Figura 4. (Juds, 1988).



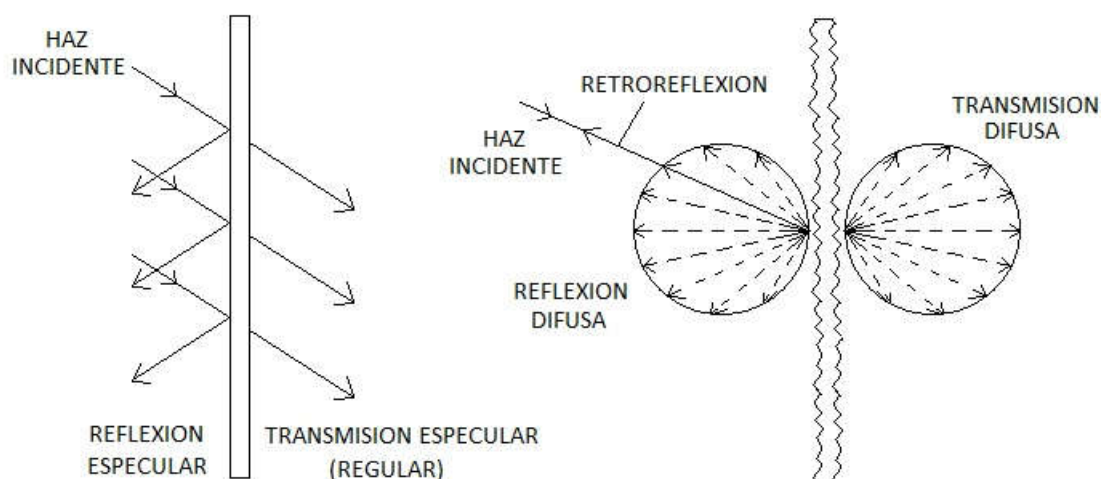


Figura 4: Reflexión y transmisión. (Palmer, 2010) (Juds, 1988).

Se toma especial importancia al uso de los sufijos -ancia y -ividad. Para materiales puros se utilizan los términos como transmisividad, absorvividad (absorción) y reflectividad. Terminados en -ividad. Son propiedades inherentes y volumétricas de los materiales. Cuando se trata de las características o propiedades que se extienden en una muestra específica, de una cantidad fija, se usa -ancia. Por ejemplo se puede hablar de la reflectividad del aluminio puro y de la reflectancia de una muestra de aluminio 6061, el cual posee una capa natural de óxido. Otro ejemplo es el de la resistencia de 3cm de un conductor, que tiene una resistividad de 10 ohms por cm. La resistencia de la pieza de 3cm es de 30 ohms (McCluney, 2014). (Palmer, 2010).

Otro término a utilizar es el de espectral, indica una característica a cierta longitud de onda  $\lambda$  y se indica como una función de tal variable,  $\tau(\lambda)$ ,  $\rho(\lambda)$ ,  $\alpha(\lambda)$ . Para filtros de color por ejemplo con frecuencia se grafica la transmitancia espectral  $\tau(\lambda)$  versus longitud de onda  $\lambda$ . La ausencia del adjetivo espectral quiere decir que el fenómeno ocurre sobre todas las longitudes de onda. (Palmer, 2010).

### 2.3.2. Transmisión

La transmisión se da cuando un flujo radiante sale por otra cara de un objeto distinta a la de incidencia. La relación entre la potencia transmitida o flujo espectral transmitido  $\Phi_{\lambda t}$  y la potencia de incidencia o flujo espectral incidente  $\Phi_{\lambda i}$  se llama transmitancia espectral  $\tau(\lambda)$ :

$$\tau(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda t}}{\Phi_{\lambda i}} \quad (1)$$

La relación total de flujo transmitido  $\Phi_t$  con el flujo total incidente  $\Phi_i$  se denomina transmitancia total. (Palmer, 2010).

$$\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i} \quad (2)$$

La transmisividad espectral es la transmitancia espectral interna de una capa de material absorbente, en la que el tramo de radiación es unitario y la extensión del material no es relevante. (McCluney, 2014).

Existen varias clasificaciones geométricas de la transmitancia. Esta puede ser especular, si la dirección es especular regular (de espejo). Puede ser difusa si la dirección son todas menos la especular y puede ser total, cuando se da en todas direcciones. Así toda radiación transmitida (especular y difusa) posee dependencia angular. (Palmer, 2010).

### 2.3.3. Reflexión

La reflexión se da cuando el flujo radiante es retornado a la cara de incidencia. La reflexión puede ser de tres tipos, especular en dirección de espejo o difusa, dispersada en el plano de incidencia. Y puede ser una combinación de ambos tipos de reflexión.

La relación entre la potencia reflejada o flujo espectral reflejado  $\Phi_{\lambda r}$  y la potencia de incidencia o flujo espectral incidente  $\Phi_{\lambda i}$  se llama reflectancia espectral. Se debe recordar que este es el caso aplicado para una longitud de onda específica. (Palmer, 2010).

$$\rho(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda r}}{\Phi_{\lambda i}} \quad (3)$$

La reflectancia total  $\rho$  es la relación entre flujo reflejado  $\Phi_r$  y el flujo incidente  $\Phi_i$  (Palmer, 2010).

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad (4)$$

Reflectividad es la reflectancia de una capa de material en la que no existe cambio en la reflectancia al variar el grueso de la capa. (McCluney, 2014).

El factor de reflectancia  $R$  o  $R(\lambda)$  es la relación de flujo espectral radiante reflejado por una muestra, con el flujo espectral radiante. El cual puede ser reflejado por un reflector difuso perfecto (Lambertiano). La reflectancia no excede el valor unitario, sin embargo el factor de reflectancia puede tomar valores de cero hasta infinito. El factor de reflectancia es únicamente útil para superficies difusas. (Palmer, 2010).

#### 2.3.4. Absorción

Absorción es el proceso en el que una porción del flujo radiante es convertido en fuentes de energía diferentes, por ejemplo calor. Absorbancia es la porción de flujo incidente que es absorbida. Absorbancia espectral, o sea, a una longitud de onda específica es:

$$\alpha(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda a}}{\Phi_{\lambda i}} \quad (5)$$

Absorbancia total está dada por: (Palmer, 2010).

$$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i} \quad (6)$$

Absorbicidad espectral se refiere a la absorbancia espectral interna de una capa de material, en la que el tramo de radiación es unitario y la extensión del material no es relevante. (McCluney, 2014).

#### 2.3.5. Relación entre reflectancia, transmitancia y absorbancia

La suma de la transmisión, reflexión y absorción es la unidad, esto debido a que la energía se conserva:

$$\tau + \rho + \alpha = 1 \quad (7)$$

Este enunciado es también cierto para longitudes de onda específicas: (Palmer, 2010).

$$\tau(\lambda) + \rho(\lambda) + \alpha(\lambda) = 1 \quad (8)$$

#### 2.3.6. Propiedades ópticas de superficie e interface

##### 1. Propiedades ópticas conductoras

Un conductor perfecto, que posee buena conductividad posee un índice de refracción infinito y la luz no es capaz de atravesarlo por completo. (McCluney, 2014).

El índice de refracción es la magnitud que describe cuanto es frenada la luz cuando atraviesa una sustancia o material. (Brizuela, 2005).

## 2. Propiedades ópticas no conductoras

En el caso de una superficie lisa, muy delgada de un material isotrópico y dieléctrico, la cual posee una sección muy pequeña para absorber cantidades considerables de luz incidente. La absorción puede ser omitida debido a que es una característica volumétrica del material. La luz entonces será dividida en luz reflejada y luz transmitida únicamente. Aquí el flujo reflejado es llamado reflectividad de la interface  $\bar{\rho}$  y el flujo transmitido será la transmisividad de la interface  $\bar{\tau}$ . Debido a la conservación de la energía en una interface se tiene que: (McCluney, 2014).

$$\bar{\tau} + \bar{\rho} = 1 \quad (9)$$

## 2.4. Polarización

### 2.4.1. ¿Qué es la polarización?

Siguiendo un esquema clásico se dice que la luz es una onda transversal electromagnética que viaja en el vacío. Figura 5. La onda tiene una componente eléctrica  $\vec{E}$  que se grafica con azul en la imagen y una componente magnética  $\vec{B}$  que se grafica en rojo. El ángulo entre dichas componentes es de  $90^\circ$ . (Serrano).

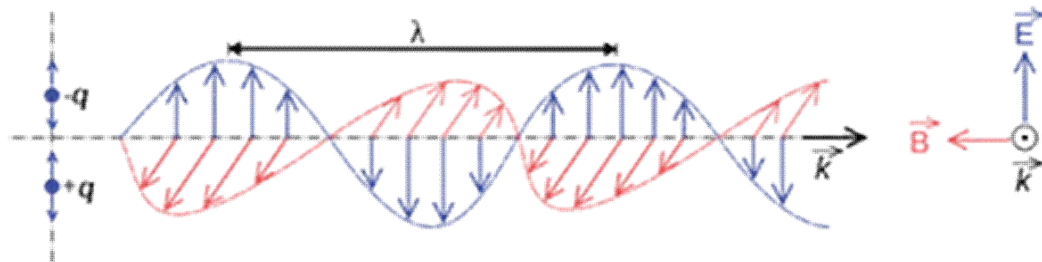


Figura 5: Onda electromagnética. (Serrano).

Una onda transversal es una que presenta una magnitud vectorial y que oscila perpendicularmente a la dirección en la que viaja o se propaga. (Gardey, 2019).

Una onda que cuenta con vibraciones en más de un plano se llama onda no polarizada, en estas los campos eléctrico y magnético vibran también en más de un plano. Figura 6. (Serrano).

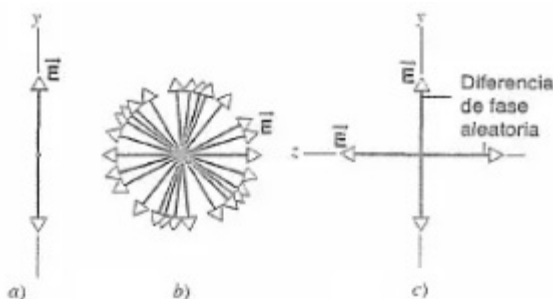


Figura 6: Polarización lineal

Halliday (2007). a) Polarización lineal vista desde la dirección de propagación. La onda se propaga hacia afuera del plano de la página. Solo se muestra la componente eléctrica  $\vec{E}$  b) Onda no polarizada. Se puede suponer como una superposición de varias ondas polarizadas y en desorden. c) Dos ondas polarizadas con un ángulo recto entre ellas y una diferencia de fase aleatoria, una alternativa para representar una onda no polarizada. (pág. 1000).

La luz emitida por un bombillo o una vela es una onda no polarizada, esta luz puede ser convertida en luz polarizada utilizando los métodos de transmisión, reflexión y refracción. Se restringen las vibraciones a un solo plano y se transforma en una onda polarizada.

El fenómeno en el que las ondas de luz o cualquier otra radiación tienen sus campos en una sola dirección de vibración es la polarización. Una propiedad de las ondas en la que la orientación de las oscilaciones es descrita. (Serrano).

## 2.4.2. Estados de polarización

### 1. Polarización lineal

Cuando el campo eléctrico de una onda se mueve en una única dirección se dice que la onda está linealmente polarizada y esta será la dirección de polarización. Esto es el resul-

tado de superponer dos ondas ortogonales en fase, sin importar si sus amplitudes son diferentes. La onda resultante viajara en un único plano. (Serrano).

Una onda de luz polarizada linealmente es el resultado de superponer 2 ondas polarizadas circularmente, una que gira hacia la izquierda y otra que gira hacia la derecha. Algunos cristales y soluciones dividen parcialmente la luz en estas componentes polarizadas de manera circular. Una componente se retrasa con respecto a la otra cuando viajan a través de la sustancia, sin embargo las ondas son aun coincidentes y la luz que emerge es nuevamente linealmente polarizada. La dirección de polarización de la luz emergente tendrá en este caso una dirección distinta a la que tenía cuando realizo la inmersión en la sustancia.

Si la dirección de polarización es rotada hacia la derecha (observada en la dirección en que la luz viaja) la sustancia es llamada dextrorrotatoria. Sustancias que efectúan esta rotación pero hacia la izquierda son llamadas laevorrotatorias. Debido a la asimetría de la molécula de azúcar de caña, soluciones de este producto son dextrorrotatorias. (Pasco, Advanced Optics System).

## **2. Polarización circular**

La luz polarizada circularmente se obtiene cuando se toman dos ondas electromagnéticas planas perpendiculares, ambas con la misma amplitud pero con diferencia de fase de  $90^\circ$ .

O sea, una onda se polariza circularmente cuando se superponen dos ondas ortogonales con diferencia de fase de  $\frac{1}{4}$  de ciclo. Además la cresta de una onda coincide con la de amplitud cero de la otra y viceversa. (Serrano).

## **3. Polarización elíptica**

Se dice que una onda esta polarizada elípticamente cuando dos ondas electromagnéticas no están en fase ni en contrafase. Poseen amplitudes diferentes y el desfase entre ellas no es  $0^\circ$  ni  $90^\circ$ . (Serrano).

### **2.4.3. Métodos de polarización**

#### **1. Polarización por transmisión**

Con un filtro polarizador se puede polarizar luz, es el método más usado. Estos están formados por moléculas largas y delgadas alineadas en una dirección específica. (Serrano).

Halliday (2007). La radiación o luz que cuenta con un vector de campo eléctrico  $\vec{E}$  paralelo a las moléculas largas es sumamente absorbida. Debido a que excita los electrones de las moléculas, realizando un trabajo sobre ellos dando lugar a una transferencia de energía. En cambio la radiación con vector de campo eléctrico  $\vec{E}$  perpendicular a las moléculas pasa a través del filtro polarizador. (pág. 1001). (Serrano). La luz resultante que emerge se dice que esta linealmente polarizada. (Serrano).

- **Ley de Malus**

Ignorando la absorción, cuando la luz pasa a través de un polarizador solamente 50% de la luz es transmitida. Dependiendo de la orientación del polarizador así será polarizada la luz.

Cuando se alinean dos polarizadores y se aumenta gradualmente el ángulo entre las orientaciones de los polarizadores la intensidad transmitida también disminuye gradualmente. (Serrano).

De la siguiente manera:

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (10)$$

$I_0$ : intensidad de la luz antes de pasar por el segundo polarizador (analizador).

$I$ : intensidad transmitida.

$\theta$ : ángulo que forma el eje de transmisión del polarizador con el analizador. (Colón, 2017).

Otra manera de describir  $\theta$  es, el ángulo que el eje (línea  $0^\circ$ - $180^\circ$ ) del segundo polarizador hace con el eje del primer polarizador. (Pasco, Advanced Optics System).

