

**Medida del ángulo de humectación de superficies oleofóbicas de lentes oftálmicos a través
del método óptico de perfilometría**

**Duinny Dayana Álvarez Gélvez, Paula Andrea Ordoñez Mahecha, Juliana Castellanos
Lozano y Ángela Lisbeth Murillo Cáseres**

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Optómetra

Director

Juan José Barrios Arlante

Magíster en Física

Codirector

Jairo Andrés Otero González

Especialista en Lentes de Contacto y Segmento Anterior

Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga

División Ciencias de la Salud

Facultad de Optometría

2022

Contenido

Introducción	12
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo general.....	16
1.2 Objetivos específicos	16
2. Marco teórico	16
2.1 Ángulo de contacto	16
2.2 Perfilometría	22
2.2.1 Sobel	24
2.2.2 Roberts.....	24
2.2.3 Prewitt.....	25
2.2.4 Laplaciano	26
2.2.5 Canny.....	26
2.3 Filtros antirreflejo	27
2.3.1 Amplitud.....	29
2.3.2 Fase.....	29
2.4 Sustancias Oleosas	30
2.4.1 La viscosidad	30
2.4.2 La densidad.....	31
2.4.3 El índice de refracción (n).	31
2.5 Marco legal	32
3. Metodología	33
3.1 Población.....	34

Criterios de inclusión	34
Criterios de exclusión.....	34
3.2 Tamaño de muestra	34
3.3 Tipo de muestreo.....	35
3.4 Variables.	35
3.4.1 Operacionalización de las variables.	35
3.4.2 Clasificación de variables.	37
3.5 Plan de análisis.....	37
3.5.1 Análisis univariado.	37
3.5.2 Análisis bivariado.	38
3.6 Procedimiento	39
3.6.1 Lineamientos ante el covid-19.....	39
3.6.2 Procedimiento de la investigación.....	40
3.7 Sesgos	70
3.7.1 Sesgo de selección.....	70
3.7.2 Sesgo de información.	70
3.7.3 Sesgo de confusión.	71
3.8 Consideraciones Bioéticas	71
4. Resultados	71
5. Discusión.....	76
6. Conclusiones	78
6.1 Recomendaciones	79
7. Referencias.....	80

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Operacionalización de variables.</i>	35
Tabla 2. <i>Clasificación de Variables</i>	37
Tabla 3. <i>Análisis univariado</i>	37
Tabla 4. <i>Análisis Bivariado</i>	38
Tabla 5. <i>Densidades de cada uno de los aceites empleados.</i>	48
Tabla 6. <i>Velocidad del balón cuando caen dentro del aceite AO</i>	52
Tabla 7. <i>Velocidad del balón cuando caen dentro del aceite AP.</i>	53
Tabla 8. <i>Velocidad del balón cuando caen dentro del aceite AJ</i>	54
Tabla 9. <i>Velocidad del balón cuando caen dentro del aceite AU.</i>	54
Tabla 10. <i>Medida de las masas obtenidas para los 10 balines utilizados.</i>	55
Tabla 11. <i>Viscosidad de los aceites.</i>	57
Tabla 12. <i>Índices de refracción para cada aceite</i>	58
Tabla 13. <i>Frecuencias de las variables cualitativas</i>	72
Tabla 14. <i>Distribución de las variables</i>	73
Tabla 15. <i>Correlación entre el ángulo de contacto y las propiedades de los aceites</i>	73
Tabla 16. <i>Variaciones del promedio del ángulo de contacto</i>	74
Tabla 17. <i>Variación del promedio según el tipo de filtro</i>	74
Tabla 18. <i>Variación del ángulo de contacto según el tipo de aceite y el filtro antirreflejo</i>	75
Tabla 19. <i>Medición de las características de los aceites.</i>	91
Tabla 20. <i>Medición del ángulo de humectación en los diferentes tipos de Filtro AR en CR-</i>	39.
.....	91

Tabla 21. <i>Medición del ángulo de humectación en los diferentes tipos de Filtro AR en Policarbonato.</i>	91
---	----

Lista de figuras

Figura 1. Esquema representativo del ángulo de contacto y tensiones en las líneas de contacto	12
Figura 2. Gota Sésil	14
Figura 3. Esquema del montaje experimental.....	15
Figura 4. Superficie hidrofóbica en la flor de loto	18
Figura 5. Escarabajo en posición para obtener una gota de agua.....	18
Figura 6. Superficies hidrofóbicas en la naturaleza.	19
Figura 7. Una gota de agua en el borde de las caras del cristal.....	21
Figura 8. Burbuja de aire en un cono vertical en diferentes intervalos de tiempo.....	22
Figura 9. Variación de método al pasar de una zona clara a una zona oscura y viceversa	23
Figura 10. Mascarillas de Sobel para la detección de bordes.....	24
Figura 11. Mascarilla de Roberts.	25
Figura 12. Mascarilla de Prewitt.	25
Figura 13. De izquierda, a derecha detección con mascarilla de Roberts, Prewitt y Sobel.	26
Figura 14. Detección de bordes de una imagen por el algoritmo de Canny.	27
Figura 15. Montaje experimental.....	41
Figura 16. Tablero tipo ajedrez, con cuadrados blancos y negros de 2,0 mm de lado y área de 4,0 [mm] ² cada uno.	42
Figura 17. Esquema del montaje experimental para el proceso de calibración de la cámara CMOS con objetivo de microscopio.	43
Figura 18. Lectura de las 20 imágenes para la calibración.....	44
Figura 19. a) Número de cuadros en x e y. b) Detección de esquinas en la región de estudio. ..	44

Figura 20. <i>Gráfico de las cuadrículas en un plano en perspectiva tridimensional.</i>	45
Figura 21. <i>A la izquierda imágenes originales sin corrección de aberraciones y a la derecha imágenes corregidas.</i>	46
Figura 22. <i>a) Imagen de la gota de aceite sobre el lente sin corregir. b) Imagen de la gota corregida.</i>	47
Figura 23. <i>a). Medida de la masa del picnómetro vacío. b). Medida de la masa del picnómetro lleno de la sustancia oleosa seleccionada.</i>	48
Figura 24. <i>Fuerzas que actúan sobre una partícula en un líquido.</i>	49
Figura 25. <i>Esquema del montaje optoelectrónico implementado para la medida de la viscosidad de los aceites.</i>	50
Figura 26. <i>Montaje experimental en el cual se aprecia la columna de cromatografía y el sistema de adquisición del video.</i>	50
Figura 27. <i>Seguimiento del balón en la columna de cromatografía cuando pasa entre las marcas seleccionadas en el estudio para determinar el tiempo y posteriormente la velocidad promedio en de este en los aceites.</i>	52
Figura 28. <i>a) Balines utilizados. b) Medida del diámetro con el calibrador</i>	55
Figura 29. <i>Refractómetro análogo tipo Abbe.</i>	57
Figura 30. <i>Medida del índice de refracción.</i>	58
Figura 31. <i>Aplicación de la gota sobre el lente</i>	59
Figura 32. <i>Imágenes de gota inicial de aceites sobre el lente con filtro AR obtenida con la cámara</i>	60
Figura 33. <i>Imagen filtrada</i>	61
Figura 34. <i>Imcrop de la imagen</i>	62

Figura 35. <i>Imagen binarizada de los recortes de la gota y la superficie del lente.</i>	62
Figura 36. <i>Imagen donde se muestran todos los posibles métodos de detección de bordes</i>	63
Figura 37. <i>Puntos de la curva determinados a través del método Roberts</i>	64
Figura 38. <i>Puntos determinados con el método Roberts ubicados sobre la curvatura de la gota.</i>	64
Figura 39. <i>Puntos sobre la curvatura de la gota en el plano completo de la imagen adquirida con la cámara</i>	65
Figura 40. <i>Polinomios y coeficientes numéricos empleados en el Curve Fitting</i>	66
Figura 41. <i>Gráfica de la curva del polinomio sobre los puntos del perfil.</i>	67
Figura 42. <i>Imagen con el ángulo de contacto.</i>	68
Figura 43. <i>Medidas de los ángulos obtenidos con la tangente y la línea horizontal.</i>	69
Figura 44. <i>Base de datos.</i>	70
Figura 45. <i>Montaje experimental inicial.</i>	94
Figura 46. <i>Montaje experimental final</i>	94
Figura 47. <i>(a). Refractómetro usado en la toma del índice de refracción, (b). densímetro usado para la toma de densidad.</i>	95
Figura 48. <i>Demostración de los métodos de perfilometría en Matlab.</i>	97
Figura 49. <i>Base de datos utilizada para la recolección de resultados.</i>	98

Lista de apéndice

Apéndice A. *Plantilla de recolección de datos*93

Apéndice B. *Prueba piloto*93

Resumen

Objetivo: analizar las variaciones en las medidas del ángulo de humectación de superficies superhidrofóbicas de lentes oftálmicos expuestos a los diferentes tipos de aceites. *Metodología:* es un estudio experimental tipo ensayo de laboratorio cuyo tamaño de muestra es aproximadamente de 50 montajes. Para dar respuesta a los objetivos se tuvo en cuenta las siguientes variables: el ángulo de humectación (AC), filtro antirreflejo (AR) superhidrofóbicos, material del lente oftálmico y diferentes tipos de aceites con propiedades específicas. La medida del ángulo de humectación en estos lentes se realizó por medio del método óptico de perfilometría y el programa de procesamiento digital MATLAB. El montaje experimental contó con un sistema de adquisición de imagen por medio de la Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) para adquirir las imágenes, con una plataforma tijera manual para laboratorio, sistema de iluminación, un difusor de luz y una bureta para la aplicación de las sustancias oleosas. Se aplicó la sustancia oleosa sobre la superficie del lente capturando las imágenes de las gotas de aceite aplicadas sobre dichas superficies, posteriormente se procesaron las imágenes implementando el software Matlab R2021a, obteniendo los resultados esperados respecto la medida del ángulo de contacto existente entre la superficie del lente y los aceites, analizando cada uno de los datos obtenidos. *Resultados obtenidos:* en la presente investigación a través de la cual se realizó el documento de trabajo de grado se evidenció la forma de medición del ángulo de humectación, determinando los valores numéricos de las medidas de los ángulos de contacto generados por las gotas de diferentes aceites aplicados sobre los lentes oftálmicos con los diferentes filtros propuestos en el estudio.

Palabras claves: ángulo de humectación, lentes oftálmicos, antirreflejos superhidrofóbicos, perfilometría.

Abstract

Objective: analyze variations in wetting angle measurements of superhydrophobic surfaces of ophthalmic lenses exposed to different types of oils. *Methodology:* it's an experimental study type laboratory test whose sample size is approximately 50 mounts. In order to respond to the objectives, the following variables were taken into account of: Wetting Angle (AC), superhydrophobic anti-reflection filter (AR), ophthalmic lens material and different types of oils with specific properties. The measurement of the wetting angle in these lenses was made by means of the MATLAB digital processing program. The experimental assembly had an image acquisition system by means of the Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) to acquire the images, with a manual scissor platform for laboratory, lighting System, a light diffuser and a burette for the application of oily substances. The oily substance was applied on the surface of the lens, capturing the images of the oil droplets applied on the mentioned surfaces, then, the images were processed by implementing the Matlab R2021a software, obtaining the expected results regarding the measurement of the contact angle existing between the lens surface and the oils by analyzing each of the data obtained. *Expected results:* in the present research through which the grade working document was carried out, the way of measuring the wetting angle was evidenced, determining the numerical values of the measurements of the contact angles generated by the drops of different oils applied on the ophthalmic lenses with the different filters proposed in the study.

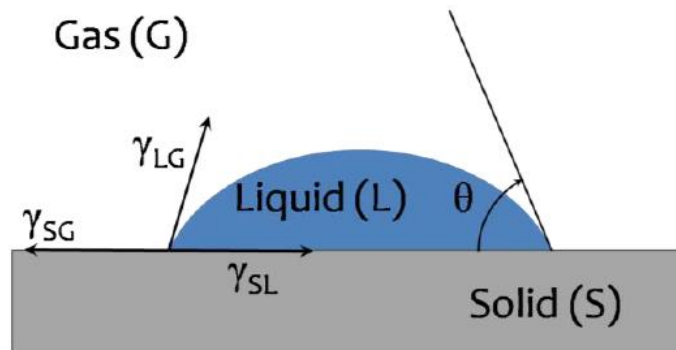
Keywords: contact angle, ophthalmic lenses, superhydrophobic antireflection, profilometry.