La ecuación 10 se conoce como la Ley de Malus. Esta ley indica que cuando se colocan polarizadores con orientaciones de  $90^\circ$  entre sí, la luz es completamente bloqueada dado que  $\cos^2(90^\circ)=0$ . (Serrano).

La intensidad de una onda es la potencia por unidad de área:

$$I = \frac{P}{A} \quad (11)$$

P: es la potencia en Watts.

A: área.

Cuando la potencia se define como energía por unidad de tiempo, la ecuación de intensidad de onda se puede escribir de la siguiente manera:

$$I = \frac{U}{At} \quad (12)$$

U: Energía de la luz en Joules.

A: área.

t: tiempo en segundos. (Colón, 2017).

## 2. Polarización por reflexión

Cuando la luz es reflejada por superficies no metálicas como vidrio, agua o carreteras la luz no polarizada puede ser polarizada. En este caso la polarización será paralela a la superficie y dependerá del ángulo de incidencia de la luz con la superficie. (Serrano).

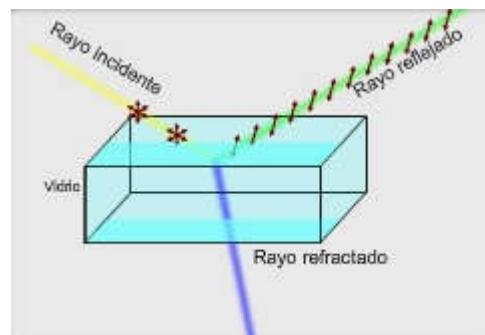


Figura 7: Polarización por reflexión. (Serrano).

Si el ángulo de incidencia es normal a la superficie, o sea es cero, el haz reflejado no será del todo polarizado. Existirá un ángulo específico para cada superficie para el cual la luz se encontrara totalmente polarizada. Para todos los demás ángulos el haz de luz estará parcialmente polarizado. Al utilizar este principio el fondo de una piscina es visible, empleando lentes polarizados se puede eliminar parcial o totalmente el reflejo producido por el agua.

Al ángulo de incidencia particular, en el que la luz reflejada está totalmente polarizada en un plano se le llama ángulo de Brewster. Figura 8. (Serrano).



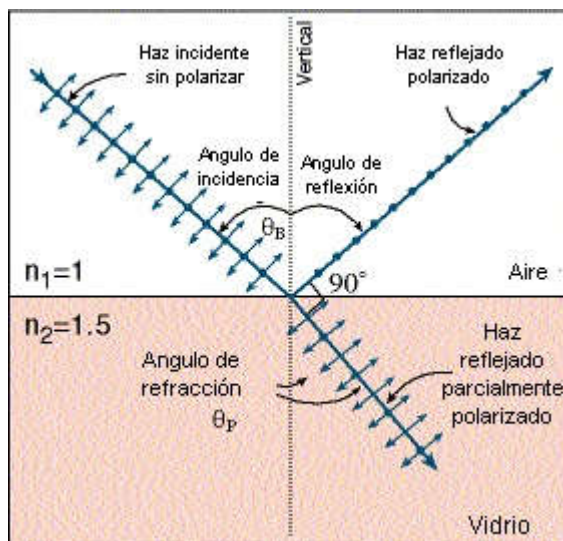


Figura 8: Ley de Brewster. (Arieli).

En el caso en que el haz de luz reflejado y el haz de luz refractado forman un ángulo de  $90^\circ$  entre sí, la luz está totalmente linealmente polarizada, paralelamente a la superficie. (Serrano).

- **Ley de Brewster**

Halliday (2007). En el caso que los haces reflejado y refractado se encuentran formando un ángulo recto entre sí, o sea:

$$\theta_B + \theta_P = 90^\circ \quad (13)$$

De la Ley de Snell:

$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin \theta_P \quad (14)$$

Al combinar estas ecuaciones se llega a:

$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin(90^\circ - \theta_B) = n_2 \cos \theta_B \quad (15)$$

$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \cos \theta_B \quad (16)$$

O sea:

$$\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (17)$$

Si el medio 1 es aire se da que:

$$\tan \theta_B = n \quad (18)$$

Donde  $n$  es el índice de refracción del medio en que incide la luz. La ecuación 17 corresponde a la Ley de Brewster. (pág. 1004).

### 3. Polarización por doble refracción

Otro método utilizado para polarizar la luz es la refracción. Figura 9. Esta ocurre cuando la luz experimenta la transición de un medio a otro. Haciendo que el haz de luz tenga una variación en la dirección de propagación. Existen algunos cristales como la calcita y el cuarzo, que cuando un haz de luz incide de forma no polarizada, ocurre un fenómeno de división de la luz en dos haces. (Serrano). Un haz, llamado ordinario, el cual cumple con la Ley de Snell en la superficie del cristal y un segundo haz llamado extraordinario, cuyo comportamiento no cumple con la Ley de Snell. (Halliday, 2007). Este fenómeno es llamado doble refracción o birrefringencia. Ambos haces presentan velocidades distintas y polarizaciones que son perpendiculares entre sí. (Serrano).

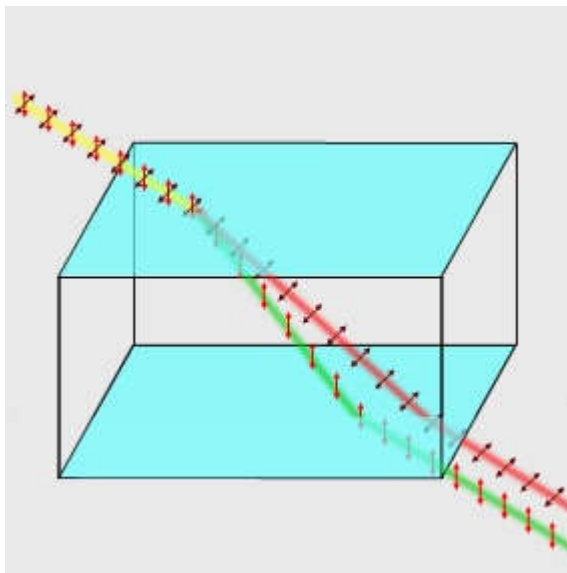


Figura 9: Polarización por refracción. (Serrano).

Según la Ley de Snell, debido a los dos índices de refracción,  $n_e$  y  $n_o$  (índice de refracción extraordinario e índice de refracción ordinario) la luz incidente tomara caminos di-

ferentes a través de un cristal birrefringente. Los haces ordinario y extraordinario presentan polarizaciones distintas.

Debido a la doble refracción, dos imágenes son apreciadas cuando un objeto es enfocado con un cristal birrefringente. La polarización de ambos haces es en un caso perpendicular a la superficie y en el otro paralela a la misma. Dichas polarizaciones son perpendiculares entre si y si se utiliza un filtro polarizador se puede eliminar una de las imágenes. (Serrano).

#### 4. Polarización por dispersión o esparcimiento

“¿Por qué el cielo es azul? ¿A qué se debe atardecer con cielo rojizo? ¿Y un día gris? La respuesta está en la dispersión de la luz y los efectos Rayleigh y Mie”. (Efecto Rayleigh y efecto Mie).

La luz del sol es una radiación electromagnética que está formada por diferentes longitudes de onda. El ojo humano solo percibe una pequeña fracción del espectro electromagnético. Figura 10. La luz blanca corresponde a la sumatoria de todas las longitudes de onda que se perciben. (Efecto Rayleigh y efecto Mie).

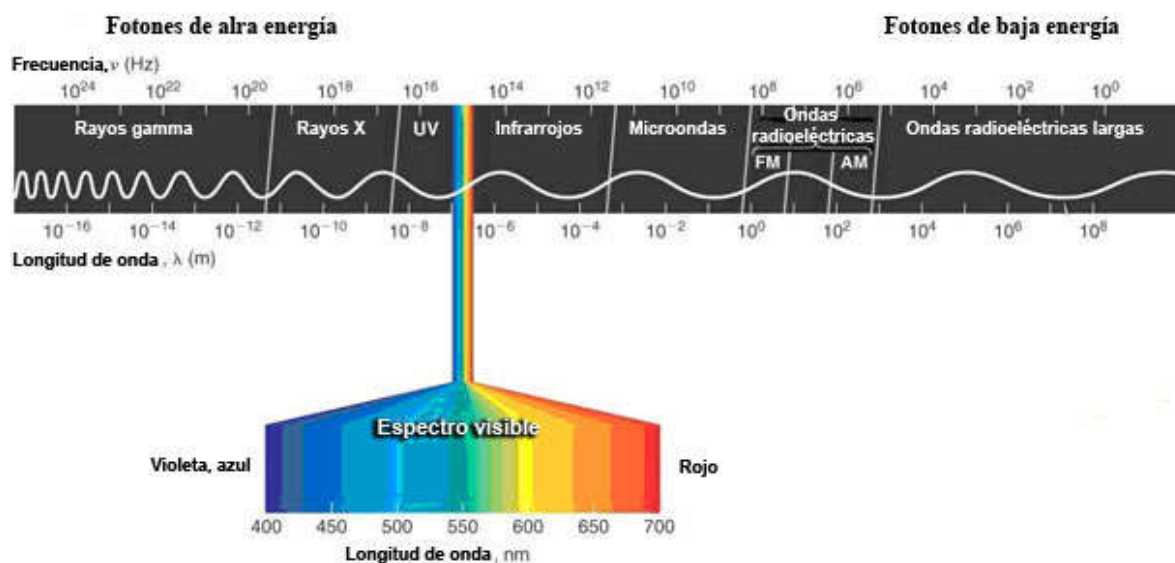


Figura 10: Espectro electromagnético. (El espectro electromagnético).

Cada color corresponde a una longitud de onda. El rojo posee una longitud de onda más larga y el violeta la más corta. La descomposición de la luz en sus colores componentes se llama dispersión o esparcimiento. Cuanto mayor sea la longitud de onda mayor será el ángulo que toma la componente de luz y por esta razón los colores se separan.

Cuando la luz llega a la atmosfera es dispersada. Las partículas pequeñas que la forman y la humedad facilitan la dispersión de los colores, algunos en mayor grado que otros. (Efecto Rayleigh y efecto Mie).

- **Efecto Rayleigh**

La radiación solar, la cual contiene energía, al impactar las partículas que forman la capa atmosférica de nuestro planeta produce el efecto Rayleigh. Las partículas reciben la energía de la luz y la dispersan en todas direcciones.

Las longitudes de onda más cortas, el azul y violeta, experimentan mayor dispersión. La luz contiene más cantidad de azul que violeta por eso el cielo se torna de este color. (Efecto Rayleigh y efecto Mie).

- **Dispersión de Mie**

Para el atardecer el Sol está más bajo. Las ondas recorren una mayor distancia y las longitudes de onda cortas se pierden. Dispersándose en mayor medida los colores rojizos.

Este efecto se produce cuando las partículas o moléculas son más grandes. La existencia de polvo es un factor que también influye. Los colores aquí dependen más de la composición de las partículas. Cuando las nubes son espesas el efecto Mie favorece los colores grises. (Efecto Rayleigh y efecto Mie).

## **2.5.Colorimetría**

Un colorímetro es un instrumento que mide el color. La colorimetría es la sección de la óptica que se encarga del análisis de los colores. (Bacharach).

Un objeto blanco, que emite luz, posee todas las longitudes de onda visibles. Sin embargo cuerpos que muestran diferentes tonalidades reflejan solo una porción limitada del espectro visible. Por ejemplo cuerpos verdes reflejan longitudes de onda entre los 500 y 570 nm y absorben la energía de las otras longitudes de onda.

- El Tono: se refiere al color percibido por un observador. Cuando se dice que un objeto es rojo o verde se está especificando el tono.
- La Saturación se refiere a que tan puro es un color, con cuanto blanco es mezclado.
- La Claridad es la medida de cuanto es reflejada la luz, aunque el objeto no cuenta con luz propia. La claridad va desde el blanco hasta el negro y abarca todos los grises.
- El Brillo se refiere a la intensidad de luz propia de un objeto.
- La Crominancia comprende el tono y la saturación.

La longitud de onda dominante se refiere al tono observable. La pureza de la excitación es el radio de luz monocromática del tono observable y la luz blanca necesaria para reproducir el color. La luminancia es la energía total proporcional a la integral del producto de la distribución y la curva de respuesta del ojo, la función de eficiencia luminosa.

Cuando la única característica de una luz es la intensidad de luz, se le llama acromática. Va en una escala de grises desde el negro hasta el blanco. La luz cromática es la que tiene que ver con color, abarca longitudes de onda de 400 a 700nm.

Las características de los colores se pueden clasificar en 3 grupos:

- Longitud de onda o matiz: es lo que diferencia los tonos de los colores. Al variar la longitud de onda se consiguen diferentes matices de colores. La longitud de onda predominante es la que dicta el matiz del color.
- Pureza o saturación: esta característica tiene que ver con el nivel de mezcla con el blanco. Un color puro, profundo, vivido o saturado no tiene mezcla con el blanco. Aunque la mezcla con el blanco no afecta la identidad del color. Igual ocurre con el negro, oscurece el color pero no lo cambia. El blanco, negro y gris poseen saturación cero y no son considerados colores.
- Luminancia o brillo se refiere a la cantidad de lúmenes de un color, el color amarillo es el que tiene mayor luminosidad. (Colorimetría).

## 2.6.Cálculo de incertidumbre

El cálculo de incertidumbre tiene que ver con aspectos de las mediciones que incluyen resolución, repetibilidad y patrones de calibración.

Siguiendo el Sistema Internacional de Unidades (SI), es necesario un sistema universal para la evaluación de incertidumbre, especialmente en los campos de la ciencia, ingeniería, comercio, la tecnología y las reglamentaciones en general. Es requerido proveer intervalos de confianza para las magnitudes a medir. (Miranda).

Para presentar el método utilizado en el cálculo de incertidumbres es necesario definir algunos términos:

- La incertidumbre de una medición: caracteriza la dispersión de los valores obtenidos del mesurando.
- Incertidumbre estándar es la incertidumbre de una medición obtenida, es una desviación estándar.
- Evaluación tipo A es la evaluación de la incertidumbre por medio de un análisis estadístico.
- Evaluación tipo B: es la evaluación de la incertidumbre por otros medios que no comprenden el análisis estadístico.
- Incertidumbre estándar combinada es igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, los cuales son las varianzas o covarianzas de otras cantidades ponderadas. De las cuales se obtiene la incertidumbre estándar.
- Incertidumbre expandida es un intervalo que abarca una gran parte de la distribución de valores obtenidos del mesurando.
- Factor de cobertura es un multiplicador de la incertidumbre estándar combinada, que resulta en la incertidumbre expandida.
- El error de medición es el valor de la medición menos el valor real del mesurando

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (19)$$

Las cantidades de medición de entrada  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , que son a veces utilizadas para determinar indirectamente el mesurando  $Y$  en la relación funcional  $f$  se pueden dividir en 2 clases:

- Cantidades que son obtenidas mediante mediciones directas, por medio de observación, repetición de mediciones o juicios basados en la experiencia.
- Cantidades que son introducidas haciendo uso de fuentes externas, asociadas a patrones calibrados, certificados o manuales. (Miranda).