Introducción

El ángulo de contacto o ángulo de humectación es una medida de la humectabilidad de una superficie líquida en contacto con una superficie sólida. Por lo tanto, la humectación es mayor, cuanto menor es el ángulo de contacto o la tensión superficial. Ésta última es entendida como una fuerza de cohesión que se emplea sobre los líquidos para verificar o evaluar la intensidad del contacto de fase entre las sustancias líquidas y sólidas (1).

Para evaluar el ángulo de humectación (figura 1), se debe conocer la relación entre este y las tensiones de la interfaz que se describen en la ecuación de Young como se indica en la ecuación no. 1.

Figura 1. Esquema representativo del ángulo de contacto y tensiones en las líneas de contacto



Tomado de: Estudio del ángulo de contacto y de la mojabilidad a alta temperatura de fases líquidas en la sinterización de metales (2).

Nota: en la figura se deduce la siguiente ecuación no.1: $\gamma_{SG} - \gamma_{SL} - \gamma_{LG} \cos \theta = 0$

Donde θ representa ángulo de contacto (AC), y γ_{SG} , γ_{SL} y γ_{LG} representan la tensión, sólido / gas, sólido / líquido y líquido/ gas, respectivamente (3).

El ángulo de humectación se puede medir en diferentes superficies, como es el caso de los lentes oftálmicos conocidos como fragmentos de plástico, limitados por dos superficies regulares, planas o curvas que modifican la llegada de los rayos de luz hacia ambos ojos (4). No obstante, estos rayos de luz causan molestias por las imágenes reflejadas desde el interior de la superficie de los lentes; éstas aparecen a un lado del objeto que se está reflejando, por ejemplo, las luces de los automóviles que pueden causar la pérdida de la calidad óptica del material utilizado. Como respuesta a esta dificultad surgió un tratamiento complementario que disminuye la reflexión normal de la luz, y que hoy se conoce como filtro antirreflejo (AR). Los hay de diversos tipos y corresponden a recubrimientos que se le realizan al lente para mejorar la calidad óptica disminuyendo la reflexión de la luz en un 99%, entre otros beneficios (5).

Estos filtros se clasifican en dos tipos: superhidrofóbicos e hidrofóbicos. La mayor diferencia entre estos tipos de filtros AR se tiene en los ángulos de contacto que se forman al repeler el agua, los cuales varían entre 97° y 104° en el caso de los hidrofóbicos, mientras que los superhidrofóbicos tienen ángulos de contacto cercanos a 110° . Además repelen un porcentaje del aceite presente en la piel humana y las huellas dactilares, entre otros. Esta propiedad se denomina oleofobicidad y es cuantificada por el ángulo de contacto que se considera una medida dinámica (6). Adicionalmente, cabe señalar que los filtros superhidrofóbicos son fabricados por diversas casas comerciales, con propiedades físicas como: antirayado, antiempañante y antiestático que garantizan al paciente mejor percepción óptica y confort visual.

Teniendo en cuenta lo mencionado, se hace necesario analizar las variaciones en la medida del ángulo de humectación de cada tipo de lente con los diferentes filtros superhidrofóbicos. Esta medida permitió conocer en qué grado un lente oftálmico de material CR-39 y policarbonato con filtro AR tiene la capacidad para repeler una sustancia oleosa. Dichas sustancias cumplen con

características físicas diferentes, tales como: viscosidad, entendiéndose como la fricción (resistencia) que realiza la sustancia al deslizarse (7), densidad como la relación entre la masa y el volumen de la sustancia e índice de refracción como la relación que existe entre la velocidad con que se propaga la luz en el aire y en el vacío (8).

Este objetivo se cumplió empleando dos métodos de medición, el primero es la gota sésil, que es una gota apoyada sobre la superficie de un sólido, conformada por tres interfaces: la superficie externa de la gota (interfaz líquido-vapor) la superficie del sólido mojado (interfaz sólido-líquido) y la superficie del sólido sin mojar (interfaz sólido-vapor) como se muestra en la figura 2. La intersección de estas tres fases da lugar al ángulo de contacto (9)(10). Posteriormente se realizó la medida de dicho ángulo a través del método óptico de perfilometría o detección de bordes, para lo cual se implementó una cámara con dispositivo de carga acoplada (CMOS) como sistema de adquisición, una fuente luminosa y un sistema de procesamiento digital (computador). Luego, con el software MATLAB R2021a se realizó el procesamiento de las imágenes adquiridas implementando este método que permite detectar los cambios en el ángulo del haz de la luz después de ser reflejado por la superficie, en la figura 3 se muestra la imagen del posible montaje experimental que se elaboró (11).

Figura 2. *Gota Sésil*



Tomado de: Superhydrophobic Surfaces (11).

Figura 3. *Esquema del montaje experimental*

Existe numerosas investigaciones respecto la medida y/o estudio del ángulo de humectación, que indagan su compartimiento sobre diversas superficies presentes en la naturaleza como, por ejemplo, los siguientes autores, Natural Superhydrofobic Surface (11), Cassie and Baxter (12) y Barhloot and Neinhuis (13). Pero la escasa producción científica, relacionada con la medida del AC en lentes oftálmicos con recubrimiento AR superhidrofóbicos, que se halló después de realizar la búsqueda de literatura llevó a formular la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son las variaciones en la medida del ángulo de humectación de superficies superhidrofóbicas de lentes oftálmicos con filtro antirreflejo expuestos a los diferentes tipos de aceites que se pueden identificar mediante el método óptico de perfilometría?.

La investigación tuvo como objetivo realizar la medida del ángulo de humectación en las diferentes superficies de los filtros AR superhidrofóbicos (Smarts, Supreme, Uniclear), para contribuir en el ámbito académico se aportó nuevos datos que permitan la realización de futuros estudios en el área y/o diseño de lentes oftálmicos. Esta información brindó valores numéricos de estas medidas que en la academia, específicamente en la Facultad de Optometría de la Universidad Santo Tomás, no se consideran por no contar con este tipo de investigaciones y/o herramientas

optoelectrónicas para cuantificar estos datos. Por otra parte, en el ámbito clínico permitirá tener evidencias para dar recomendaciones precisas a los pacientes respecto al lente oftálmico con filtro AR que mejor se adapte a su necesidad diaria.

1. Medida del ángulo de humectación de superficies oleofóbicas de lentes oftálmicos a través del método óptico de perfilometría

1.1 Objetivo general

Analizar las variaciones en las medidas del ángulo de humectación de superficies superhidrofóbicas de lentes oftálmicos expuestos a los diferentes tipos de aceites.

1.2 Objetivos específicos

- Medir las características físicas de los aceites corporales, fósiles y vegetales.
- Establecer las variaciones del ángulo humectación según el filtro antirreflejo y el tipo de aceite empleado

2. Marco teórico

2.1 Ángulo de contacto

El ángulo de contacto es importante para conocer el grado de humectabilidad de un material, este es formado por la tangente a la interfaz liquido-fluido cuando esta entra en contacto con una superficie sólida (14). El valor del ángulo de contacto depende principalmente de la relación existente entre las fuerzas adhesivas del líquido y del sólido y las fuerzas cohesivas del propio líquido. Cuando una fase líquida y una fase sólida entran en contacto, forman una interfase

común. Entendiendo por humectabilidad como la capacidad de los sólidos para formar interfases con los líquidos, siendo determinada por este mismo ángulo (2).

El ángulo de contacto está relacionado con las tres tensiones γ_{SG} , γ_{SG} , γ_{SL} de las interfases sólido/gas, sólido/líquido y líquido/gas, respectivamente, a través de la ecuación de Young no.2: $\gamma_{LG} \cos(\theta) = \gamma_{SG} - \gamma_{SL}$ (2).

Partiendo de esto, se considera una superficie hidrófoba cuando el θ se encuentra entre 90° y 150° ; en este caso, el líquido no humedece sólido, mientras que las superficies sólidas con $AC < 90^\circ$ se consideran hidrófilas, por lo tanto, el líquido humedecerá la superficie, pero no por completo (2). También pueden ser caracterizadas en superhidrófobas cuando el AC es $>150^\circ$ y superhidrófilas con $AC < 5^\circ$ (2)(15).

Esta propiedad superhidrofóbica es un comportamiento en el que las gotas de agua obtienen una morfología esférica, esta es causada por dos criterios: un alto ángulo de contacto con el agua ($CA > 150^\circ$) y un bajo ángulo de deslizamiento que hace que la gota ruede ($CA < 5^\circ$) (5)(16).

Las superficies superhidrofóbicas se encuentran fácilmente en la naturaleza en diversos organismos que presentan una alta repelencia al agua, como en la superficie de la hoja y flor de loto (*Nelumbo nucifera*) (Figura 4), esto se debe a las papilas de cera de tamaño nano en la parte superior de cada célula epidérmica. Como resultado, las gotas de lluvia hacen un gran ángulo de contacto con las papilas y se deslizan llevando partículas de polvo y suciedad, dejando la superficie limpia, esta propiedad de autolimpieza de las superficies se denomina “efecto de loto” (17).

Figura 4. Superficie hidrofóbica en la flor de loto



Tomado de: Bertl123 en CanStockPhoto (18).

También la superficie de algunos escarabajos del género *Stenocara* (figura 5), del desierto de Namibia, inducen la formación de pequeñas gotas a partir de la humedad del aire, para suplir la necesidad de hidratarse. Así mismo, insectos cuyas alas son suficientemente grandes como para no ser limpiadas por medio de las patas, pueden presentar repelencia al agua en conjunto con la característica de autolimpieza (15)(16).

Figura 5. Escarabajo en posición para obtener una gota de agua

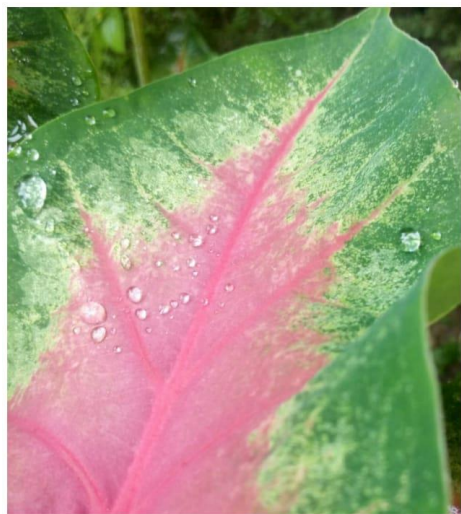


Tomado de: Aprendiendo de la naturaleza desde los procesos (19).

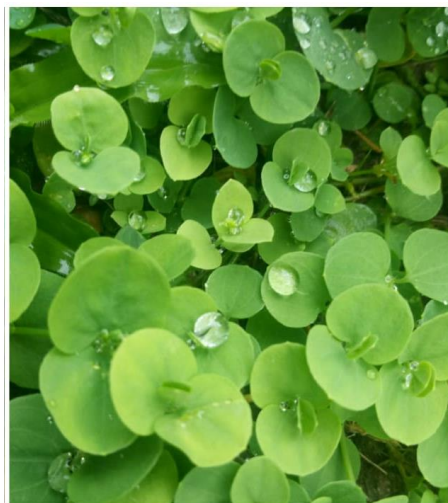
Relacionado a la “autolimpieza” nombrada anteriormente, la tensión superficial juega un papel muy importante entre el agua y la superficie superhidrofóbica. Siendo la tensión superficial denominada como la fuerza cohesiva que existe entre las moléculas de agua adyacentes, es por esto, que las moléculas son arrastradas por otras moléculas, dando lugar a la formación de gotas. Por otro lado, la coalescencia es lo que permite que las gotas tengan un tamaño adecuado para rodar por la superficie y el fenómeno de propulsión facilita el movimiento sin ninguna fuerza externa, es decir, que se induce la autolimpieza de la superficie incluso si son gotas de agua de tamaño submicrónico (15).

Debido a la tensión superficial se puede observar como la superficie de un líquido permite soportar una fuerza externa.

Figura 6. *Superficies hidrofóbicas en la naturaleza*



a. Banderilla Sudamericana



b. Drymaria cordata

Tomado de: Juan Barrios en INaturalist (20)(21).

No obstante, la superhidrofobicidad depende predominantemente tanto de la rugosidad de la superficie como del material de baja energía superficial. Esta rugosidad afecta el ángulo de contacto, ya que determina el porcentaje de área que está en contacto con la superficie sólida por las gotas del agua en la interfaz. Además, esta es influida por la modificación estructural que afecta tanto el ángulo de contacto como el ángulo de deslizamiento. Por lo tanto, para fabricar una superficie superhidrófoba se debe mejorar el AC modificando las protuberancias en altura y distancia (15).

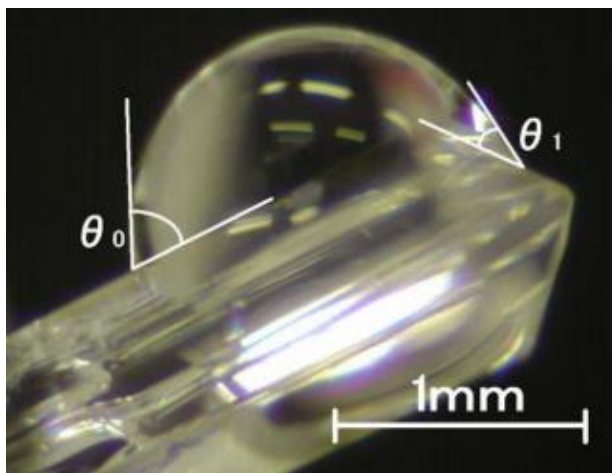
Para explicar el comportamiento no húmedo en superficies superhidrófobas, se han propuesto varios modelos, sin embargo, dentro de los más reconocidos se encuentran el Wenzel y Cassie-Baxter donde se describe que cuando una gota de agua entra en contacto con una superficie superhidrófoba, la gota se desliza o se adhiere a la superficie dependiendo de la interacción de las gotas de agua con la superficie rugosa (15).

Para la fabricación de superficies superhidrófobas, se debe cumplir estas características ya nombradas, siendo la más importante, la regla básica de crear rugosidad sobre la superficie mediante diversas técnicas como el grabado químico, la inmersión en solución, la electrodeposición, la deposición de plantilla, entre otros. Estas superficies se aplican en diversas industrias, como electrónico, mecánico, estructural, marítimo, biomédico, etc (15).

Así mismo, se han realizado varios ensayos experimentales donde se encuentra este ángulo de contacto en otras superficies, como demuestra Susuki (22) donde a través del método de Wulff se buscó conocer la relación entre una superficie específica libre de la energía y la morfología de los cristales (figura 7), en este estudio se puede reflejar como el ángulo de contacto sufre amplias variaciones para el agua y los líquidos en cada superficie del cristal, todo esto se atribuye a la energía

libre de paso en esta superficie. Por lo que es importante conocer el comportamiento de este ángulo en distintas fases.

Figura 7. *Una gota de agua en el borde de las caras del cristal*

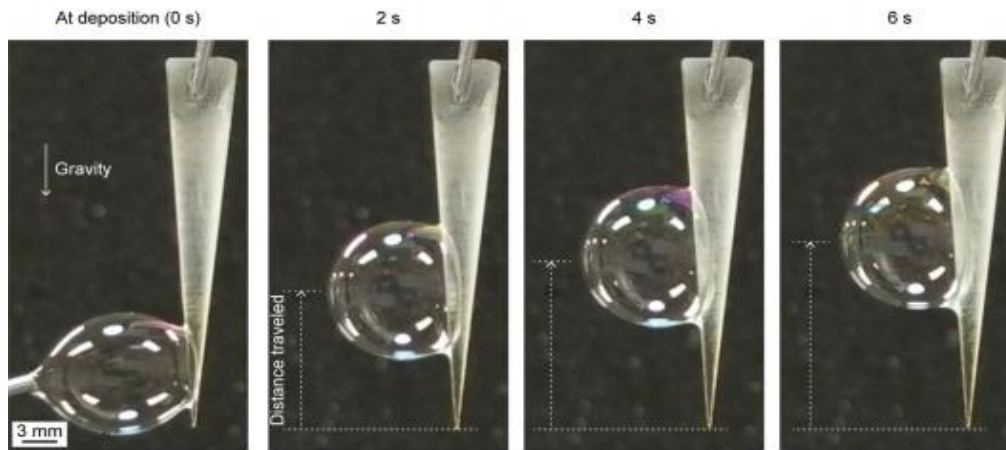


Tomado de: Energías libres superficiales específicas del monocristal de clorapatita de estroncio determinadas por los ángulos de contacto de las gotas de líquido (22).

Entre otros estudios experimentales, Dev Gurera (23) estudió la importancia del ángulo de contacto en las burbujas de aire, las cuales se depositaron en la punta de los conos y se registraba la distancia recorrida en función de tiempo, para así valorar el volumen de la burbuja de aire, la orientación del cono, el ángulo de la punta y la humectabilidad de la superficie (figura 8).

Encontrándose que un cono de ángulo de punta más pequeño, pero con alta humectabilidad era más eficiente para el movimiento de las burbujas de aire.

Figura 8. Burbuja de aire en un cono vertical en diferentes intervalos de tiempo



Tomado de: Contact angles and movement of air bubbles on bioinspired conical surfaces (23).

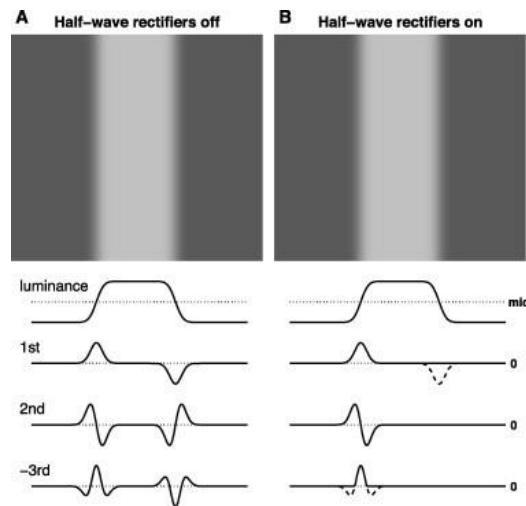
Al igual que por medio de la fórmula de Young se puede hallar el AC en diferentes superficies, También es posible hacerlo por medio del método de la gota sésil el cual consiste en dejar caer una gota pequeña de líquido, que en este caso será los tipos de aceites ya definidos anteriormente, sobre una superficie sólida y así observar el comportamiento de esta al mojar o humedecer el sólido seleccionado (24), esta gota va hacer medida bajo el método óptico de perfilometría basado en medir la rugosidad o irregularidad de una superficie, produciendo un croquis del material (25), que en este trabajo de investigación serán las superficies superhidrofóbicas de lentes oftálmicos con filtro AR.

2.2 Perfilometría

El método de perfilometría o detección de bordes se refiere al proceso de identificación y localización de discontinuidades nítidas en una imagen, estas discontinuidades son denominados bordes, los cuales en el procesamiento digital son las zonas en las que se produce un fuerte cambio de intensidad en los niveles de gris entre dos o más píxeles adyacentes

(figura 9) (26). Por lo tanto, su propósito es el reducir y filtrar los datos de una imagen proporcionando los bordes de una manera representativa (27)(28).

Figura 9. Variación de método al pasar de una zona clara a una zona oscura y viceversa



Tomado de: Detección de bordes en una imagen (29).

Este método tiene gran utilidad para segmentar la imagen, reconocer objetos, detectar contornos y reconocer patrones. Se han desarrollado numerosos algoritmos de detección de bordes (Roberts, Prewitt, Sobel, Laplaciano y Canny). El principal problema se plantea cuando se requieren bordes con mejor precisión y definición que la que ofrecen estos algoritmos (26)(30)(31).

Por lo general, la operación de detección de bordes se realiza a través de mascarillas que se aplican sobre la imagen, siendo esta una matriz que utiliza cada método para digitalizarla, en necesario utilizar herramientas matemáticas capaces de realizar esta detección como el programa MATLAB, una de las herramientas más empleadas (32).

Para ello, se emplean algunos algoritmos como:

2.2.1 Sobel

Realizan la detección de bordes en las direcciones horizontal y vertical, haciendo énfasis en los píxeles centrales, presentando mayor uniformidad y dando una mayor detección, usa el degradado de color de los píxeles en un área pequeña para determinar si hay un borde. El cálculo del gradiente se logra mediante una operación de convolución 3x3 (32)(33)(34).

Figura 10. Mascarillas de Sobel para la detección de bordes

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Tomado de: Adelgazamiento y detección de bordes de objetos en imágenes digitales usando conjuntos difusos (32).

2.2.2 Roberts

Consiste en un par de máscaras de convulsión de 2x2 para detectar el gradiente en la dirección horizontal y vertical, obtiene buenas respuestas ante bordes diagonales. Su gran inconveniente es su extremada sensibilidad al ruido teniendo pobres cualidades en la detección. Es más rápido que Sobel y Prewitt debido a su menor tamaño. Una máscara es simplemente la otra rotada 90° (33)(34).

Figura 11. *Mascarilla de Roberts*

-1	0
0	1

0	-1
1	0

Tomado de: Adelgazamiento y detección de bordes de objetos en imágenes digitales usando conjuntos difusos (32).

2.2.3 Prewitt

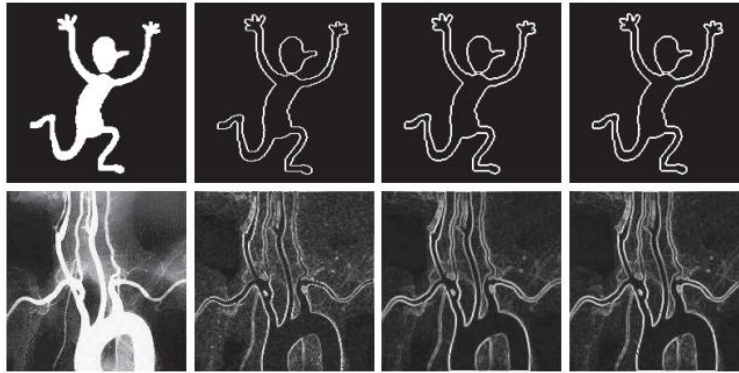
Es muy similar al de Sobel, utiliza una máscara de 3x3 para ser más inmune al ruido utilizando la misma ecuación de Sobel, no otorga importancia a los píxeles cercanos al centro de la máscara. Le da la misma relevancia a la vecindad diagonal, horizontal y vertical de un píxel (34).

Figura 12. *Mascarilla de Prewitt*

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Tomado de: Adelgazamiento y detección de bordes de objetos en imágenes digitales usando conjuntos difusos (32).

Figura 13. De izquierda, a derecha detección con mascarilla de Roberts, Prewitt y Sobel

Tomado de: Adelgazamiento y detección de bordes de objetos en imágenes digitales usando conjuntos difusos (32).

2.2.4 Laplaciano

Es uno de los métodos más utilizados para suavizar la imagen, consiste en convolucionar la imagen original con un filtro Gaussiano. Este es sensible al ruido, pero sus efectos pueden ser reducidos si se ignoran los cruces por pequeños cambios en la intensidad de la imagen (34).

2.2.5 Canny

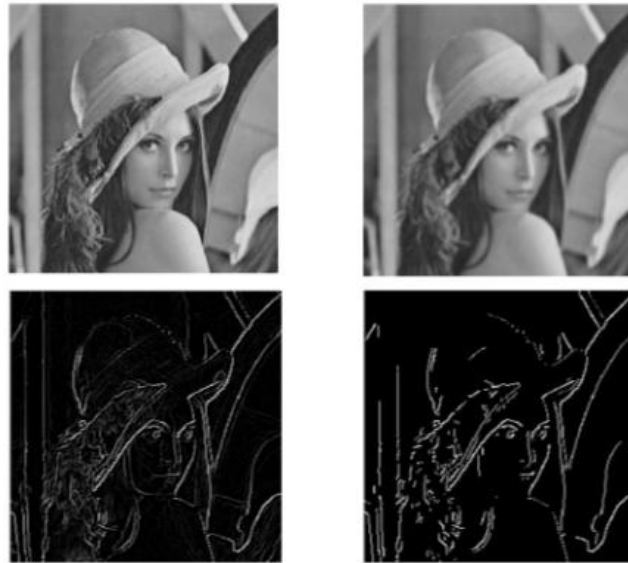
Desarrollado con la intención de mejorar los detectores de bordes. Es considerado el mejor, tiene el propósito de satisfacer tres objetivos:

- Baja tasa de error: buena detección de solo bordes existentes.
- Buena localización: La distancia entre píxeles de bordes detectados y bordes reales tiene que ser mínima.
- Respuesta mínima: Solo una respuesta de detección por borde (33).