### 2.6.1. Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar

La media aritmética o promedio  $\bar{q}$  de una cantidad  $q$  a la que se le han hecho  $n$  mediciones independientes, es la mejor estimación del valor esperado  $\mu_q$  de una cantidad:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (20)$$

Los valores de  $q_k$  varían aleatoriamente. El estimador de la varianza  $\sigma^2$  de la distribución de  $q$  también llamado varianza experimental es:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2 \quad (21)$$

Cuando a la ecuación 21 se le aplica la raíz cuadrada positiva se denomina desviación estándar experimental,  $s(q_k)$  y junto con la ecuación 21 describen la variabilidad de las medidas realizadas  $q_k$ . O sea la dispersión de los datos medidos alrededor de la media  $\bar{q}$ . La mejor estimación de la varianza de la media,  $\sigma^2(\bar{q}) = \sigma^2/n$  será

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (22)$$

La evaluación tipo A de la incertidumbre estándar de un conjunto de mediciones  $x_k$  se obtiene mediante la ecuación:

$$u(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (23)$$

El que tan bien  $\bar{q}$  estima el valor esperado de  $q$  se describe con la varianza experimental de la media y la desviación estándar experimental de la media y se puede utilizar como una medida de incertidumbre de  $\bar{q}$ . (Miranda). (Cálculo de incertidumbres).

### 2.6.2. Evaluación tipo B de la incertidumbre estándar

En este caso la varianza estimada  $u^2(x_i)$  y la incertidumbre estándar  $u(x_i)$  se evalúan por un juicio científico, basándose en información disponible de la variabilidad de  $X_i$ . Dado que la estimación  $x_i$  no se ha obtenido de mediciones repetidas la información se puede obtener de:

- Mediciones anteriores.
- El comportamiento y propiedades de materiales de referencia, patrones o instrumentos, se pueden obtener a través de experiencia o conocimiento general.
- Datos del fabricante.
- Certificados y calibraciones.
- Datos de referencia tomados de manuales que cuentan con incertidumbres asignadas.

En este caso  $u^2(x_i)$  y  $u(x_i)$  se les llamara varianza tipo B e incertidumbre estándar B respectivamente.

Las incertidumbres tipo A y B poseen un margen de confiabilidad semejante. (Miranda).



## **CAPÍTULO 3: Prácticas de laboratorio.**

### **3.1. Pruebas Químicas.**

El segundo semestre del año 2020 sirvió para realizar las mediciones de pH en la Escuela de IQ. Presentando la respectiva carta adjunta en anexos, la cual solicita autorización para realizar las mediciones y que se facilite el equipo requerido.

Se realizaron un total de 3 prácticas en IQ, las primeras 2 sirvieron básicamente de ensayo y/o práctica, debido a que se necesitaba realizar una medición utilizando metrología óptica. En estos 2 primeros ensayos se obtuvo únicamente 1 medición para cada muestra en cada sesión. Con estas pruebas se familiarizó con el equipo y el procedimiento, el cual incluía la calibración del pHmetro para obtener los resultados más fidedignos posibles.

Para la tercera sesión del 1 de octubre del 2020 se realizó una medición más detallada, se obtuvieron 10 mediciones para cada muestra en una sola sesión. Con su respectiva desviación estándar y varianza.

#### **3.1.1. Equipo utilizado**

4 beaker de 100 ml, para análisis mediante inserción del pH metro.

1 beaker de 400 ml. Para contener el agua destilada resultado de la limpieza del pH metro.

Agua destilada.

PH metro, marca OAKLON, p11 series, ph-mV-°C meter, placa UCR: 343431, SN: 939442.

Teléfono laboratorio IQ: 25116690.

#### **3.1.2. Procedimiento**

- Se calibra el pH metro y se procede a iniciar la medición.
- Se poseen 10 muestras de vinagre, se procede a agitar las 10 muestras.
- Se inicia con la muestra 1, se llena el beaker de 100 ml hasta la última línea y se inserta la sonda del pH metro. Se toma la medición hasta que el instrumento se estabilice o indique “listo”.
- Se saca la sonda y se procede a introducir en el beaker de 400 ml el cual contiene suficiente agua destilada para cubrir eficazmente la sonda.

- Se procede a llenar un beaker más de 100 ml con la muestra 2.
- Se toma la sonda del pH metro y se procede a lavar con agua destilada y secar sin frotar la sonda.
- Se introduce en la siguiente muestra y se realiza la lectura como en el tercer paso.
- Se repite el proceso hasta que se agoten los beaker de 100 ml. En este caso solo se utilizaron 3 ya que el cuarto presenta a simple vista un índice de refracción distinto a los otros 3. Presenta ralladuras.
- Una vez que se han llenado y medido los 3 beaker de 100 ml, se procede a retornar el contenido de los beaker a sus respectivas muestras.
- Se lavan los beaker en el fregadero y se secan para repetir el proceso con las muestras faltantes.

### **3.1.3. Resultados experimentales**

Tabla 1: Valores de acidez o pH en IQ.

Muestra			1		2		3		4		5	
Año	Color/botella	Medición	pH	Temp(°C)	pH	Temp(°C)	pH	Temp(°C)	pH	Temp (°C)	pH	Temp(°C)
17/ago/2017	claro	1	3,44	22,5	3,44	22,6	3,42	22,4	3,41	22,5	3,36	22,3
3/ago/2017	oscuro	2	3,50	22,4	3,47	22,5	3,45	22,4	3,46	22,4	3,38	22,4
30/may/2018	claro	3	3,49	22,4	3,46	22,4	3,44	22,4	3,46	22,6	3,35	22,4
30/may/2018	oscuro	4	3,46	22,4	3,44	22,4	3,43	22,4	3,46	22,5	3,36	22,4
5/ene/2019	claro	5	3,47	22,5	3,44	22,4	3,42	22,4	3,41	22,4	3,33	22,4
5/ene/2019	oscuro	6	3,47	22,5	3,45	22,4	3,43	22,4	3,43	22,5	3,36	22,4
28/may/2020	claro/vidrio	7	3,45	22,4	3,44	22,3	3,44	22,4	3,45	22,6	3,33	22,3
20/may/2020	oscuro/plástico	8	3,47	22,4	3,45	22,4	3,44	22,4	3,46	22,5	3,36	22,4
5/oct/2017	claro	9	3,46	22,5	3,45	22,4	3,44	22,4	3,44	22,4	3,36	22,4
11/jun/2017	oscuro	10	3,47	22,4	3,45	22,4	3,45	22,4	3,44	22,5	3,35	22,3
Promedio			3,47	22,44	3,45	22,42	3,44	22,40	3,44	22,49	3,35	22,37
Desviación estándar			0,02	0,051639778	0	0,078881064	0,01	3,74489E-15	0,02	0,073786479	0,02	0,048304589
Varianza			0	0,002666667	0	0,006222222	0	1,40242E-29	0	0,005444444	0	0,002333333

Muestra			6		7		8		9		10	
Año	Color/botella	Medición	pH	Temp(°C)	pH	Temp(°C)	pH	Temp(°C)	pH	Temp(°C)	pH	Temp(°C)
17/ago/2017	claro	1	3,36	22,4	3,47	22,4	3,59	22,4	3,64	22,5	3,75	22,5
3/ago/2017	oscuro	2	3,38	22,5	3,47	22,4	3,58	22,4	3,65	22,4	3,75	22,4
30/may/2018	claro	3	3,36	22,5	3,48	22,4	3,56	22,5	3,62	22,4	3,76	22,5
30/may/2018	oscuro	4	3,36	22,5	3,48	22,4	3,56	22,4	3,62	22,4	3,74	22,5
5/ene/2019	claro	5	3,33	22,5	3,47	22,4	3,55	22,4	3,63	22,5	3,74	22,4
5/ene/2019	oscuro	6	3,36	22,5	3,47	22,6	3,54	22,6	3,61	22,5	3,75	22,5
28/may/2020	claro/vidrio	7	3,34	22,6	3,45	22,4	3,57	22,5	3,62	22,4	3,75	22,4
20/may/2020	oscuro/plástico	8	3,37	22,4	3,45	22,4	3,55	22,4	3,62	22,4	3,74	22,5
5/oct/2017	claro	9	3,36	22,4	3,47	22,4	3,57	22,5	3,62	22,4	3,74	22,5
11/jun/2017	oscuro	10	3,37	22,4	3,47	22,4	3,56	22,4	3,62	22,4	3,75	22,5
Promedio			3,36	22,47	3,47	22,42	3,56	22,45	3,63	22,43	3,75	22,47
Desviación estándar			0	0,067494856	0	0,063245553	0	0,070710678	0	0,048304589	0,01	0,048304589
Varianza			0	0,004555556	0	0,004	0	0,005	0	0,002333333	0	0,002333333

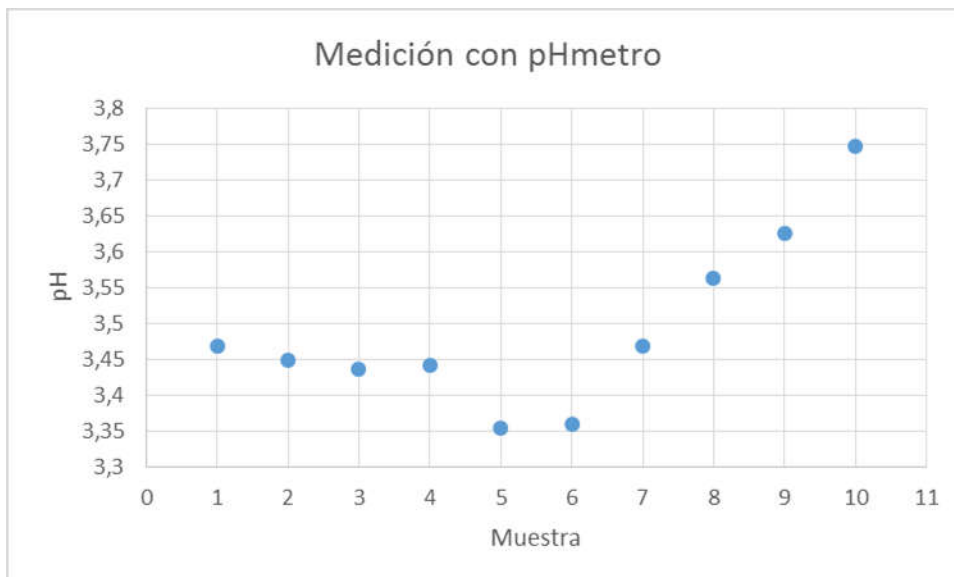


Figura 11: Gráfica de pH o acidez.

### 3.2. Mediciones de transmitancia.

Estas mediciones iniciaron el 20 de octubre de 2020 realizando una revisión del material bibliográfico y del equipo para realizar montaje del arreglo apropiado y tomar las mediciones correspondientes.

Se procedió a realizar una medición de la transmitancia de los beaker vacíos, se realizó en 3 puntos diferentes para cada beaker.

#### 3.2.1. Equipo utilizado

1 beaker de 100 ml, para realizar el análisis con 80 ml de vinagre (beaker lleno)

1 beaker de 250 ml, para realizar pruebas con 80 ml y 150ml de vinagre.

1 beaker de 400 ml, para verter vinagre y realizar decantaciones de las muestras de vinagre.

Láser HeNe, marca Melles Griot,  $\lambda$ : 633 nm, serie: 5450BS.

Láser GreNe, marca Melles Griot,  $\lambda$ : 543 nm, serie: 151850 (placa UCR).

Base sólida de aluminio y acero inoxidable, tubos aluminio con guías para angulares.

Sensor marca Coherent, modelo: LM-2VLS, serie: 1207K06. Gimbal.

Medidor de potencia (consola) marca Coherent, modelo: Fieldmaster, serie: 1184K06

Tabla 2: Mediciones de referencia con beaker vacío, laser rojo.

Beaker	100 ml			250 ml		
	80 ml	50 ml	20 ml	200 ml	125 ml	50 ml
1	5,74	5,52	5,52	5,85	5,83	5,78
2	5,73	5,62	5,55	5,87	5,90	5,80
3	5,77	5,65	5,82	5,80	5,76	5,80
4	5,71	5,60	5,76	5,75	6,02	5,78
5	5,72	5,60	5,50	5,69	5,69	5,78
6	5,76	5,58	5,63	5,87	5,75	5,78
7	5,75	5,57	5,68	5,84	5,82	5,83
8	5,74	5,64	5,63	5,80	5,80	5,75
9	5,84	5,53	5,56	5,78	5,78	5,79
Promedio (mW)	5,751	5,590	5,628	5,806	5,817	5,788
Desviación estándar	0,03822448	0,045	0,10940496	0,05981453	0,09604686	0,02166667
Varianza	0,00146111	0,002025	0,01196944	0,00357778	0,009225	0,00046944
Offset	0,00161	0,00161	0,00161	0,00161	0,00161	0,00161
Potencia transmitida	5,750	5,588	5,626	5,804	5,815	5,786
Potencia directa	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94
Perdida	1,190	1,352	1,314	1,136	1,125	1,154

Tabla 3: Mediciones de referencia con beaker vacío, laser verde.

Beaker	100 ml			250 ml		
	80 ml	50 ml	20 ml	200 ml	125 ml	50 ml
1	206	209	220	222	222	222
2	221	218	220	222	226	222
3	225	212	207	223	219	226
4	224	221	210	224	222	221
5	220	218	208	224	227	230
6	224	214	215	223	220	210
7	212	220	207	225	220	229
8	219	212	218	227	220	228
9	224	217	216	223	222	225
10	221	214	211	224	223	221
Promedio ( $\mu$ W)	219,600	215,500	213,200	223,700	222,100	223,400
Desviación estándar	6,09553571	3,89444048	5,22387681	1,49443412	2,64365067	5,77735041
Varianza	37,1555556	15,1666667	27,2888889	2,23333333	6,98888889	33,3777778
Offset	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Potencia transmitida	218,3	214,2	211,9	222,4	220,8	222,1
Potencia directa	272	272	272	272	272	272
Perdida	53,7	57,8	60,1	49,6	51,2	49,9

Luego se procedió a tomar las mediciones de transmitancia de los beaker con el vinagre. Para esta prueba óptica se requirieron en total 3 sesiones, la primera se realizó el 10 de diciembre del 2020, las restantes 2 pruebas con láser rojo se realizaron el 16 y 24 de febrero con la debida autorización debido a la situación sanitaria que vive el país.

Para realizar un mejor análisis estas pruebas fueron realizadas con láser verde también, esta medición se realizó el 3 de marzo del 2021. Esta prueba se logró realizar en una sola sesión gracias a la pericia obtenida con las sesiones anteriores.

También se procedió a dividir el sensor en 9 secciones para determinar la zona más sensitiva y realizar las mediciones en esta sección. El punto con mayor sensibilidad para láser rojo fue el 5 y para láser verde fue en 3 como se muestra en la siguiente tabla.

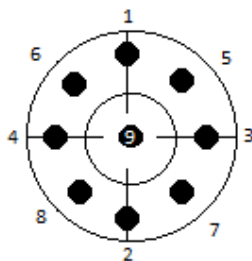


Figura 12: Vista de las secciones del sensor.

Tabla 4: Valores de potencia en el sensor.

Punto	Laser rojo (mW)	Laser verde ( $\mu$ W)
1	6,93	253
2	6,86	260
3	6,89	271
4	6,93	252
5	6,93	266
6	6,81	238
7	6,88	268
8	6,46	209
9	6,85	267

### 3.2.2. Procedimiento

- Se procede a ubicar el láser en la sección más sensitiva del dispositivo para lograr una sensibilidad cercana a 6,93 mW para laser rojo (punto 5, figura 12) y 271 $\mu$ W para verde (punto 3, figura 12).
- Se mide el valor de offset y se anota.
- Se coloca el angular a la altura correcta para realizar la medición. El haz debe atravesar al beaker de 100 ml a una lectura de 50 ml. Se utiliza inicialmente el beaker de 100 ml vacío para lograr una potencia en la pantalla de 5,59 mW para laser rojo (Tabla 2) y 215,5  $\mu$ W para laser verde (Tabla 3). Dato obtenido utilizando metrología óptica en ensayos anteriores de laboratorio.
- Se llena el beaker a 80 ml con vinagre y se procede a realizar y anotar la medición.
- Se cambia al beaker de 250 ml y se procede a ajustar la posición del angular para obtener un dato lo más cercano posible a 5,7875 mW para láser rojo (Tabla 2) y 223,4 mW para láser verde (Tabla 3). Dato obtenido utilizando metrología óptica en ensayos anteriores de laboratorio. El haz debe atravesar al beaker de 250 ml a una lectura de 50 ml también.
- Se vierten los 80 ml de la medición anterior en el beaker de 250 ml y se procede a realizar y anotar la medición.
- Se llena el beaker de 250 ml a 150 ml con el vinagre restante y se procede a realizar y anotar la medición.
- Se repite el procedimiento para todas las muestras.

### 3.2.3. Resultados experimentales

Se realizaron las mediciones con láser rojo en dos sesiones, muestras 1, 3, 5,10 el 16 febrero 2021 y 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10 el 24 febrero 2021.

Las pruebas con láser verde se realizaron en una sola sesión el 3 marzo de 2021. Esto debido a que se cuenta con más destreza por las sesiones anteriores y es posible lograr la medición en una sola sesión utilizando material alistado con anterioridad.



Tabla 5: Potencia en sensor de medición utilizando laser rojo.

Laser apunta en 50 ml para ambos beaker, HeNe																					
		Potencia xW																			
Muestra	Contenido	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor
Beaker 100ml vacío		5,53E-03		5,68E-03		5,60E-03		5,72E-03		5,60E-03		5,61E-03		5,53E-03		5,59E-03		5,69E-03		5,59E-03	
Beaker 100ml	80ml	40,0E-6	45,0E-6	26,1E-6	27,4E-6	686,0E-6	718,0E-6	749,0E-6	793,0E-6	183,0E-6	197,0E-6	3,48E-06	3,82E-06	981,0E-6	1,02E-03	213,0E-6	221,0E-6	2,17E-03	2,59E-03	84,7E-6	104,0E-6
Valor medio	80ml	42,50E-6		26,75E-6		702,00E-6		771,00E-6		190,00E-6		3,65E-6		1,00E-3		217,00E-6		2,38E-3		94,35E-6	
normalizado		0,018		0,011		0,295		0,324		0,080		0,002		0,420		0,091		1,000		0,040	
Beaker 250ml vacío		5,70E-03		5,40E-03		5,47E-03		5,60E-03		5,50E-03		5,55E-03		5,52E-03		5,51E-03		5,55E-03		5,44E-03	
Beaker 250ml	80ml	16,9E-6	18,6E-6	10,0E-6	10,7E-6	7,10E-6	9,25E-6	484,0E-6	523,0E-6	99,0E-6	105,0E-6	88,1E-6	97,0E-6	653,0E-6	728,0E-6	108,0E-6	114,0E-6	2,04E-03	2,15E-03	356,0E-6	372,0E-6
Valor medio	80ml	17,75E-6		10,35E-6		8,18E-6		503,50E-6		102,00E-6		92,55E-6		690,50E-6		111,00E-6		2,10E-3		364,00E-6	
normalizado		0,008		0,005		0,004		0,240		0,049		0,044		0,330		0,053		1,000		0,174	
Beaker 250ml	150ml	15,1E-6	16,5E-6	8,81E-6	9,25E-6	8,45E-6	9,15E-6	491,0E-6	526,0E-6	75,1E-6	79,2E-6	85,7E-6	94,9E-6	687,0E-6	719,0E-6	105,0E-6	114,0E-6	1,97E-03	2,13E-03	189,0E-6	206,0E-6
Valor medio	150ml	15,80E-6		9,03E-6		8,80E-6		508,50E-6		77,15E-6		90,30E-6		703,00E-6		109,50E-6		2,05E-3		197,50E-6	
normalizado		0,008		0,004		0,004		0,248		0,038		0,044		0,343		0,053		1,000		0,096	
pH normalizado		0,925		0,920		0,916		0,918		0,894		0,896		0,925		0,950		0,967		0,999	

Las columnas sombreadas corresponden a mediciones realizadas el 16 de febrero, las otras fueron realizadas el 24 de febrero 2021.

Tabla 6: Detalle de fechas para las muestras.

Año	Coloración/botella	Muestra	ph
17/ago/2017	claro	1	3,47
3/ago/2017	oscuro	2	3,45
30/may/2018	claro	3	3,44
30/may/2018	oscuro	4	3,44
5/ene/2019	claro	5	3,35
5/ene/2019	oscuro	6	3,36
28/may/2020	claro/vidrio	7	3,47
20/may/2020	oscuro/plástico	8	3,56
5/oct/2017	claro	9	3,63
11/jun/2017	oscuro	10	3,75

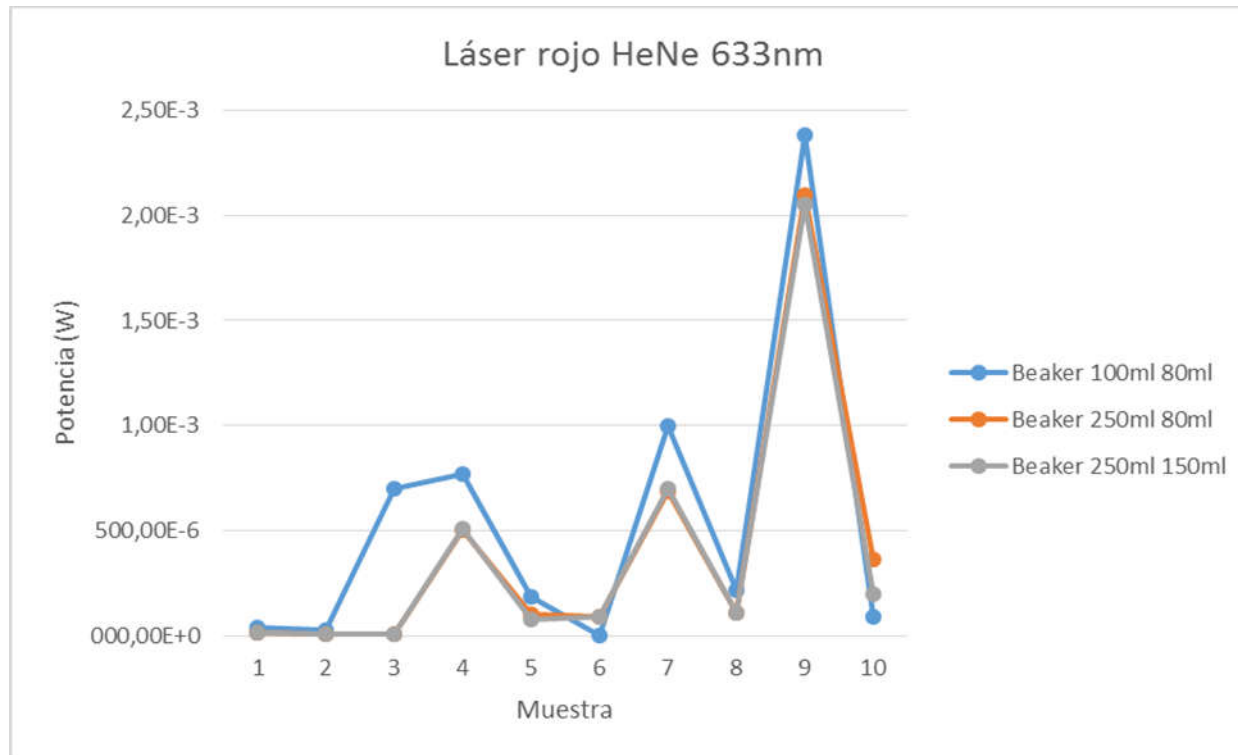


Figura 13: Transmitancia a través de las muestras individuales, laser rojo.

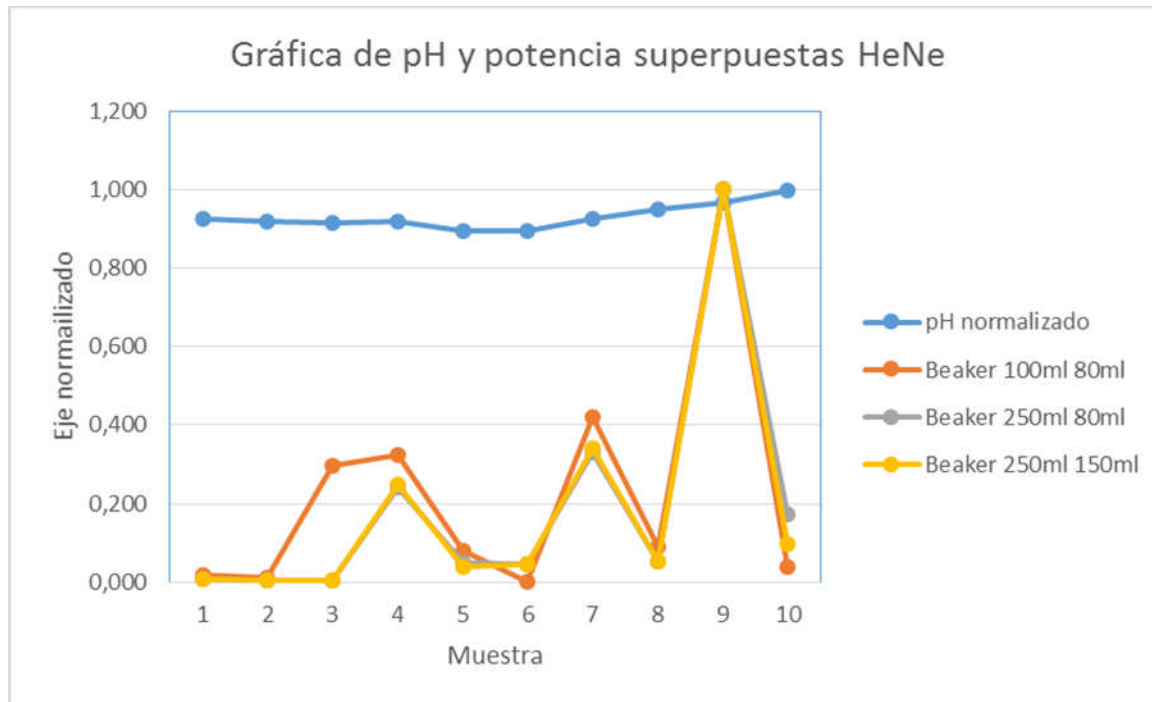


Figura 14: Gráfica de pH y potencia normalizada, laser rojo.

Tabla 7: Potencia en sensor de medición utilizando laser verde.

Laser apunta en 50 ml para ambos beaker, GreNe																					
Potencia xW																					
	Contenido	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor	menor	mayor
Beaker 100ml vacío		211,0E-6		213,0E-6		215,0E-6		217,0E-6		214,0E-6		217,0E-6		216,0E-6		217,0E-6		215,0E-6		215,0E-6	
Beaker 100ml	80ml	363,0E-9	370,0E-9	470,0E-9	478,0E-9	2,21E-6	2,24E-6	2,64E-6	2,75E-6	931,0E-9	947,0E-9	791,0E-9	798,0E-9	10,8E-6	11,0E-6	1,19E-6	1,22E-6	1,61E-06	1,73E-06	1,07E-06	1,09E-06
Valor medio	80ml	366,50E-9		474,00E-9		2,23E-6		2,70E-6		939,00E-9		794,50E-9		10,90E-6		1,21E-6		1,67E-6		1,08E-6	
normalizado		0,219		0,284		1,332		1,614		0,562		0,476		6,527		0,722		1,000		0,647	
Beaker 250ml vacío		220,0E-6		220,0E-6		216,0E-6		216,0E-6		219,0E-6		216,0E-6		218,0E-6		213,0E-6		231,0E-6		233,0E-6	
Beaker 250ml	80ml	352,0E-9	361,0E-9	523,0E-9	530,0E-9	1,95E-6	1,97E-6	1,92E-6	1,98E-6	460,0E-9	466,0E-9	794,0E-9	801,0E-9	6,97E-6	7,02E-6	361,0E-9	368,0E-9	13,6E-6	14,1E-6	1,01E-06	1,04E-06
Valor medio	80ml	356,50E-9		526,50E-9		1,96E-6		1,95E-6		463,00E-9		797,50E-9		7,00E-6		364,50E-9		13,85E-6		1,03E-6	
normalizado		0,026		0,038		0,142		0,141		0,033		0,058		0,505		0,026		1,000		0,074	
Beaker 250ml	150ml	286,0E-9	290,0E-9	440,00E-9	451,00E-9	1,72E-6	1,74E-6	1,79E-6	1,84E-6	319,0E-9	325,0E-9	677,0E-9	685,0E-9	6,28E-6	6,45E-6	320,0E-9	326,0E-9	11,8E-6	12,2E-6	656,0E-9	659,0E-9
Valor medio	150ml	288,00E-9		445,50E-9		1,73E-6		1,82E-6		322,00E-9		681,00E-9		6,37E-6		323,00E-9		12,00E-6		657,50E-9	
normalizado		0,024		0,037		0,144		0,151		0,027		0,057		0,530		0,027		1,000		0,055	
pH normalizado		0,925		0,920		0,916		0,918		0,894		0,896		0,925		0,950		0,967		0,999	