Su procedimiento consiste en: Quitar el ruido utilizando filtro de suavizado, calcula la magnitud y orientación del gradiente de cada píxel usando el algoritmo Sobel, se utiliza supresión no máxima para garantizar que los bordes detectados sean lo suficientemente delgados y por último

aplica la función de histéresis basada en dos umbrales para reducir la aparición de contornos falsos (33)(34)(35).

Figura 14. *Detección de bordes de una imagen por el algoritmo de Canny*



Tomado de: Detección de bordes mediante el algoritmo de Canny (36).

2.3 Filtros antirreflejo

Los lentes oftálmicos son considerados como dispositivos ópticos transparentes que están limitados por dos superficies, donde al menos una es curva (divergentes o convergentes), que pueden modificar la trayectoria de la luz y cuya utilidad clínica es la corrección de los defectos refractivos (37)(38); estos pueden estar cubiertos por el filtro AR, siendo este un tratamiento cuya principal característica es la transmisión de la luz en un 99% y su finalidad es disminuir la reflexión normal de la luz y las imágenes desagradables también conocidas como imágenes fantasmas, que se forman por los reflejos múltiples (38).

Estos filtros se aplican en diferentes materiales de lentes oftálmicos como: el CR-39 descubierto a principio de los años 40, siendo el primer material orgánico del mercado, se conoce comúnmente como “plástico convencional”, es una resina de bajo índice que se usa principalmente para elaborar graduaciones de baja potencia, en las que el espesor y el peso de la lente no es un factor condicionante, caracterizado también por su resistencia notablemente baja al impacto, posee una buena resistencia química y al rayado, siendo el único material plástico en el que los tratamientos superficiales endurecedores son opcionales. Dentro de sus propiedades se encuentran: índice de refracción de 1,498 a 1.501, densidad gr/cm^3 1.32, número Abbe de 58 a 59, corte de UV 350 nm, transmitancia 92.1 % y reflexión 7.9 % (39)(40).

También, se encontró el policarbonato de bisfenol A (PC-BPA) es un material orgánico, resina termoplástica, desarrollado en la década de los 70 para aplicaciones aeroespaciales. Comenzó a ser utilizado en la década de 1980 para la industria oftálmica debido a una demanda de lentes ligeras y muy resistentes a impactos, se justifica por su estructura lineal y elevado peso molecular. Dentro de las propiedades se encuentran: índice de refracción de 1.59, densidad gr/cm^3 1.20, número Abbe de 32, Corte de UV 400 nm, transmitancia 90% y 92 % y reflexión 9,4 % (39)(40).

La aplicación de tratamientos antirreflejo en los lentes oftálmicos comienza a partir de 1935 donde se inventa el primer tratamiento antirreflejante en Carl Zeiss. Estos tratamientos reducían considerablemente los reflejos molestos en la lente e incrementaban la transmitancia luminosa y la claridad visual. La comercialización de lentes graduadas con tratamiento antirreflejante fue uno de los mayores avances tecnológicos en óptica oftálmica del siglo XX (41).

El principio óptico de la capa antirreflejo consiste en crear una auto interferencia entre rayos reflejados de modo que se puedan cancelar el uno con el otro, mediante la aplicación

alternada de minerales de alto y bajo índice de refracción por medio de una reacción química. Para lograr esto, se aprovecha la ventaja ondulatoria de la luz creando oposición de fases entre ondas reflejadas. Si se coloca un delgado cubrimiento sobre el lente este produce que la luz, la cual es una serie de ondas, choque con el cubrimiento dividiéndose en ondas reflejadas y refractadas. Las ondas refractadas luego se encuentran con el lente y son una segunda vez divididas en ondas reflejadas y refractadas (42).

Para que el filtro AR produzca esta interferencia es necesario que cumpla estas dos condiciones:

2.3.1 Amplitud

El índice de refracción de la capa debe ser igual a la raíz cuadrada del índice del lente.

2.3.2 Fase

El espesor de la capa debe ser $1/4$ de la longitud de onda deseada para la reflexión.

Estas condiciones son necesarias para causar dos reflexiones que posteriormente se cancelarán o neutralizarán entre sí (43).

Uno de los principales problemas de la capa antirreflejo era: empañamiento, suciedad y susceptibilidad al rayado; por lo que se hace necesario complementar los filtros AR con características que permitieran la reducción de estos inconvenientes. Es por esto que se incorporó la capa superhidrofóbica en la elaboración de los tratamientos AR, que repele el agua y las sustancias oleosas.

Es importante para el profesional de la salud visual evaluar las características de los filtros anti reflejos que se ofrecen en el mercado, con el fin de realizar una elección adecuada para el

confort y cuidado de la salud ocular del paciente, teniendo en cuenta la ocupación que este desempeñe, como por ejemplo, aquellas personas cuya ocupación requiere de una constante exposición a videoterminals se es importante el uso de este filtro, puesto que proporciona un mejor confort visual y calidad óptica, disminuyendo así la sintomatología ocasionada por el síndrome del computador. También las personas que estén en exposición constante o manipulación de aceites en ambientes culinarios o industriales se hacen necesario que los lentes oftálmicos cumplan con las características de tener recubrimientos superhidrofóbicos para repeler las salpicaduras de este tipo de sustancias que entran en contacto con la superficie del lente (42)(45).

2.4 Sustancias Oleosas

Estas sustancias cuentan con unas características fundamentales para la medición del CA, como lo son:

2.4.1 La viscosidad

Entendiéndose como la propiedad de un fluido que da lugar a fuerzas que se oponen al movimiento relativo de capas adyacentes en el fluido, teniendo diferente comportamiento como en gases o líquidos, es decir, la característica que tienen los fluidos de ofrecer resistencia al movimiento relativo de sus moléculas causando la fricción, esto da origen a la pérdida de energía en el flujo fluido. (46) Cuando se aplica calor a los fluidos, las moléculas pueden deslizarse unas sobre otras más fácilmente haciendo que el líquido se vuelva menos viscoso. La unidad física de viscosidad cinemática es $\frac{m^2}{s}$. (46)(47). Las viscosidades se definen utilizando un dispositivo denominado viscosímetro.

Para los aceites lubricantes, los viscosímetros tienden a operar más bien por gravedad que por presión. La medición de la viscosidad del fluido es la cantidad de tiempo que tarda en pasar un volumen determinado de fluido a través del tubo, bajo condiciones muy específicas (48).

2.4.2 La densidad

Se refiere a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, según el sistema internacional de medida esta corresponde a $\frac{Kg}{m^3}$, (49) y se obtiene mediante la medida de la masa m y el volumen V de cierta cantidad de un aceite utilizando la relación conocida como, $\rho = \frac{m}{V}$ (46)(50).

2.4.3 El índice de refracción (n).

Es la relación existente entre la velocidad de la luz al vacío y la velocidad de la luz en el medio refringente donde esta se propaga (51). En el mayor de los casos el índice de refracción se representa con la letra n se define como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío, $c = 3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$, y su velocidad en el medio, v , como se representa en la ecuación no. 3: $n = \frac{c}{v}$.

Además de la ecuación no. 3 existen otras formas para determinar el índice de refracción de sustancias refringentes, por ejemplo, a través de la ley de Snell¹, la cual relaciona los índices de refracción de los medios por donde se propaga la luz. Para la medida de dicho índice de refracción se utilizan dispositivos ópticos denominados refractómetros, con los cuales se puede determinar el índice de refracción de sustancias líquidas o sólidos translucidos. Actualmente existen refractómetros análogos (mecánicos) y digitales, estos miden el ángulo límite entre los vidrios,

¹ Esta ley se representa a través de la expresión fisicomatemática $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

uno de índice de refracción conocido y otro de índice de refracción desconocido (el que se desea medir). En el presente trabajo el refractómetro que se utilizó fue el análogo, este sólo requiere unas pocas gotas del líquido e iluminación natural y/o artificial para conocer el valor del índice de refracción, el cual puede ser leído al observar por el ocular (50)(52)(53).

2.5 Marco legal

Se tendrá como base *la ley 650 del 2001* por la cual se reglamenta en el artículo 1 la profesión de optometría en Colombia donde refiere acciones de prevención y corrección de las enfermedades del sistema visual por medio del examen, diagnóstico y tratamiento para lograr una eficiencia visual y la salud ocular. Estas acciones deberán ser integras con todos los pacientes, ejerciendo toda su capacidad profesional, con amor, consagración, responsabilidad y buena (54).

El optómetra tiene la obligación de mantener una actualización de sus conocimientos junto con su honestidad en el ejercicio de la profesión y así brindar una óptima y mejor prestación de sus servicios. Siendo estos artículos convenientes para el aporte que tiene este trabajo de investigación en la mejoría de las recomendaciones hacia los pacientes con respecto al mejor filtro AR que le convenga por su uso según su necesidad y utilidad diaria.

Además, se tendrá como base *la ley 1915 del 12 de julio de 2018* donde expone en el artículo 2 que los derechos de autor recaen sobre cualquier tipo de obra ya sea científica, literaria y artística, cualquiera que sea el modo o forma de expresión bajo el nombre(s) del autor(es), también se expone en, el artículo 12 describe que el autor o, en su caso, sus derechos habientes, tienen sobre las obras literarias y artísticas el derecho exclusivo de autorizar o prohibir la reproducción de la obra por cualquier manera o forma permanente o temporal, mediante cualquier procedimiento incluyendo el almacenamiento temporal en forma electrónica, la comunicación al

público de la obra por cualquier medio o procedimiento alámbrico o inalámbrico, incluyendo la puesta a disposición al público, de tal forma que los miembros del público puedan tener acceso a ella desde el lugar y en el momento que cada uno de ellos elija, la distribución pública del original y copias de sus obras, mediante la venta o a través de cualquier forma de transferencia de propiedad, la importación de copias hechas sin autorización del titular del derecho, el alquiler comercial al público del original o de los ejemplares de sus obras y la traducción, adaptación, arreglo u otra transformación de la obra (55).

3. Metodología

El trabajo de grado titulado Medida del Ángulo de Humectación en Superficies Oleofóbicas de lentes oftálmicos a través del método óptico de perfilometría, se encuentra inmerso dentro del área de investigación del cuidado primario de la salud visual y ocular desde el desarrollo de la optometría basada en la evidencia. Corresponde a la línea número tres de evaluación de las intervenciones en Optometría, debido a que pretende analizar las variaciones en las medidas del ángulo de humectación de superficies superhidrofóbicas de lentes oftálmicos expuestos a los diferentes tipos de aceites. Razón por la que adicionalmente dará cumplimiento al primer objetivo de esta, el cual evalúa la efectividad de los tratamientos aplicados en lentes oftálmicos que conduzcan a las mejoras de estos, para una intervención oportuna y eficaz.

La medición del ángulo de humectación en superficies oleofóbicas contribuirá al marco académico, presentando información relevante respecto el tema de estudio, teniendo en cuenta que se encuentran pocas investigaciones relacionadas con el tema. En el caso del ámbito clínico, la información que se logró obtener será de utilidad para el optómetra en el momento de prescribir los filtros a los lentes oftálmicos que requiera un paciente determinado.

La investigación realizada correspondió a un estudio experimental tipo ensayo de laboratorio, este permitió determinar la eficacia de un tratamiento para analizar las variaciones en las medidas del ángulo de humectación de superficies oleofóbicas de lentes oftálmicos expuestos a los diferentes tipos de aceites descritos anteriormente, a través de la implementación de un sistema optoelectrónico y el procesamiento digital de las imágenes que permitieron obtener datos confiables de los valores numéricos de dicho ángulo de contacto.

3.1 Población

Criterios de inclusión

- Lentes con recubrimiento AR superhidrofóbicos
- Aceites con características específicas (Aceites vegetales, aceites esenciales, aceites fósiles)

Criterios de exclusión

- Falla en la aplicación de las capas del filtro AR
- Lentes oftálmicos de materiales distintos a Policarbonato y CR-39

3.2 Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra estuvo constituido por 50 montajes de laboratorio aproximadamente, se realizaron 4 tomas para tres tipos de filtro (Uniclear, Smart, Supreme), por cada material (Policarbonato y CR-39) y cuatro aceites (Aceite de palma, soya, aceite corporal y aceite de palma usado). Debido al tipo de procesamiento de datos y las relaciones de los materiales

y sustancias no fue viable realizar un análisis estadístico representativo para el tipo de estudio implementado.

3.3 Tipo de muestreo

Muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que se va a seleccionar una muestra que es de fácil acceso dado que se pueden elegir los tipos de aceite para trabajar y de igual forma los diferentes lentes oftálmicos con filtro AR.