Gráfica 2: Potencia a través de las muestras individuales

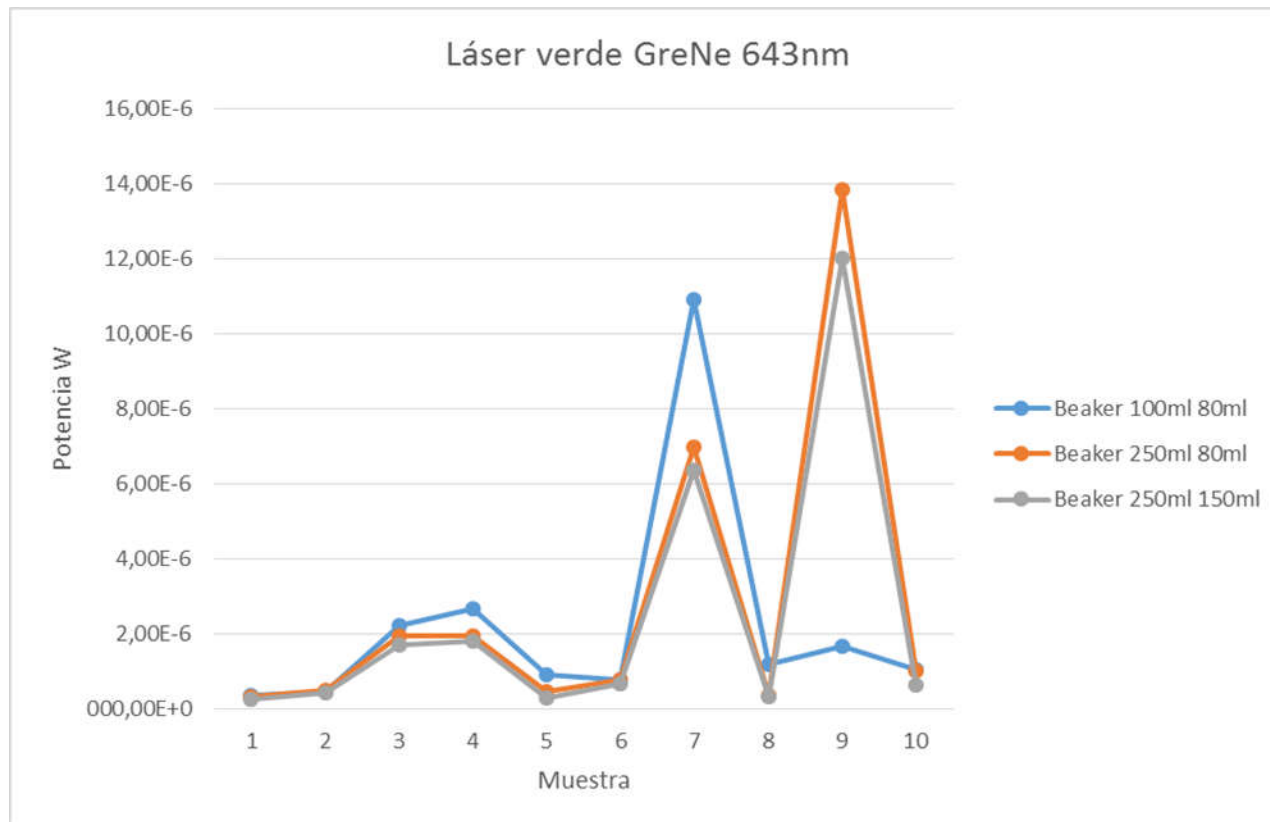


Figura 15: Transmitancia a través de las muestras individuales, laser verde.

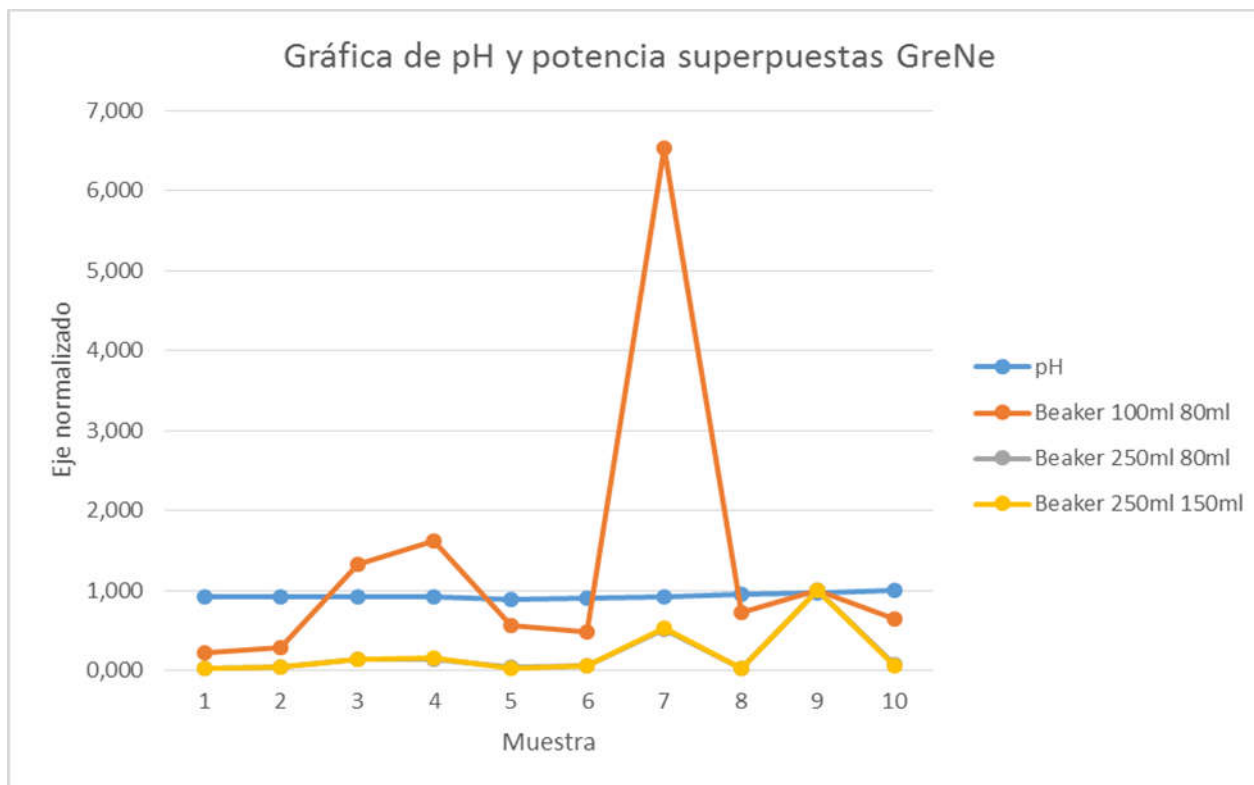


Figura 16: Gráfica de pH y potencia normalizada, laser verde.

### **3.3.Pruebas de potencia de polarización.**

Inicialmente se realizaron con láser rojo el 14 y 21 de abril de 2021, luego se realizó la misma práctica pero esta vez utilizando laser verde los días 19 y 29 de julio de 2021. En esta segunda sesión se repitieron las pruebas de las muestras 2, 3, 4, 5, 6 y 9 para obtener curvas más redondeadas.

Las pruebas con láser rojo fueron mejor percibidas por el ojo humano. El haz no era interrumpido y atravesaba el líquido hasta impactar el sensor. En las pruebas con láser verde el haz en algunas muestras no era percibido por el ojo humano después de atravesar el vinagre dentro del beaker de medición. Sin embargo la pantalla de la consola de medición mostraba datos con ciertas variaciones y fueron anotados y graficados sin problema.

#### **3.3.1. Equipo utilizado**

1 beaker de 250 ml, para realizar pruebas con 150ml de vinagre.

Láser HeNe, marca Melles Griot,  $\lambda$ : 633 nm, serie: 5450BS.

Láser GreNe, marca Melles Griot,  $\lambda$ : 543 nm, serie: 151850 (placa UCR).

Base sólida de aluminio Thorlabs.

Banco óptico OS-9103.

Traslador angular y portador de componentes OS-9106A.

Sensor marca Coherent, modelo: LM-2VLS, serie: 1207K06. Gimbal.

Medidor de potencia (consola) marca Coherent, modelo: Fieldmaster, serie: 1184K06

#### **3.3.2. Procedimiento**

- Se asegura que la consola medidora esté funcionando con el  $\lambda$  adecuado, en este caso 633nm u 543nm.
- Se coloca el polarizador a una lectura de  $180^\circ$  en el segundo portador de componentes.
- Se procede a ubicar el beaker vacío sobre el traslador angular y se procede a realizar una medición para alinear.



- Se vierten 150 ml de la muestra 1 de vinagre en el beaker y se asegura que el haz incida en el detector para realizar la lectura.
- Se gira el polarizador  $20^\circ$  a la lectura de  $160^\circ$  y se realiza la medición, se giran otros  $20^\circ$  hasta la lectura de  $140^\circ$  y se realiza la medición. Se continúa realizando mediciones de  $20^\circ$  en  $20^\circ$  hasta que se logre detectar el máximo de potencia en la consola.
- De ser necesario se procede a medir  $10^\circ$  a la derecha y  $10^\circ$  a la izquierda del máximo para verificación.
- Se regresa la muestra a su respectiva botella, se limpia el beaker utilizando un papel húmedo con agua y uno seco.
- Se procede a realizar las mediciones de las otras nueve muestras.

### 3.3.3. Resultados experimentales

#### Laser rojo HeNe:

Tabla 8: Tabla de datos de polarización, muestra 1.

Muestra 1		
Beaker vacío		237,0E-6
	Giro	
180	0	661,0E-9
160	20	860,0E-9
140	40	1,35E-06
120	60	1,95E-06
110	70	2,06E-06
100	80	2,21E-06
90	90	2,30E-06
80	100	2,06E-06

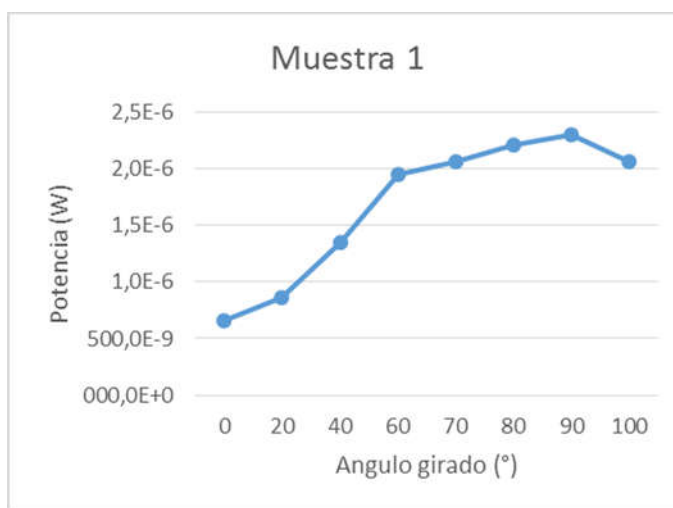


Figura 17: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 1.

Tabla 9: Tabla de datos de polarización, muestra 2.

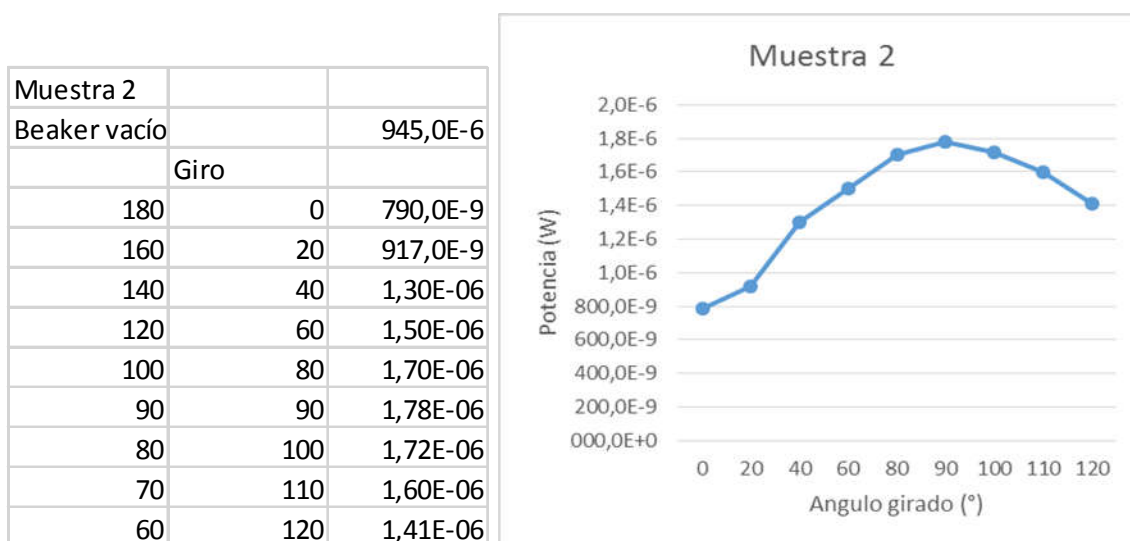


Tabla 10: Tabla de datos de polarización, muestra 3.

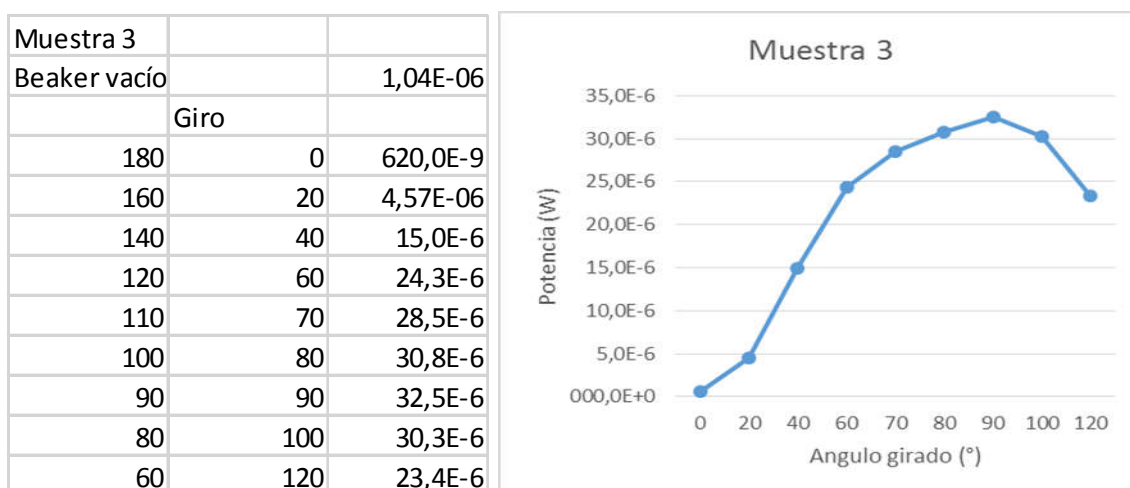


Tabla 11: Tabla de datos de polarización, muestra 4.

Muestra 4		
Beaker vacío		846,0E-9
	Giro	
180	0	622,0E-9
160	20	11,5E-6
140	40	32,7E-6
120	60	58,9E-6
110	70	69,0E-6
100	80	79,2E-6
90	90	80,0E-6
80	100	75,7E-6
60	120	55,2E-6

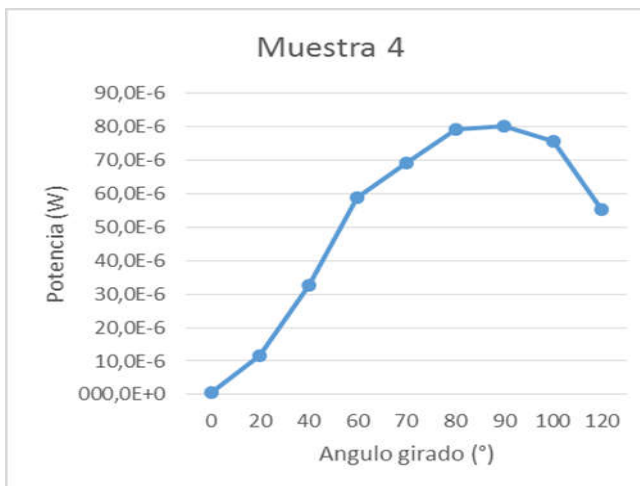


Figura 20: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 4.

Tabla 12: Tabla de datos de polarización, muestra 5.

Muestra 5		
Beaker vacío		9,66E-07
	Giro	
180	0	580,0E-9
160	20	880,0E-9
140	40	1,48E-06
120	60	2,18E-06
100	80	2,45E-06
90	90	2,68E-06
80	100	2,63E-06
70	110	2,42E-06
60	120	2,14E-06

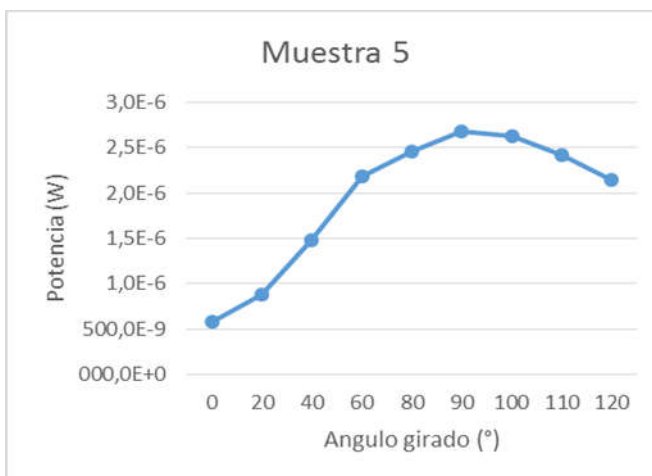


Figura 21: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 5.

Tabla 13: Tabla de datos de polarización, muestra 6.

Muestra 6		
Beaker vacío		3,33E-06
	Giro	
180	0	602,0E-9
160	20	1,55E-06
140	40	3,50E-06
120	60	6,20E-06
110	70	6,83E-06
100	80	7,18E-06
90	90	7,49E-06
80	100	6,91E-06
60	120	5,60E-06

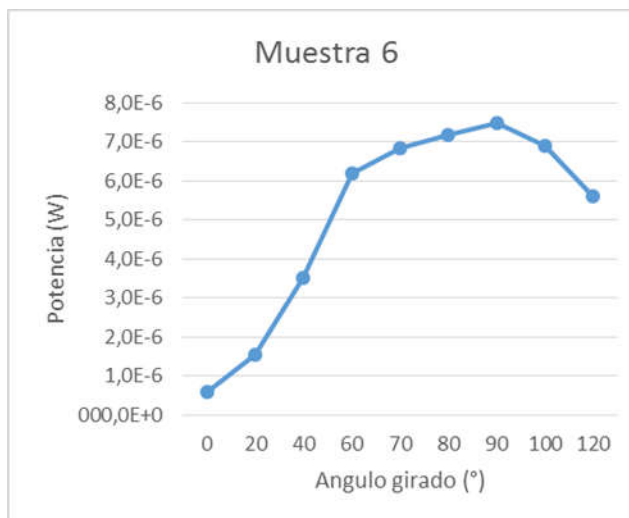


Figura 22: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 6.

Tabla 14: Tabla de datos de polarización, muestra 7.

Muestra 7		
Beaker vacío		1,30E-06
	Giro	
180	0	818,0E-9
160	20	20,5E-6
140	40	83,4E-6
120	60	144,0E-6
110	70	159,0E-6
100	80	172,0E-6
90	90	184,0E-6
80	100	161,0E-6
60	120	126,0E-6

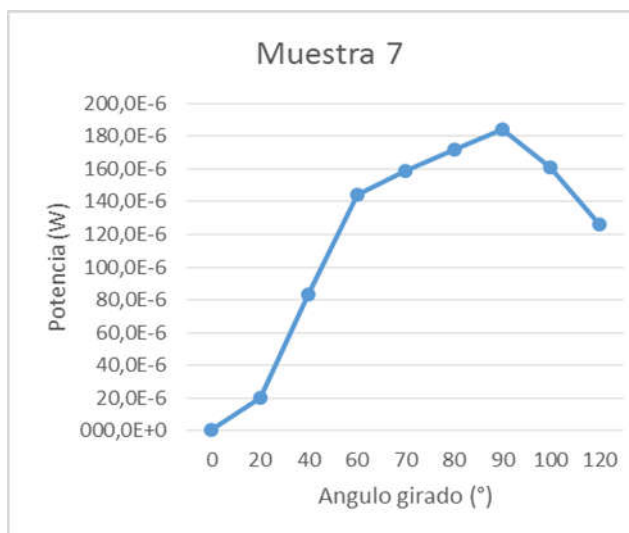


Figura 23: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 7.

Tabla 15: Tabla de datos de polarización, muestra 8.

Muestra 8		
Beaker vacío		818,0E-9
	Giro	
180	0	591,0E-9
160	20	3,52E-06
140	40	10,1E-6
120	60	15,7E-6
110	70	21,0E-6
100	80	16,1E-6
90	90	23,1E-6
80	100	7,37E-06
60	120	15,4E-6



Figura 24: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 8.

Tabla 16: Tabla de datos de polarización, muestra 9.

Muestra 9		
Beaker vacío		1,09E-06
	Giro	
180	0	655,0E-9
160	20	28,2E-6
140	40	81,2E-6
130	50	127,0E-6
120	60	111,0E-6
110	70	180,0E-6
100	80	42,0E-6
80	100	10,6E-6
60	120	7,22E-06

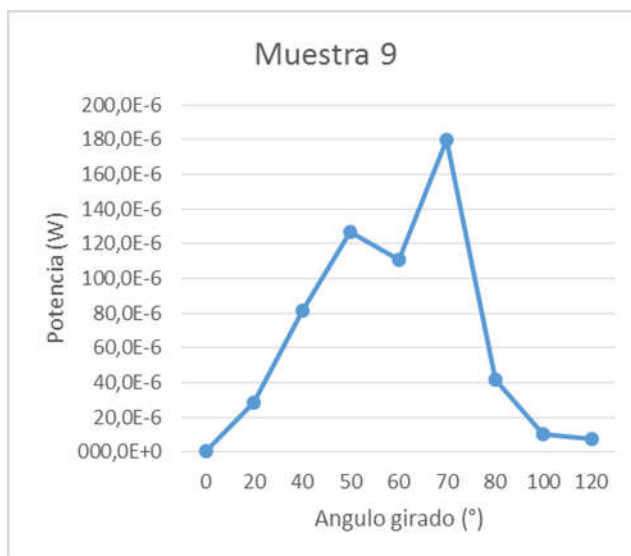


Figura 25: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 9.

Tabla 17: Tabla de datos de polarización, muestra 10.

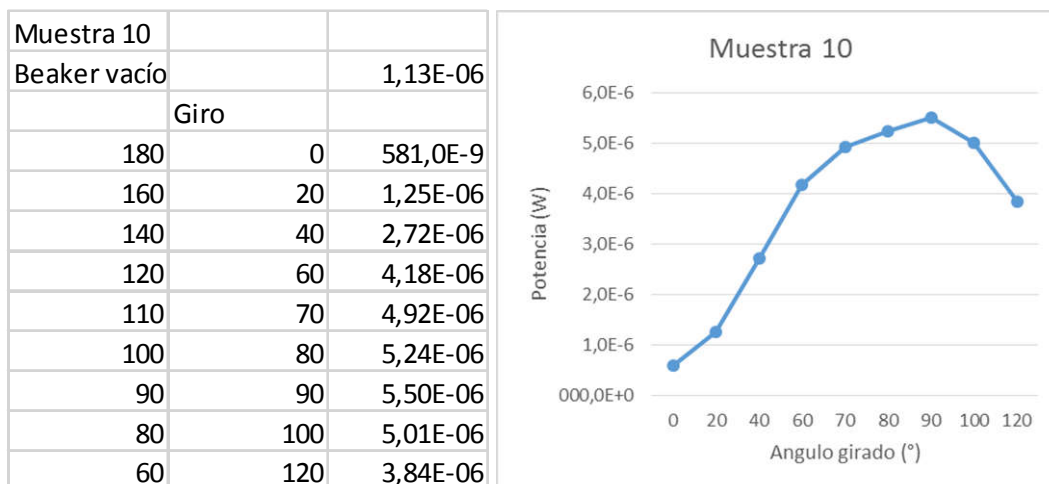


Figura 26: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 10.

**Laser Verde GreNe:**

Tabla 18: Tabla de datos de polarización, muestra 1.

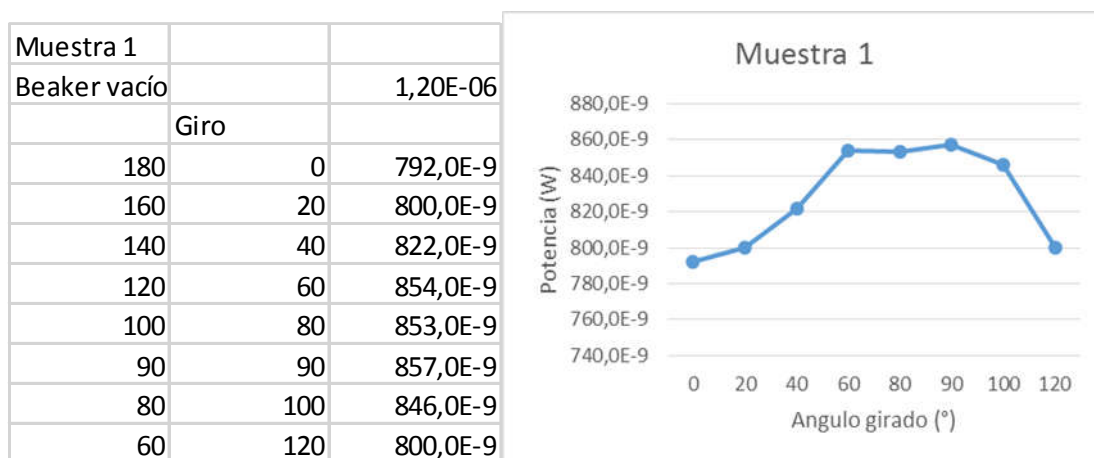


Figura 27: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 1.

Tabla 19: Tabla de datos de polarización, muestra 2.

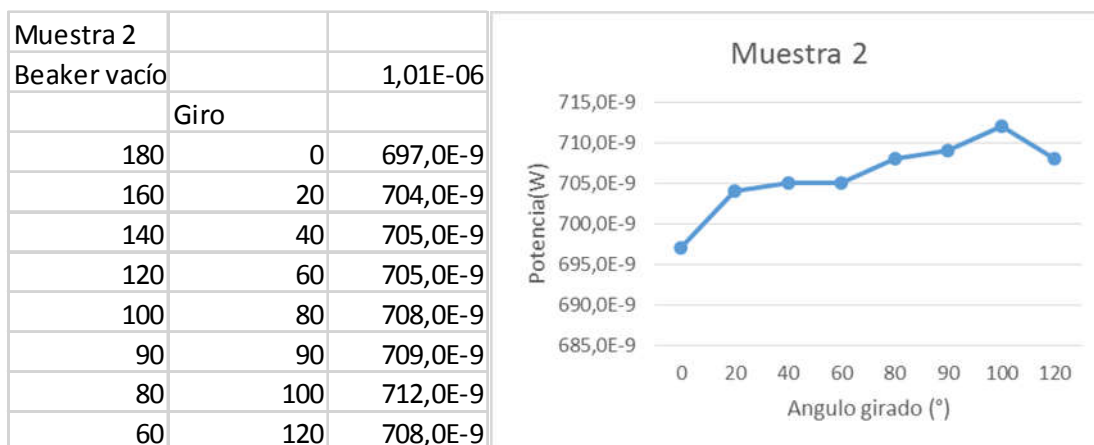


Figura 28: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 2.

Tabla 20: Tabla de datos de polarización, muestra 3.

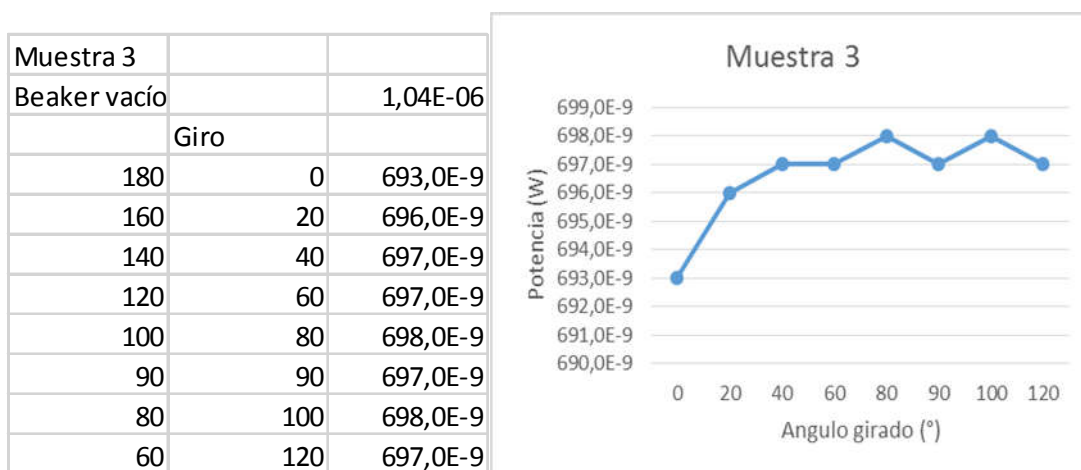


Figura 29: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 3.

Tabla 21: Tabla de datos de polarización, muestra 4.