3.4 Variables

A continuación, se presentan en la siguiente tabla las variables a considerar para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

3.4.1 Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Objetivo	Variable	Def. Conceptual	Def. Operacional
Analizar las variaciones en las medidas del ángulo de humectación de superficies superhidrofóbicas de lentes oftálmicos expuestos a los diferentes tipos de aceites.	Ángulo de humectación	El ángulo de contacto o ángulo de humectación es una medida de la humectabilidad de una superficie líquida en contacto con una superficie sólida (56).	La tendencia a la humectación es mayor, cuanto menor es el ángulo de contacto o la tensión superficial.
	Índice de refracción de las sustancias oleosas	Es el cociente de la velocidad de la luz en el vacío y de la velocidad de la luz en el medio, es decir, indica el comportamiento de la luz al atravesar un	Es específico para cada medio.

Objetivo	Variable	Def. Conceptual	Def. Operacional
		medio, se simboliza con “n” y es un parámetro propio de cada medio. (57)	
	Viscosidad de las sustancias oleosas	La viscosidad es la propiedad de un fluido que da lugar a fuerzas que se oponen al movimiento relativo de capas adyacentes en el fluido (58).	Unidad de medida: $\frac{m^2}{s}$.
	Filtros ar de los lentes oftálmicos	Es un tratamiento utilizado en los lentes oftálmicos con el fin de disminuir los reflejos de luz en estos, logrando ser beneficioso al mejorar la visión, reducir el cansancio ocular y brindar mayor atractivo a sus gafas (59).	Smarts, supreme y uniclear
	Densidad de las sustancias oleosas	Densidad es una propiedad intensiva de la materia, la cuál es el cociente de si masa por cada unidad de volumen (60).	Unidad de medida: $\frac{g}{cm^3}$ o $\frac{kg}{m^3}$
	Sustancia oleosa	Los lípidos también llamados grasas en estado sólido y aceites en estado líquido son un conjunto de biomoléculas cuya característica principal es la insolubilidad en agua (61).	Aceites corporales y vegetales.
	Casas comerciales 1,2,3	Lugar donde se adquieren los lentes oftálmicos.	Megalens, laboratto, unilens.
	Material del lente oftálmico	Sustancia constituyente de componentes y estructuras cuyo objetivo óptico es tener una buena calidad óptica, junto con una excelente apariencia estética. (62)(63)	Cr-39 y policarbonato

3.4.2 Clasificación de variables

Tabla 2. *Clasificación de Variables*

Variable	Naturaleza	Escala de medición
Ángulo de humectación	Cuantitativa	Razón continua
Índice de refracción	Cuantitativa	Razón continua
Viscosidad	Cuantitativa	Razón continua
Densidad	Cuantitativa	Razón continua
Sustancia oleosa	Cualitativa	Nominal politómica
Filtro ar	Cualitativa	Nominal politómica
Casas comerciales	Cualitativa	Nominal politómica
Material del lente oftálmico	Cualitativa	Nominal dicotómica

3.5 Plan de análisis

3.5.1 Análisis univariado

Tabla 3. *Análisis univariado*

Variable	Análisis univariado	Gráfica
Ángulo de humectación	Se realizó por coeficiente de asimetría y curtosis.	Tablas
Índice de refracción	-cálculo medida de tendencia central, se reportó promedio (cuando se tiene una distribución normal) y mediana (cuando se tiene una distribución no normal)	
Viscosidad	-cálculo de medida de dispersión, varianza y desviación estándar	
Densidad	(cuando hay distribución normal) y rango intercuartil mínimo-máximo (cuando hay distribución no normal).	
Sustancia oleosa		
Filtro ar	Se realizó por distribución por frecuencia absoluta y relativa.	Tablas

Casas comerciales	-cálculo de medida de tendencia central, se reporta moda.
Material del lente oftálmico	-cálculo de medida de dispersión se reporta intervalo de confianza (distribución normal y no normal).

3.5.2 Análisis bivariado

Tabla 4. Análisis Bivariado

Cruce de variable		Análisis bivariado
Medida del Ángulo de Humectación	Viscosidad	Coeficiente de Pearson, coeficiente de Spearman
Medida del Ángulo de Humectación	Densidad	
Medida del Ángulo de Humectación	Índice de refracción	
Medida del ángulo de humectación	Casa comercial	T-Student, rangos de Wilcoxon
Medida del Ángulo de Humectación	Filtro AR	
Medida del Ángulo de Humectación	Material del lente oftálmico	
Filtro AR	Características de las sustancias oleosas	Exacta de Fisher Chi-Cuadrado
Filtro AR	Material del lente Oftálmico	
Casas comerciales	Filtro AR	
Casas comerciales	Material del lente Oftálmico	

3.6 Procedimiento

3.6.1 Lineamientos ante el covid-19

Para el desarrollo de las medidas experimentales y/o ingreso a los espacios de laboratorio de Física y Óptica Fisiológica, se hizo presente de carácter obligatorio todas las medidas de bioseguridad para cada uno de los encargados del desarrollo del proyecto, considerando las medidas de contingencia nacionales e internacionales debidas al COVID-19, a pesar de no tener relación y/o vinculación de pacientes en esta investigación.

El protocolo de bioseguridad que se adoptó fue el propuesto por el Ministerio De Educación en la nueva resolución del 24 de abril del 2020 (numero 000666) (64). En esta se estableció el protocolo general de bioseguridad para mitigar, controlar y realizar el manejo adecuado de la pandemia. Por lo cual se destacó importantes medidas para el ingreso a los espacios utilizados:

- El lavado de manos. Se dispuso de insumos para realizar el correcto lavado de manos (agua, jabón y toallas desechables) así mismo de espacios pertinentes para su realización, teniendo presente la técnica adecuada de esta, como también contar con alcohol y gel desinfectante.
- Distanciamiento físico, se mantuvo una distancia mínima de dos metros por persona y así mismo controlar el aforo en el área o recinto de trabajo.
- Elementos de protección personal (EPP) cada persona se hizo cargo de contar con los EPP indicados para los trabajadores, en nuestro caso se utilizó batas, caretas y mascarillas. Estos fueron lavados y desinfectados antes y después de la jornada. Siendo de uso estrictamente obligatorio y personal. Para la utilización de mascarillas se dejó claro que podían ser desechables, pero de único uso, si se utiliza de tela deben ser los recomendados por el

ministerio y siempre usarse la manera correcta. Se realizó lavado de manos antes y después de usar la mascarilla.

- Limpieza y desinfección. Cada lugar de trabajo se desinfectó de manera regular y se implementó un plan de limpieza y desinfección.

Muy importante tener en cuenta que cada estudiante fue responsable del cuidado en las áreas fuera de la universidad, transporte, interacción con terceros y demás. Sin embargo, se hizo un monitoreo constante de los síntomas que se podían presentar y se recomendó descargar la aplicación coronApp. Ninguna persona con posible contagio de covid-19 hizo parte de las sesiones presenciales para salvaguardar la vida de sus compañeros y/o docente.

3.6.2 Procedimiento de la investigación.

Teniendo en cuenta que el objetivo de la investigación es analizar las variaciones en las medidas del ángulo de humectación de superficies superhidrofóbicos de lentes oftálmicos expuestos a los diferentes tipos de aceites, se realizó lo siguiente:

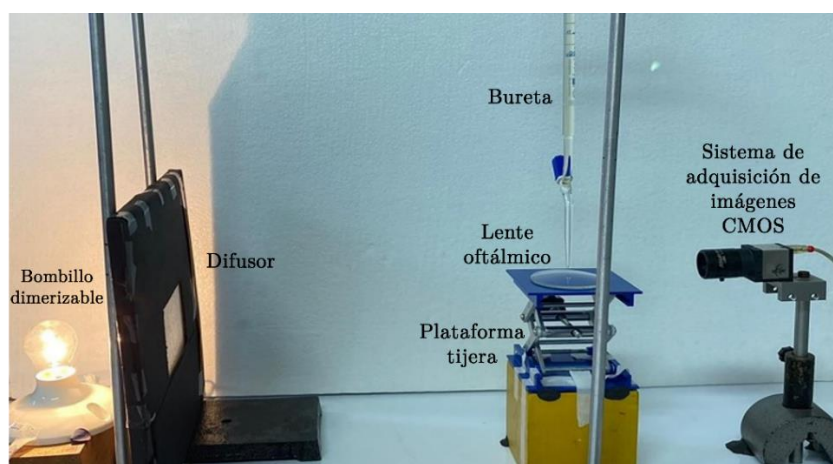
Se presentó una carta solicitud de préstamo de equipos para medidas de densidad, índice de refracción (refractómetro digital o análogo), bureta, probetas, vasos de precipitados, soporte universal y pinzas, entre otros. De los aceites a utilizar, al personal encargado de los laboratorios de química y biología, al Departamento de Ciencias Básicas o Facultad de Química Ambiental de la Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga.

Se hizo necesario tener en cuenta el siguiente procedimiento:

- Ingreso al laboratorio de Física y Óptica Fisiológica considerando las normas de bioseguridad exigidas por la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga por la emergencia sanitaria de COVID-19.

- Diseño y elaboración del montaje experimental. En el montaje experimental se utilizó un sistema óptico compuesto por una cámara CMOS marca Edmund Optics con objetivo de microscopio de 25mm de focal/F1,4, con la cual se adquirieron las imágenes, una fuente de iluminación dimerizable para graduar la intensidad luminosa, una lámina de poliestireno expandido que se usó como difusor, una bureta de 25,0 ml con la que se aplicaba una gota, con un volumen de 0,05 ml aproximadamente, de cada una de las sustancias oleosas sobre la superficie de los lentes oftálmicos utilizados (Figura 15).

Figura 15. *Montaje experimental*



- Calibración de la cámara. Para eliminar o deshacer los efectos de aberraciones de distorsión tipo barril o corsé generadas por el sistema óptico implementado, fue necesario realizar un proceso de calibración del sistema determinando los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara entre los cuales se tiene que:

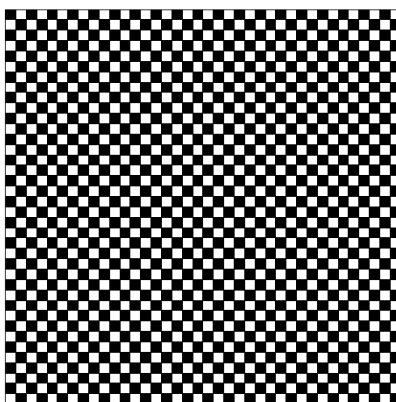
Los parámetros intrínsecos, entre los cuales se tiene la distancia focal, que es la distancia entre el centro de perspectiva en el centro de la imagen y el punto principal, el tamaño de los píxeles y el punto principal que es definido como el punto de intersección

del rayo principal en el lado de la imagen con el plano imagen. Y los extrínsecos que están representados por la posición y orientación de la cámara en tres dimensiones tomando una referencia coordenada (65).

En este caso se utilizó el método de Zhang, este representa una técnica flexible para la calibración de una cámara, su ventaja respecto a otros métodos es que tanto la cámara como la plantilla utilizada 2D pueden ser movidas libremente y así tomar tantas imágenes como se quiera (66), puesto que no es necesario saber la posición de la cámara en el momento puntual que fueron tomadas las fotos, contar con un diseño especial o conocer la posición y medida exacta de los puntos de interés. Este método sirve para resolver distancias focales, desplazamientos del centro de la imagen y calcular la distorsión radial de está con el fin de obtener resultados óptimos (67).

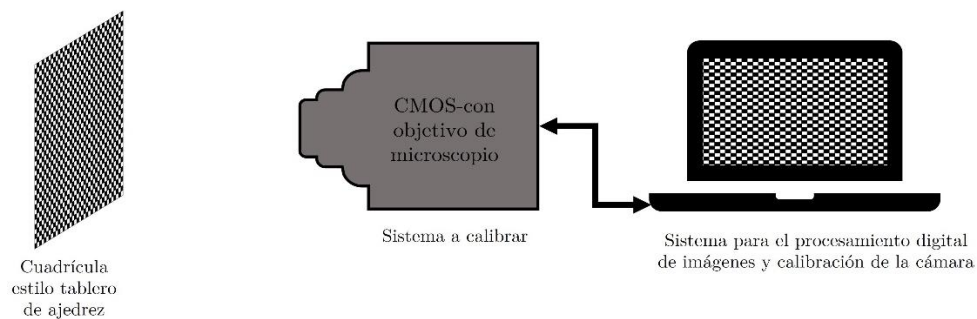
Para esto la cámara observa un patrón plano de cuadros en diferentes direcciones denominado tablero de ajedrez, que consta de cuadrículas realizadas con cuadrados blancos y negros de $2,0\text{ mm}$ de lado y $4,0\text{ mm}^2$ de área, se tomó este tamaño atendiendo que las muestras estudiadas fueron gotas de aceite de $0,05\text{ ml}$ que fueron aplicadas sobre la superficie de los lentes oftálmicos con recubrimientos superhidrofóbicos y se encontraban a distancias aproximadas de $11,0\text{ m}$ a $11,5\text{ mm}$ del objetivo de la cámara (Figura 16).

Figura 16. Tablero tipo ajedrez, con cuadrados blancos y negros de $2,0\text{ mm}$ de lado y área de $4,0\text{ mm}^2$ cada uno

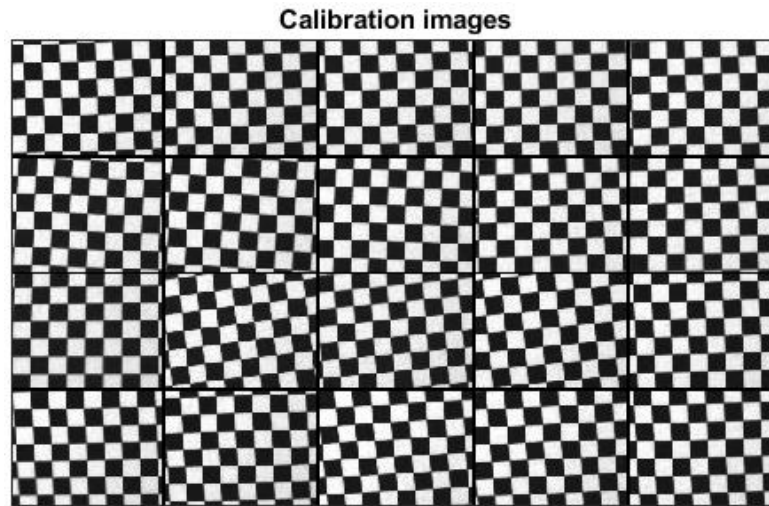


Este tablero fue ubicado a las distancias mencionadas anteriormente. Luego se realizó la adquisición de 20 imágenes de la cuadrícula orientada de diferentes maneras, con la precaución que en estas posiciones y/u orientaciones se tuviera la imagen nítida de las cuadrículas. Las imágenes se adquirieron a través de un pc conectado a la cámara (Figura 17).

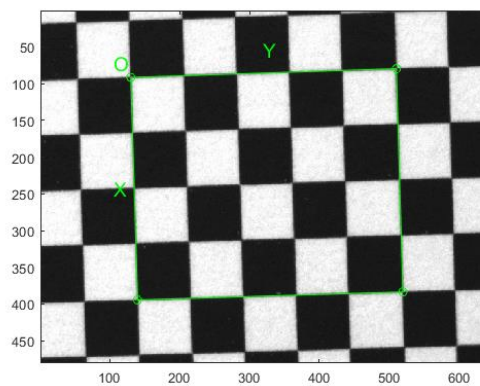
Figura 17. Esquema del montaje experimental para el proceso de calibración de la cámara CMOS con objetivo de microscopio



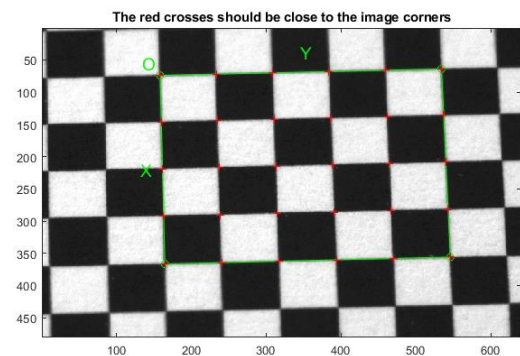
Para el procesamiento y respectiva calibración de la cámara-objetivo de microscopio se utilizó la herramienta TOOLBOX el cual se puede adquirir a través del enlace *caltech* http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/download/index.html. Por medio de esta herramienta se realizó la lectura de las 20 imágenes del tablero dispuesto de formas y orientaciones diferentes (Figura 18).

Figura 18. *Lectura de las 20 imágenes para la calibración*

Posteriormente se detectaron las esquinas en cada una de las imágenes, se seleccionó un área compuesta por cinco cuadros a lo largo del eje y y cuatro en el eje x (Figura 19).

Figura 19. *a) Número de cuadros en x e y . b) Detección de esquinas en la región de estudio*

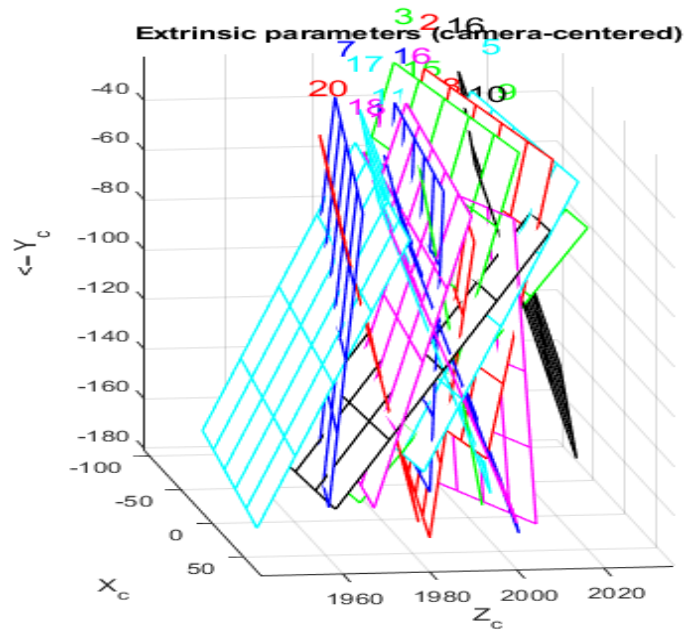
a)



b)

Este proceso se aplicó de forma similar para las 20 imágenes, luego se procedió a calibrar el sistema logrando determinar para los parámetros extrínsecos la posición y orientación de las cuadrículas en un plano tridimensional (Figura 20).

Figura 20. Gráfico de las cuadrículas en un plano en perspectiva tridimensional



Para los intrínsecos se obtuvo como resultado de procesamiento que:

Focal Length: $fc = [5054.93103 \ 5012.52014] \pm [406.52092 \ 404.25799]$

Principal point: $cc = [359.13394 \ -4.79501] \pm [0.00000 \ 0.00000]$

Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow \text{angle of pixel axes} = 90.00000 \pm 0.00000 \text{ degrees}$

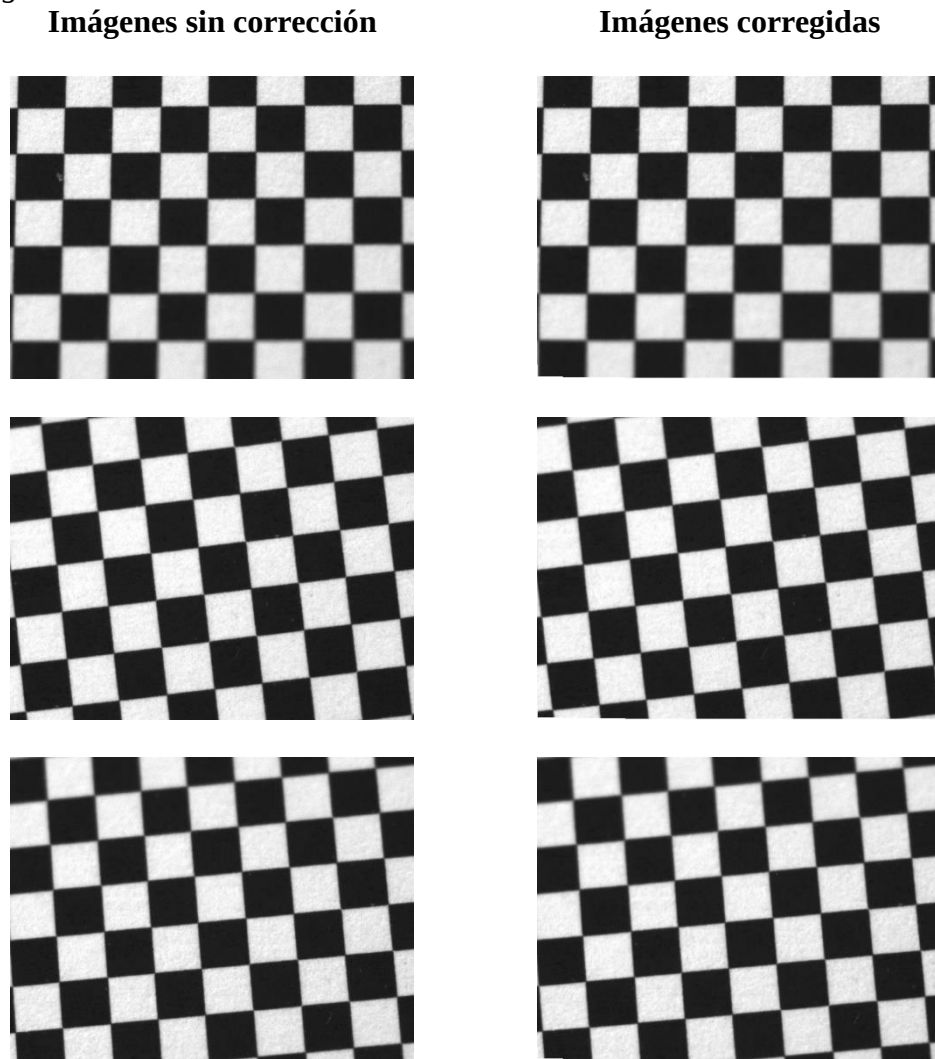
Distortion: $kc = [-2.33356 \ 113.06774 \ 0.05108 \ -0.00442 \ 0.00000] \pm [0.98560 \ 60.53339 \ 0.02990 \ 0.00627 \ 0.00000]$

Pixel error: $err = [0.44986 \ 0.44243]$

El error de píxel estuvo en el rango de -1 y 1 como se muestra en los valores anteriores, esto implica un resultado aceptable para el rango de medidas.

Con la base de la calibración se aplicó la corrección a cada una de las imágenes de las cuadrículas para apreciar posibles variaciones debido a las aberraciones de distorsión generada por el sistema (Figura 21).

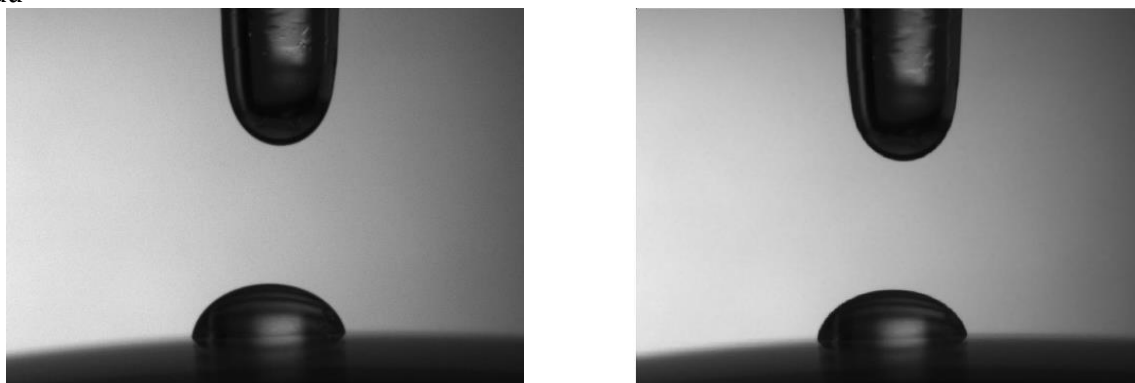
Figura 21. A la izquierda imágenes originales sin corrección de aberraciones y a la derecha imágenes corregidas



El sistema implementado fue prácticamente telecéntrico teniendo en cuenta que los objetos de estudio estuvieron frente el objetivo de la cámara y además a una distancia relativamente cerca, por lo tanto, las aberraciones de distorsión fueron relativamente mínimas.

Sin embargo se aplicó la corrección a cada imagen de las gotas de agua utilizadas en el estudio (Figura 22).