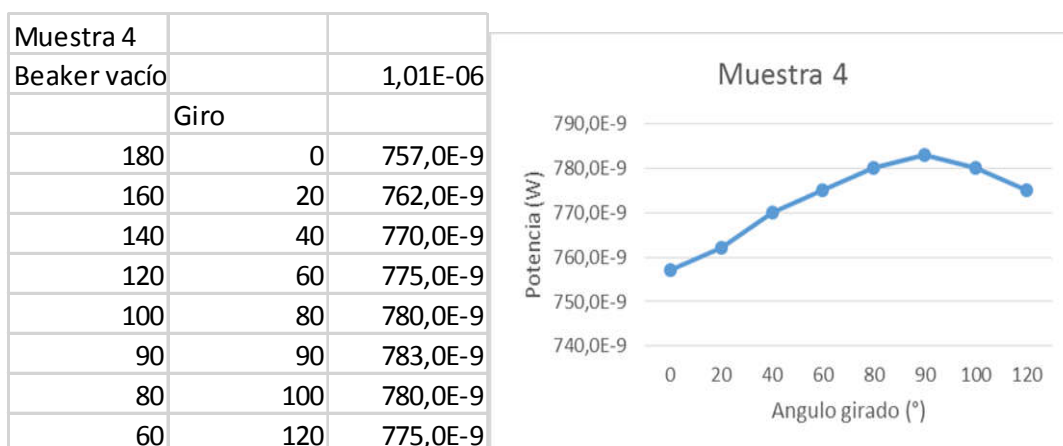


Figura 30: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 4.

Tabla 22: Tabla de datos de polarización, muestra 5.

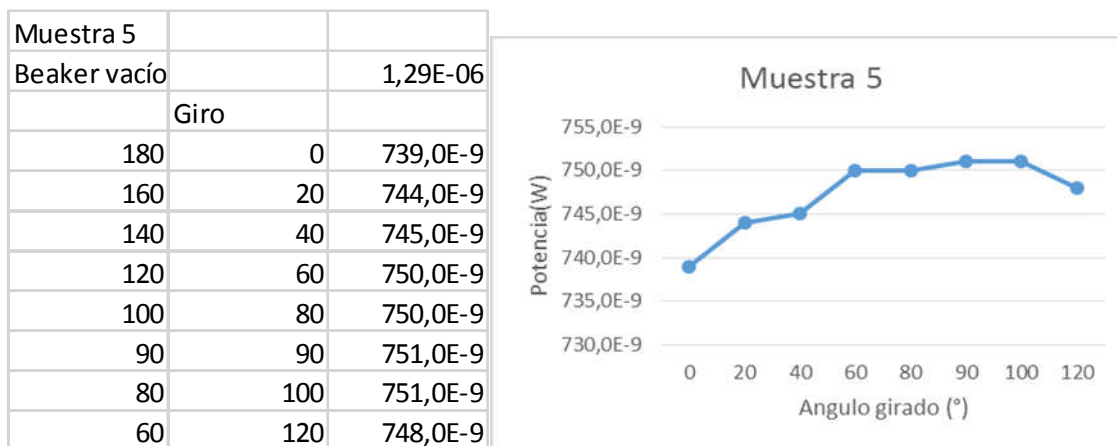


Figura 31: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 5.



Tabla 23: Tabla de datos de polarización, muestra 6.

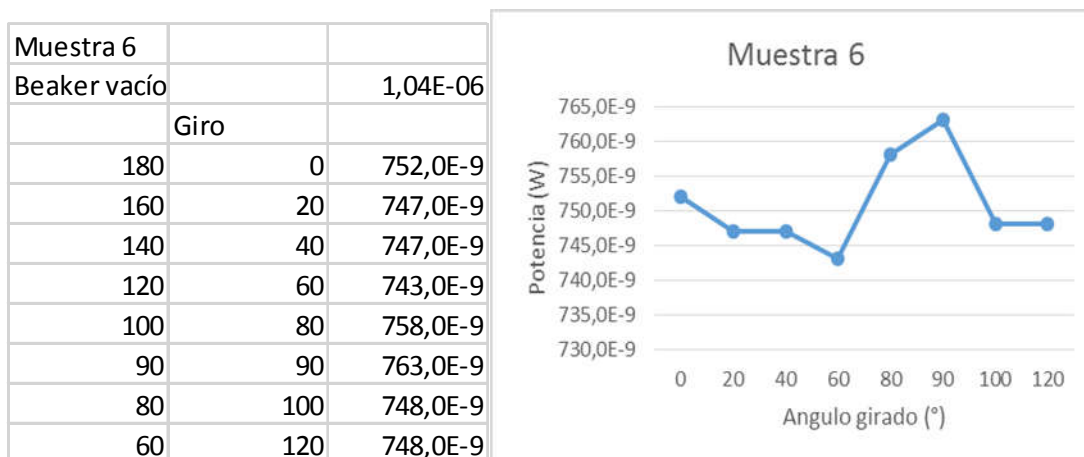


Figura 32: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 6.

Tabla 24: Tabla de datos de polarización, muestra 7.

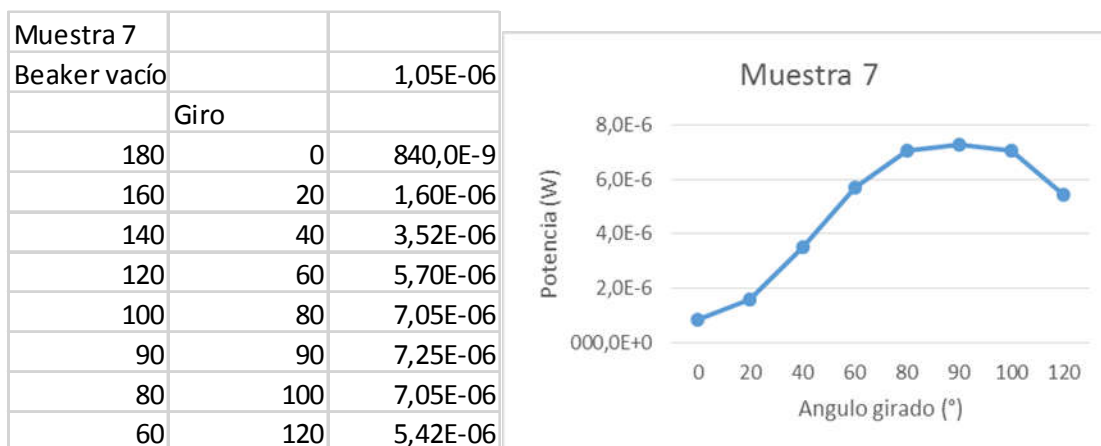


Figura 33: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 7.

Tabla 25: Tabla de datos de polarización, muestra 8.

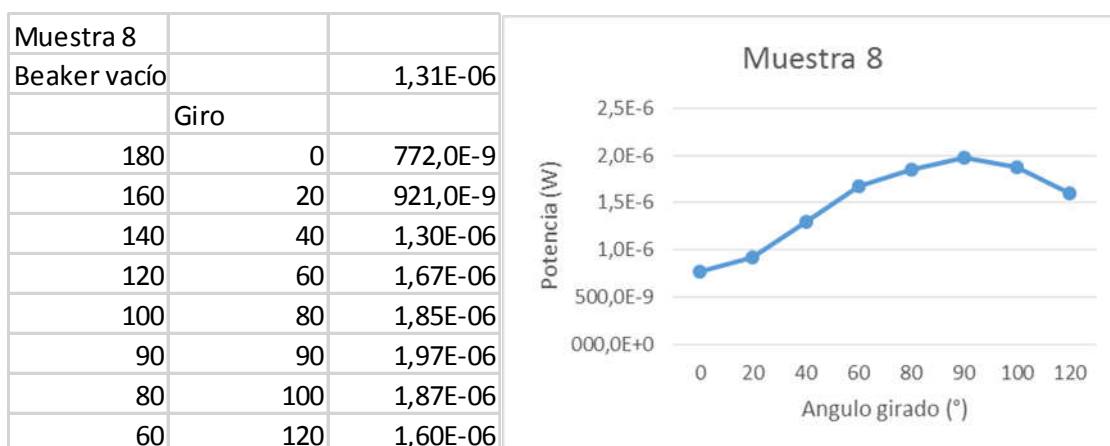


Figura 34: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 8.

Tabla 26: Tabla de datos de polarización, muestra 9.

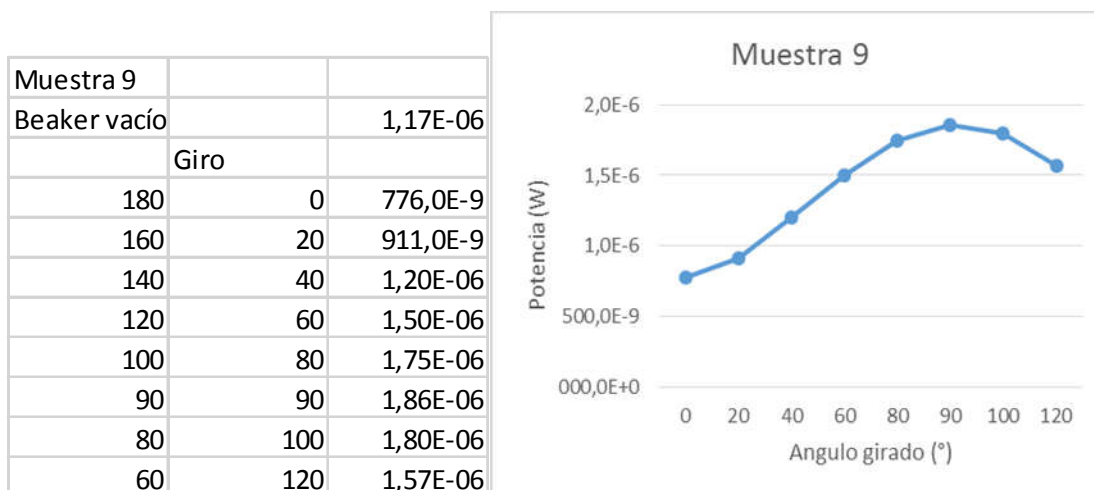
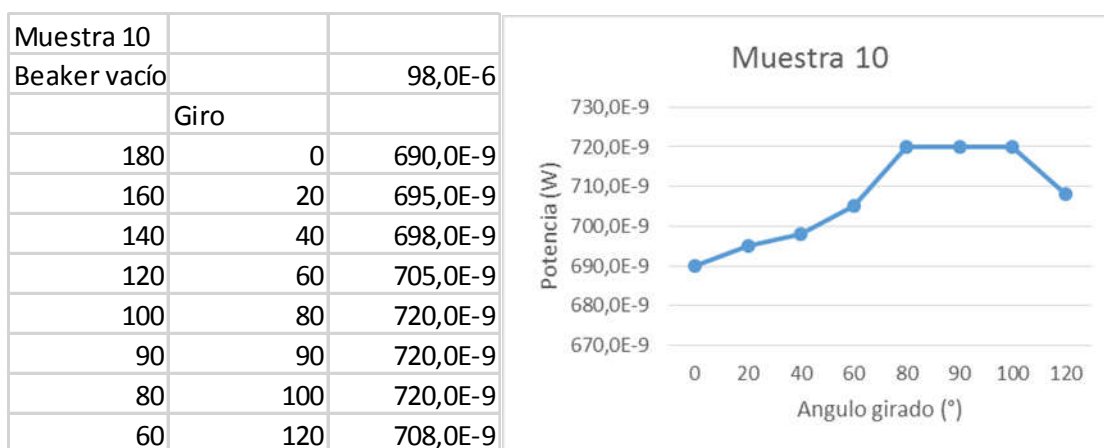


Figura 35: Gráfica de pruebas de polarización, muestra 9.

Tabla 27: Tabla de datos de polarización, muestra 10.



## **CAPÍTULO 4: Conclusiones y recomendaciones**

La situación sanitaria del país no permite una cadencia apropiada a la hora de realizar las diferentes mediciones de cada sesión de laboratorio, sin embargo se trabajó al máximo posible permitido para obtener los resultados experimentales óptimos en todas las pruebas realizadas.

Las pruebas químicas fueron las primeras en realizarse, estas se llevaron a cabo en la Escuela de IQ. Se realizaron 3 sesiones de las cuales las 2 primeras sirvieron de práctica y familiarización con el equipo dado que se necesitaban al menos 10 datos por muestra para realizar un análisis utilizando metrología óptica.

De la figura 11 se puede observar que la muestra 8 posee un nivel de acidez menor y las muestras 5 y 6 poseen un pH más bajo indicando un nivel de acidez mayor. Esto puede ser debido a que durante el tiempo de añejamiento de las muestras 5 y 6, año 2019, se produjo una explosión de las botellas almacenadoras, con lo que consiguientemente se tuvo que monitorear más seguido la presión en las botellas y despresurizar más a menudo para evitar las explosiones. La muestra 8 fue almacenada en una botella de plástico como se puede observar en la tabla 6 y esto en conjunto con el tiempo de añejamiento puede ser la causa de la alcalinidad de esta muestra.

La alcalinidad de las muestras 9 y 10 del año 2017 es evidente, estas muestras presentan un sabor más agrio que ácido y esto puede ser debido a la presurización en las botellas durante el añejamiento.

El nivel de las demás muestras 1, 2, 3, 4, 7 está dentro de los valores esperados de acidez para vinagre.

Estas pruebas se utilizaran para comparación con los resultados de las pruebas de transmitancia a realizarse durante el segundo semestre del 2020 y primer semestre del 2021 de ser necesario. Básicamente las diferentes muestras exhiben niveles de acidez semejantes sin embargo se pueden notar las diferencias por añejamiento y/o almacenamiento.

A continuación se procede a trabajar en el LAFTLA, para realizar las pruebas ópticas. Se pueden realizar las prácticas sugeridas por el profesor para desarrollar la pericia y habi-

lidades necesarias para realizar mediciones efectivas y contundentes. Dichas prácticas y revisión de materiales de apoyo, tal como manuales del fabricante y bibliografía usada en el marco teórico, ayudaran a familiarizarse con el equipo utilizado y a entender mejor lo que se lleva a cabo en las diferentes prácticas.

También se recomienda como buena práctica utilizar ropa semejante en todas las sesiones de laboratorio o inclusive el uso de gabacha, de color negro recomendable.

Para cada ejercicio se puede marcar con lápiz sobre la mesa atornillable la posición de los diferentes dispositivos utilizados. Esto es de utilidad en el caso de que se deban realizar repeticiones de las mediciones luego de haber realizado otros ejercicios o porque se ha utilizado el equipo en otro experimento ajeno.

En estas pruebas se realizaron dos prácticas, una inicialmente con láser rojo de HeNe y otra utilizando el láser verde de GreNe. Los resultados para estas pruebas de transmitancia se muestran en las tablas 5 y 7, en estas se muestran 2 datos por medición debido a la gran variación en los datos mostrados en la consola de medición, un dato máximo y uno mínimo y se procedió a construir las gráficas de las figuras 13 y 15 utilizando el punto medio. Esta gran variación en los datos de medición se debe al fenómeno llamado movimiento Browniano. Dicho fenómeno fue explicado por Albert Einstein y en este caso puede ser debido a moléculas grandes o inclusive partículas de polvo dentro del vinagre. Esto a pesar de que se fue estrictamente cuidadoso y limpio durante la producción y extracción del jugo de banana.

En las gráficas de las figuras 13 y 15 se puede notar que las muestras que exhiben mayor potencia detectada son la 9 y 7, esto relacionado con la coloración y turbidez que exhiben estas botellas. Son líquidos amarillentos y transparentes, especialmente la 9. Las muestras 3 y 4 son ligeramente transparentes, con coloración oscura y esto se puede observar en el comportamiento de las gráficas 13 y 15, mostrando potencia media. Las muestras 1, 2, 5 y 6 presentan una menor potencia al ser un poco más turbias y de coloración oscura también. Las muestra 8 y 10 presentan baja potencia, la muestra 8 es amarillenta y turbia, la 10 es oscura y con poca turbidez.

Con los resultados anteriores se puede concluir que las mediciones de potencia o transmitancia exhiben resultados acordes con la coloración o turbidez más que con la acidez.

Como se puede observar en las figuras 14 y 16, correspondientes a las “gráficas de pH y potencia normalizadas” el pH de las muestras es prácticamente una línea recta mientras que las gráficas de los diferentes contenidos muestran el comportamiento descrito anteriormente. Un hecho importante es que si existiera una variación de la potencia del láser acorde con el nivel de acidez de la sustancia, para estas fechas ya existiría un dispositivo pHmetro optoelectrónico.

La segunda prueba óptica realizada consistió en las pruebas de polarización, por tratarse de una sustancia dextrorrotatoria, se procedió a medir el giro hacia la derecha para analizar el nivel de azúcar en la sustancia. Las figuras 17 a 26 y 27 a 36 se puede observar las gráficas obtenidas para láser rojo y para láser verde respectivamente, en todas las muestras se rota hacia la derecha el polarizador en busca del máximo de potencia, el cual para las mediciones con láser rojo para todas las muestras, excepto la 9 estuvo cerca de los  $90^\circ$  indicando niveles de azúcar semejantes. Esta diferencia en la muestra 9 puede explicar su coloración y sabor agrio, no ácido. Su máximo estuvo cerca de los  $70^\circ$ .

Las mediciones con láser verde presentan valores de potencia máxima más esparcidas, ósea en algunos casos como para la figura 27, 29, 31, 36 el máximo se encuentra esparcido desde los  $80^\circ$  a los  $100^\circ$ , para las demás muestras excepto la 2 el máximo estuvo en los  $90^\circ$ . Para la muestra 2, figura 28, el máximo estuvo en los  $100^\circ$  indicando un mayor nivel de azúcar.

Las mediciones para laser rojo presentan potencias en el orden de los micro Watt, en donde el haz era fácilmente detectado después de atravesar la sustancia en el beaker. Para las mediciones con láser verde el haz no era apreciable para el ojo humano después de atravesar el vinagre en el beaker. Estas mediciones rondan el orden de los nano Watt y prácticamente lo que se detectó en el sensor fueron las radiaciones infrarrojas emitidas por el láser. Sin embargo con estos datos fue posible graficar curvas redondeadas, semejantes a un coseno cuadrado para realizar el análisis.

Estas pruebas de polarización exhiben resultados que eventualmente pueden ser refinados para lograr una mayor precisión a la hora de evaluar niveles de azúcar en el vinagre. Ya conocido el giro que exhibe la sustancia se puede proceder a evaluar con más detalle para lograr mejor exactitud y precisión.

En estas pruebas tanto con láser rojo como verde se obtuvieron resultados semejantes en donde se puede observar que las muestras de vinagre cuentan con niveles de azúcar similares.

Una recomendación para esta prueba es utilizar un portador de componentes que facilite el giro del polarizador. El acople que se utilizó fue de tipo magnético y a veces se dificultaba el giro del polarizador debido a que se trababa de girar manualmente el polarizador y luego se giraba más de lo necesario, complicando la medición.

Para las mediciones con haz verde se procedió a retirar el polarizador y colocarlo manualmente en su lugar para realizar la medición, o sea no se deslizaba el polarizador en el portador de componentes lo que facilitó la medición. Sin embargo sería apropiado utilizar un mecanismo para rotar con más facilidad el polarizador y obtener los datos sin movimientos en el banco óptico utilizado u otros errores cometidos al ser un poco difícil la manipulación mecánica del polarizador.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Arieli, R. Ángulo de Brewster. Recuperado el 2 de junio del 2020 de <https://www.um.es/LEQ/laser/Ch-7/F7s5t1p2.htm>
2. Axmann, H., Bergmann, A. y Eichberger, B. (2015). A multi-wavelength opacimeter for NOX and soot. 2015 9th International Conference on Sensing Technology (ICST), 6-11. <https://doi.org/10.1109/ICSensT.2015.7438355>
3. Bacharach, H. Color y luz. Colorimetría. Recuperado el 5 de junio de 2020 de <http://www.quantotec.com/sp/Colorimetria.htm>
4. Bekatorou, E. A. (Ed.). (2020). Advances in Vinegar Production. CRC Press. 10.1201/9781351208475. Recuperado el 14 de abril del 2020 de [https://books.google.co.cr/books?id=ulyvDwAAQBAJ&pg=PA132&lpg=PA132&dq=laser+vinegar&source=bl&ots=90HhaFvgHy&sig=ACfU3U1WW\\_ZegkghE4OQNIYbp iYEW9xNIA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiCjbCusunoAhUD2KQKHYYVqC584FBD oATAMegQIDBAm#v=onepage&q=laser%20vinegar&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=ulyvDwAAQBAJ&pg=PA132&lpg=PA132&dq=laser+vinegar&source=bl&ots=90HhaFvgHy&sig=ACfU3U1WW_ZegkghE4OQNIYbp iYEW9xNIA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiCjbCusunoAhUD2KQKHYYVqC584FBD oATAMegQIDBAm#v=onepage&q=laser%20vinegar&f=false)
5. Bodegas La Aurora. Qué es el Vinagre y cuántos tipos existen. Recuperado el 29 de mayo del 2020 de <http://www.bodegaslaaurora.com/blog/Posts/show/que-es-el-vinagre-y-cuantos-tipos-existen-549>
6. Bodegas La Aurora. 10 propiedades del vinagre que te sorprenderán. Recuperado el 30 de mayo del 2020 de <http://www.bodegaslaaurora.com/blog/Posts/show/10-propiedades-del-vinagre-que-te-sorprenderan-556>
7. Brizuela, I. (2005). Procedimiento de medición de índice de refracción en plásticos y vidrios para el LAFTLA. (Proyecto Eléctrico para obtener el grado de Bachiller en Ingeniería Eléctrica). San José, CR.
8. Cálculo de incertidumbres y expresión de los resultados de las prácticas. Recuperado el 8 de junio del 2020 de <http://webs.ucm.es/info/Geofis/practicas/errores.pdf>
9. Colón Fuentes, A; Cruz Mercado, C; Olivencia Dapena, C H. (2017). Experimento: Polarización: Ley de Malus. Recuperado el 1 de junio del 2020 de <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-puerto-rico-recinto-de->



mayaguez/physics-laboratory-ii/ensayos/experimento-polarizacion-ley-de-malus/4880523/view

10. Colorimetría. Recuperado el 5 de junio de 2020 de <https://www.ecured.cu/Colorimetr%C3%ADa>
11. Creative Proteomics. MALDI-TOF Mass Spectrometry. Recuperado el 29 de mayo de 2020 de <https://www.creative-proteomics.com/technology/maldi-tof-mass-spectrometry.htm>
12. Efecto Rayleigh y efecto Mie. Recuperado el 2 de junio del 2020 de <https://www.astromia.com/astronomia/rayleighmie.htm>
13. El espectro electromagnético. Recuperado el 3 de junio del 2020 de <http://www.escuelapedia.com/el-espectro-electromagnetico/>
14. El vinagre: cómo se hace, tipos y como usarlo en la cocina. Recuperado el 29 de mayo del 2020 de <https://www.directoalpaladar.com/ingredientes-y-alimentos/el-vinagre-como-se-hace-tipos-de-vinagre-y-como-usarlo-en-la-cocina>
15. Elizondo Castillo, H. (2012). Obtención De Hidrogeles Híbridos (QUIT-PEG) Por Entrecruzamiento Físico Para Aplicaciones Biomédicas. (Tesis de licenciatura, Escuela de Química, Universidad Nacional) Heredia, Costa Rica. Recuperado el 29 de mayo del 2020 de <http://www.quimica.una.ac.cr/index.php/documentos-electronicos/category/1-trabajos-finales-de-graduacion?download=12:obtencion-de-hidrogeles-hibridos-quit-peg-por-entrecruzamiento-fisico-para-aplicaciones-biomedicas>
16. Gardey, A. Pérez Porto, J. (2019). Definición de onda transversal. Recuperado el 1 de junio del 2020 de <https://definicion.de/onda-transversal/>
17. Halliday, D. Krane, K. S. Resnick R. (2007). Física. Recuperado el 5 de mayo del 2020 de [https://www.academia.edu/31428733/F%C3%ADsica\\_Vol\\_2\\_-\\_Halliday\\_Resnick\\_and\\_Krane\\_5th\\_Edition\\_Espa%C3%B1ol](https://www.academia.edu/31428733/F%C3%ADsica_Vol_2_-_Halliday_Resnick_and_Krane_5th_Edition_Espa%C3%B1ol)
18. Juds, S. M (1988). Photoelectric sensors and controls: selection and application. Recuperado el 31 de mayo del 2020 de [https://books.google.co.cr/books?id=BkdBo1n\\_oO4C&pg=PA29&dq=%22diffuse+refl+ec-](https://books.google.co.cr/books?id=BkdBo1n_oO4C&pg=PA29&dq=%22diffuse+refl+ec-)

tion%22+lambertian&redir\_esc=y&hl=en#v=onepage&q=%22diffuse%20reflection%22%20lambertian&f=false

19. La metrología óptica. Recuperado el 22 de mayo del 2020 de [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec\\_6.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec_6.htm)
20. Magalhães-Guedes, K. T., Viana, R. O., Braga Jr, R. A., Dias, D. R., Schwan, R. F., & Nunes, I. L. (24 al 27 de octubre de 2016). Kefir Vinegar: Assessment of metabolic activity of Kefir by Biospeckle Laser. [Conferencia]. En XXV Congresso Brasileiro de Ciencia e Tecnologia de Alimentos/XCIGR Section IV International Technical Symposium. Brasil. <https://doi.org/10.36229/978-85-7042-160-9.cap.11>
21. McCluney, W. R. (2014). Introduction to Radiometry and Photometry. Norwood, MA. Artech House.
22. Miranda, J. Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales. Recuperado el 8 de junio del 2020 de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CALCULODEINCERTIDUMBRESDR.JAVIERMIRANDA\\_26197.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CALCULODEINCERTIDUMBRESDR.JAVIERMIRANDA_26197.pdf)
23. Newport Corporation. Projects in Optics, Applications Workbook.
24. Palmer, J. Grant, B. (2010). The art of radiometry. Washington: SPIE Press.
25. Pasco Scientific. Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model CI-6747. Colorimeter. Roseville, CA. USA.
26. Pasco Scientific. Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model OS-9246B, OS-9247A, OS-9250, OS-9251 and OS-9254B. Advanced Optics System. Roseville, CA, USA.
27. Salazar M., A (2004-12-01). Sample records for rica utilizando fluorescencia. Recuperado el 29 de mayo de 2020 de <https://worldwidescience.org/topicpages/r/rica+utilizando+fluorescencia.html>
28. Serrano Cortés, A. Polarización de la luz. Recuperado el 31 de mayo del 2020 de [http://168.176.239.58/cursos/ciencias/mtria\\_ensenanza/polarizacion/html/polari\\_metodos\\_1.html](http://168.176.239.58/cursos/ciencias/mtria_ensenanza/polarizacion/html/polari_metodos_1.html)

29. Significado de pH. Recuperado el 11 de junio del 2020 de <https://www.significados.com/ph/>
30. Solís, K. (2018). Desarrollo de un Sistema Interferométrico tipo Fizeau para la Calibración de Planos Ópticos en el LAFTLA. (Propuesta de tema Trabajo Final de Graduación Licenciatura) San José, CR.
31. Xiong, G., Yang, J., Zhang, J., Hu, Z., Zhao, Y., Qing, B., Yang, G., Wei, M., Yi, R., Song, T., Li, H., Yuan, Z., Lv, M., Meng, X., Xu, Y., Wu, Z. y Yan, J. (2015). Opacity Measurement and Theoretical Investigation of Hot Silicon Plasma. *The Astrophysical Journal*, 816(1), 36. <https://doi.org/10.3847/0004-637x/816/1/36>
32. ¿Qué pH tiene el vinagre?. Recuperado el 11 de junio del 2020 de <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/100-preguntas-100-respuestas/que-ph-tiene-el-vina-gre/#:~:text=El%20vinagre%20es%20un%20alimento,le%20confiere%20su%20olor%20caracter%C3%ADstico.>
33. (2016). ¿Qué pH debe tener el agua para consumo humano?. Recuperado el 11 de junio del 2020 de <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-ph-debe-tener-el-agua-para-consumo-humano-yalitech-instruments>

## **ANEXOS**

25 de julio de 2020

Señor

Dr. Esteban Durán Herrera

Director

Escuela Ingeniería Química

Universidad de Costa Rica

Estimado señor:

Por medio de la presente se le solicita el visto bueno para solicitar la realización de pruebas de acides o pH en la Escuela de Ingeniería Química en el 2 semestre del 2020. Esto para la realización del proyecto de Trabajo Final de Graduación titulado "Caracterización de muestras de vinagre artesanal utilizando láser y metrología óptica" y con la dirección del profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica Ing. Luis Diego Marín Naranjo, M.Sc. En dicho proyecto se necesita realizar estas pruebas de acidez o pH para utilizar en el análisis de resultados. El proceso se coordinará con Olman Aguilar y Emilio García, técnicos de laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química, una vez que se disponga de la aprobación. Se realizaran un total de 10 pruebas para diferentes muestras. Las muestras podrán ser llevadas martes y jueves, agosto 27, setiembre 3, 10, 17, 24.

*Lo Hay Que Coordinar*



Estudiante: Ing. Iván Brizuela Gutiérrez

Carné: 990677

Cel: 62293457, 6173 7657

Correo electrónico: [ibrizuelag@gmail.com](mailto:ibrizuelag@gmail.com)



*Recibido Emilio G.*

*27/08/2020*