Figura 22. a) Imagen de la gota de aceite sobre el lente sin corregir. b) Imagen de la gota corregida



a)

b)

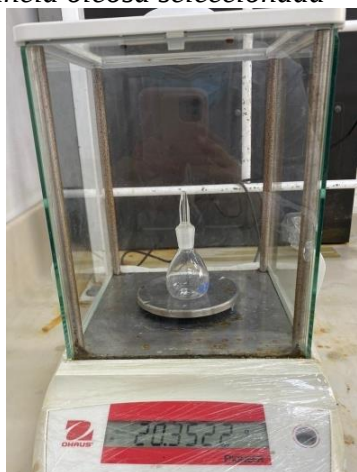
Como se puede apreciar en la figura anterior las variaciones fueron muy sutiles, debido a lo comentado anteriormente.

Luego de todo este ejercicio de calibración y ajuste de imágenes se realizó el procesamiento digital de las imágenes de las gotas de aceite que se aplicaron sobre el lente oftálmico para determinar el ángulo de contacto, logrando determinar si las superficies eran oleofóbicas o no, como se explica en lo que sigue.

Propiedades físicas de los aceites Se utilizaron 4 tipos de aceites, aceite de palma, soya, aceite corporal y aceite de palma usado en la cocción de cocina casera, dos de ellos eran una mezcla de aceite de palma y de soya. Estos se nombraron respectivamente como AP, AO, AJ y AU.

Densidad de los aceites. La densidad de cada uno de los aceites utilizados se determinó a través de la relación matemática $\rho_L = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$, de donde, la masa se midió con una balanza analítica y el volumen se determinó con un picnómetro. Para la determinar la masa de los aceites se procedió a realizar una resta de la masa del aceite contenida en el picnómetro, menos la masa del picnómetro (Figura 23).

Figura 23. a). Medida de la masa del picnómetro vacío. b). Medida de la masa del picnómetro lleno de la sustancia oleosa seleccionada



a)



b)

Los valores numéricos determinados de las densidades de los aceites se registraron en la siguiente.

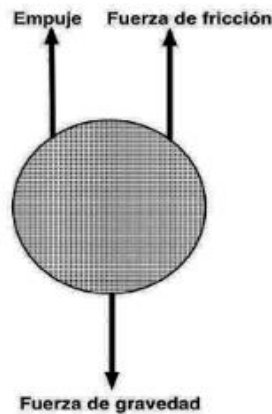
Tabla 5. Densidades de cada uno de los aceites empleados

Aceite	Masa g	Volumen cm^3	Densidad $\frac{g}{cm^3}$	Densidad $\frac{kg}{m^3}$
AO	22,719	24,969	0,9099	909,9
AP	22,6461	24,943	0,907	907
AJ	20,89	24,969	0,835	835
AU	23,0283	25,430	0,905	905

Viscosidad de los aceites. Teniendo en cuenta que no se encontró en la literatura los valores numéricos específicos de la viscosidad de los aceites utilizados en la presente investigación, se procedió a aplicar el método o ley de Stokes, este se conoce como el movimiento o fuerza de arrastre que experimenta una esfera por un fluido con viscosidad n , experimentando una fuerza de resistencia sobre la esfera (68). Para conocer la viscosidad del líquido con este método, se necesitó

conocer el valor de la velocidad de la esfera con la cual se desplazó, las fuerzas actuantes se equilibran haciendo que su velocidad terminal alcance un valor constante (69).

Figura 24. *Fuerzas que actúan sobre una partícula en un líquido*



Tomado de: Aplicación de conceptos clásicos de la física en la práctica ingenieril. La ley de Stokes como herramienta conceptual en el análisis de procesos de deshidratación del petróleo (68).

No se realizó una demostración teórica y experimental de este teorema, solamente se utilizó la ecuación y un montaje experimental (figura 25) en el cual se implementó una columna de cromatografía a la cual se le realizaron marcas separadas de una distancia de 2 cm cada una. Esta columna se llenó con cada uno de los aceites independientemente para cada medida. La cámara se ubicó a una distancia aproximada de 58 cm, luego se soltaban libremente los balines desde la parte superior de la columna, para tener una velocidad inicial de caída igual a cero. Con la cámara se realizaron videos de las caídas de los balines dentro de los aceites, se revisaba cuadro a cuadro el vídeo para determinar el tiempo y posteriormente el valor aproximado de la velocidad promedio del desplazamiento del balón dentro de los fluidos en la distancia elegida.

Figura 25. Esquema del montaje optoelectrónico implementado para la medida de la viscosidad de los aceites

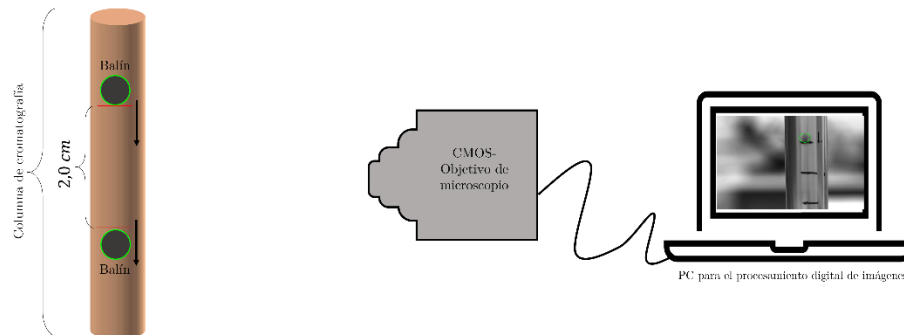


Figura 26. Montaje experimental en el cual se aprecia la columna de cromatografía y el sistema de adquisición del video



La ley de Stokes que se utiliza para determinar la viscosidad de un fluido, teniendo en cuenta la estrategia experimental de una masa que se desplaza dentro del fluido en estudio, se representa a través de la ecuación no. 4:

$$\eta = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_C - \rho_L)}{18v}$$

Siendo η la viscosidad del líquido o fluido, g la aceleración gravitacional, d el diámetro de la esfera, en este caso representa el diámetro de los balines, ρ_C la densidad de los balines, ρ_L la densidad de los fluidos (aceites) y v la velocidad límite que en este trabajo fue la velocidad promedio que tuvo el balón al recorrer la distancia promedio de 2 cm. Para obtener el valor de la viscosidad fue necesario tener los valores numéricos de cada una de las variables expresadas en ecuación no. 4.

Para hallar la velocidad límite del balón dentro de cada aceite se recurrió a desarrollar los vídeos con ayuda del montaje representado en la figura anterior. Al procesar cada uno de los vídeos obtenidos con cada aceite se determinó la velocidad promedio al desplazarse el balón en la distancia que se tenía en la columna de cromatografía, para ello se implementó el mismo software MATLAB para poder ver los cuadros o frames, por su nombre en inglés. Las grabaciones se realizaron a 20 fps (frames por segundos o cuadros por segundos) y se elaboraron 10 tomas del movimiento del balón dentro de cada uno de estos. Por ejemplo, para el AO en uno de los videos en el frame 212 se observó el balón al llegar a una de las marcas, luego en el frame 217 llegó a la marca siguiente, en este transcurso fueron necesarios cinco cuadros, con lo anterior se dedujo que el tiempo transcurrido para que el balón recorriera la distancia marcada en la columna de cromatografía fue de $\Delta t = \frac{\#cuadros}{20} s = 0,25 s$ este procedimiento para determinar el tiempo y posteriormente la velocidad promedio se repitió para cada uno de los vídeos, en la figura 27 se muestran los cuadros donde el balón llega a la primera línea y cuando pasa por la segunda línea.

Figura 27. Seguimiento del balón en la columna de cromatografía cuando pasa entre las marcas seleccionadas en el estudio para determinar el tiempo y posteriormente la velocidad promedio en de este en los aceites



Velocidad promedio en el aceite AO. Teniendo en cuenta el procedimiento indicado anteriormente, se determinó la velocidad límite del balón cuando se desplazaba en el aceite AO. Se realizaron diez tomas (diez videos) para obtener un valor promedio de esta velocidad en todos los aceites. En la tabla 6 se muestran los cuadros (frames) para los cuales el balón se desplazó en la distancia de estudio, el número de cuadros (frames), la variación de tiempo teniendo en cuenta el número de cuadros, la distancia recorrida y la velocidad promedio en cada caso.

Tabla 6. Velocidad del balón cuando caen dentro del aceite AO

Datos	Frame inicial	Frame final	$\Delta\text{cuadros}$	$\Delta t = \frac{\Delta\text{cuadros}}{20} \text{ (s)}$	$\Delta y \text{ (cm)}$	$v \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)$	$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$
1	212	217	5	0,25	2	8	0,08
2	159	164	5	0,25	2	8	0,08
3	312	316	4	0,2	2	10	0,1
4	289	293	4	0,2	2	10	0,1
5	125	130	5	0,25	2	8	0,08
6	160	165	5	0,25	2	8	0,08
7	105	110	5	0,25	2	8	0,08
8	111	116	5	0,25	2	8	0,08
9	132	137	5	0,25	2	8	0,08
10	118	123	5	0,25	2	8	0,08

La velocidad límite promedio se determinó así:

$$v = \frac{0,08 + 0,08 + 0,1 + 0,1 + 0,08 + 0,08 + 0,08 + 0,08 + 0,08 + 0,08}{10} \frac{m}{s} = 0,084 \frac{m}{s}$$

Entonces, la velocidad promedio para el aceite AO fue de 0,084 m/s. este procedimiento se realizó de forma análoga para las demás velocidades en cada tipo de aceite.

Velocidad promedio en el AP. En la tabla 7 se muestran los datos obtenidos para determinar la velocidad del balón cuando este se desplazaba dentro del aceite AP.

Tabla 7. *Velocidad del balón cuando caen dentro del aceite AP*

Datos	Frame inicial	Frame final	$\Delta t = \frac{\Delta \text{cuadros}}{20} (s)$	$\Delta y (cm)$	$v \left(\frac{cm}{s} \right)$	$v \left(\frac{m}{s} \right)$
1	123	128	0,25	2	8	0,08
2	117	122	0,25	2	8	0,08
3	105	110	0,25	2	8	0,08
4	137	142	0,25	2	8	0,08
5	128	133	0,25	2	8	0,08
6	106	111	0,25	2	8	0,08
7	92	97	0,25	2	8	0,08
8	101	106	0,25	2	8	0,08
9	131	136	0,25	2	8	0,08
10	101	106	0,25	2	8	0,08

La velocidad promedio para el aceite AP fue de 0,08 m/s.

Velocidad en el aceite AJ. Para determinar la velocidad del balón dentro del aceite AJ, los datos se registran en la tabla 8.

Tabla 8. Velocidad del balón cuando caen dentro del aceite AJ

Datos	Frame inicial	Frame final	$\Delta t = \frac{\Delta \text{cuadros}}{20} (s)$	$\Delta y (cm)$	$v \left(\frac{cm}{s} \right)$	$v \left(\frac{m}{s} \right)$
1	118	121	0,15	2	13.33	0,1333
2	95	99	0,2	2	10	0,1000
3	163	167	0,2	2	10	0,1000
4	111	113	0,1	2	20	0,2000
5	80	83	0,15	2	13.33	0,1333
6	85	89	0,2	2	10	0,1000
7	91	95	0,2	2	10	0,1000
8	91	94	0,15	2	13.33	0,1333
9	103	106	0,15	2	13.33	0,1333
10	77	80	0,15	2	13.33	0,1333

La velocidad promedio para el aceite AP fue de 0,126.

Velocidad en el aceite AU Para determinar la velocidad del balón dentro del aceite AU, los datos se registran en la tabla 9.

Tabla 9. Velocidad del balón cuando caen dentro del aceite AU

Datos	Frame inicial	Frame final	$\Delta t = \frac{\Delta \text{cuadros}}{20} (s)$	$\Delta y (cm)$	$v \left(\frac{cm}{s} \right)$	$v \left(\frac{m}{s} \right)$
1	353	358	0,25	2	8	0,08
2	30	34	0,2	2	10	0,1000
3	145	150	0,25	2	8	0,08
4	130	134	0,2	2	10	0,1000
5	141	146	0,25	2	8	0,08
6	142	147	0,25	2	8	0,08
7	155	160	0,25	2	8	0,08
8	138	143	0,25	2	8	0,08
9	204	209	0,25	2	8	0,08
10	227	232	0,25	2	8	0,08

La velocidad promedio para el aceite AP fue de 0,084 m/s.

Se utilizaron diez balines metálicos con diámetro promedio de $d = 0,478 \times 10^{-2} m$ la media de este se obtuvo con la ayuda de un calibrador, en la figura 28 se muestran los balines y el instrumento de medida de longitud utilizados en la investigación. Con el diámetro promedio fue

posible determinar el volumen aproximado de los balines, asumiendo una forma geométrica de esfera, el cual tuvo un valor numérico de:

$$V_{volumen\ balín} = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{\pi d^3}{6} = \frac{\pi(0,478 \times 10^{-2}m)^3}{6} = 5,718 \times 10^{-8}m^3$$

Figura 28. a) Balines utilizados. b) Medida del diámetro con el calibrador



a)



b)

La masa de los balines se determinó con una balanza analítica con una desviación de $\pm 0,01\text{ g}$ y su valor promedio fue de $0,4416\text{ g} = 0,4416 \times 10^{-3}\text{ kg}$ en la tabla 10 se muestran los valores numéricos de las masas de los balines utilizados.

Tabla 10. Medida de las masas obtenidas para los 10 balines utilizados

Balín	Masa (g)
1	0,4418
2	0,4427
3	0,4412
4	0,4444
5	0,4440
6	0,4424
7	0,4392

8	0,4417
9	0,4382
10	0,4422
Promedio	0,4416

El valor numérico de la densidad aproximada de los balines utilizados fue de

$$\rho_c = \frac{0,4416 \times 10^{-3} kg}{5,718 \times 10^{-8} m^3} = 7722,980 \frac{kg}{m^3}$$

Ahora bien, teniendo en cuenta la ecuación no. 4 $\eta = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_c - \rho_L)}{18v}$, en la cual se hacía necesario tener los valores de la densidad del fluido (tabla 5), en este caso los aceites, las masas de los balines, la velocidad promedio del balón al desplazarse dentro de los aceites, el diámetro de estos y la aceleración gravitacional. Se procedió a determinar la viscosidad de cada uno de los aceites con los valores numéricos registrados anteriormente. Por ejemplo, para el aceite AO la viscosidad fue igual a:

$$\eta = \frac{9,8 \frac{m}{s} \cdot (0,478 \times 10^{-2} m)^2 \cdot \left(7722,980 \frac{kg}{m^3} - 909,9 \frac{kg}{m^3}\right)}{18 \times (0,084 \frac{m}{s})} = 1,008 \frac{kg}{m \cdot s}$$

Este resultado se puede expresar en cada una de las unidades que se utilizan para la viscosidad de una sustancia teniendo en cuenta los sistemas de numeración correspondientes.

$$\eta = 1,008 \frac{kg}{m \cdot s} = 1,008 \frac{N \cdot s}{m^2} = 1,008 Pa \cdot s = 1,008 \frac{1000 g}{100 cm \cdot s}$$

$$\eta = 10,08 \frac{g}{cm \cdot s} = 10,08 poise = 1008 centipoise$$

De forma análoga se determinó la viscosidad para los demás aceites y los valores numéricos se registraron en (Tabla 11).

Tabla 11. Viscosidad de los aceites

Aceite	Viscosidad η (<i>poise</i>)	Viscosidad ($Pa \cdot s$)
AO	10,08	1,008
AP	10,59	1,059
AJ	6,76	0,676
AU	<u>1,09</u>	<u>0,100</u>

Medida del índice de refracción de los aceites. Esta medida se realizó con un refractómetro análogo tipo Abbe (Figura 29).

Figura 29. Refractómetro análogo tipo Abbe



Para la medida con este dispositivo se debía tener el cuidado de mantener la medialuna oscura en línea con el horizonte de una mira, para garantizar una buena lectura, luego el valor numérico quedaba indicado con una aguja sobre una escala numérica, por ejemplo, en la figura 30 se muestra una de las lecturas que se obtuvieron del índice de refracción para uno de los aceites,

en esta figura la lectura para el índice de refracción es 1,478. En la tabla 12 se muestra el valor numérico determinado para el índice de refracción de los aceites.

Figura 30. Medida del índice de refracción

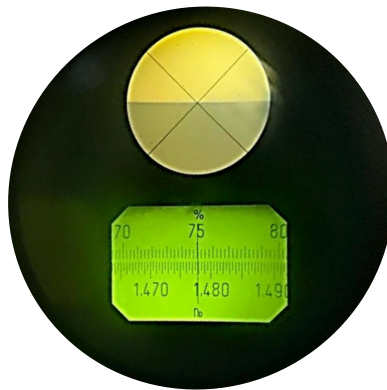
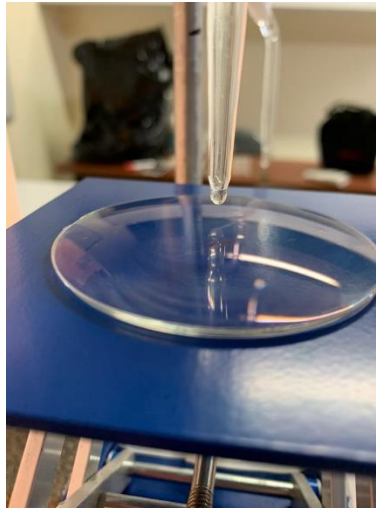


Tabla 12. Índices de refracción para cada aceite

Tipo de aceite	Índice de refracción
AP	1,478
AO	1,484
AJ	1,475
AU	1,479

Aplicación de la sustancia oleosa sobre la superficie del lente. Luego de ajustar la focal de la cámara y centrar el lente respecto a la punta de la bureta, ubicando ésta a una altura promedio de 5,0 mm respecto a la superficie de cada uno de los lentes, con ayuda de la llave de paso se aplicó una gota con un volumen promedio de 0,05 ml cada uno de los aceites utilizados, en la figura 31 se puede apreciar la gota que cae sobre el lente.

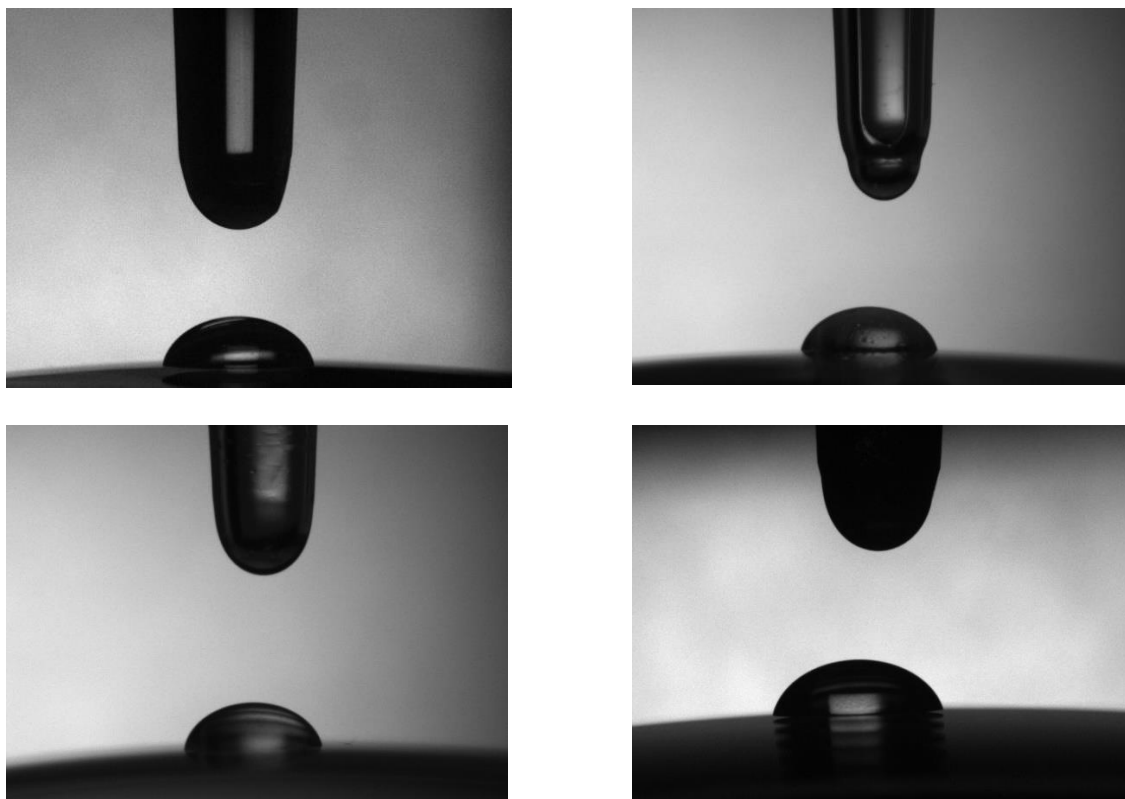
Figura 31. *Aplicación de la gota sobre el lente*



Adquisición de las imágenes con la cámara al aplicar la sustancia sobre la superficie del lente en estudio.

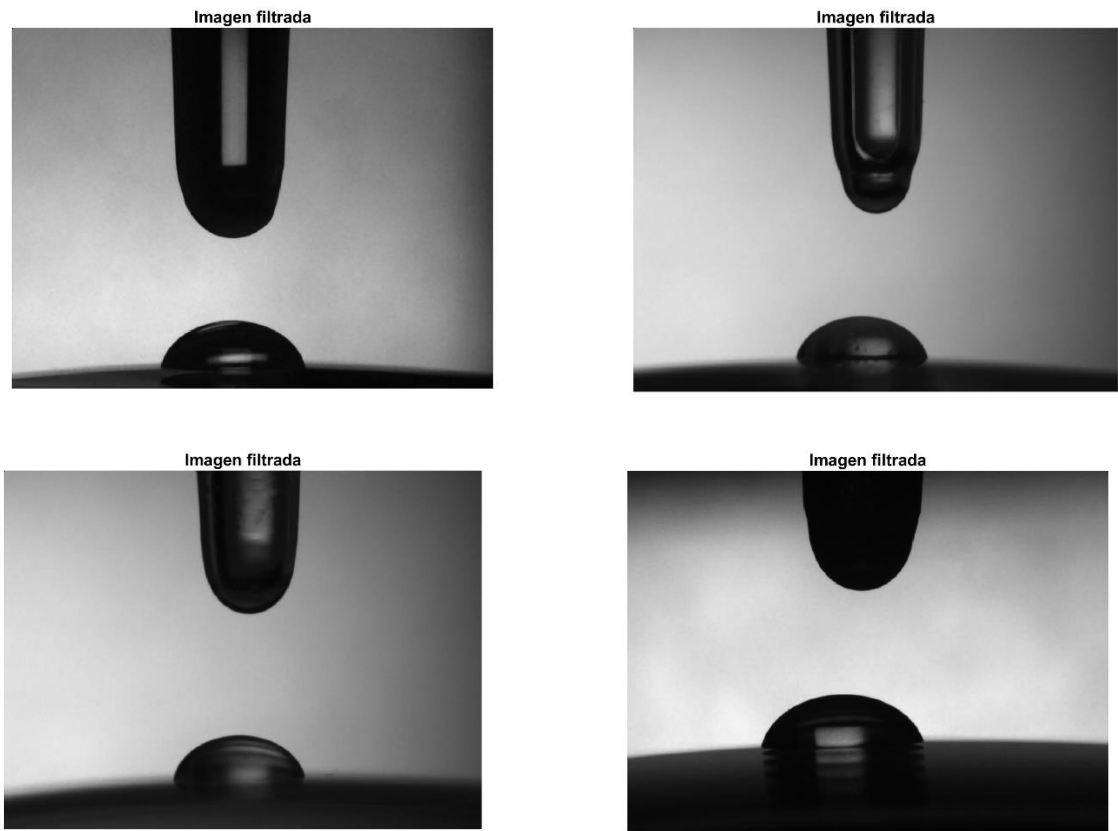
La cámara CMOS se manipuló a través de un software operado desde el computador que permitía la captura y/o adquisición de las imágenes, recordando que todo el sistema óptico estaba calibrado, la cámara focalizada, iluminación, entre otros aspectos. Las imágenes capturadas se organizaron en carpetas atendiendo la casa comercial, tipo de aceite, material y filtro AR. En la figura 32 se muestra un grupo de las imágenes que se adquirirían para ser procesadas posteriormente, este procedimiento se aplicó para todas las demás imágenes.

Figura 32. *Imágenes de gota inicial de aceites sobre el lente con filtro AR obtenida con la cámara*

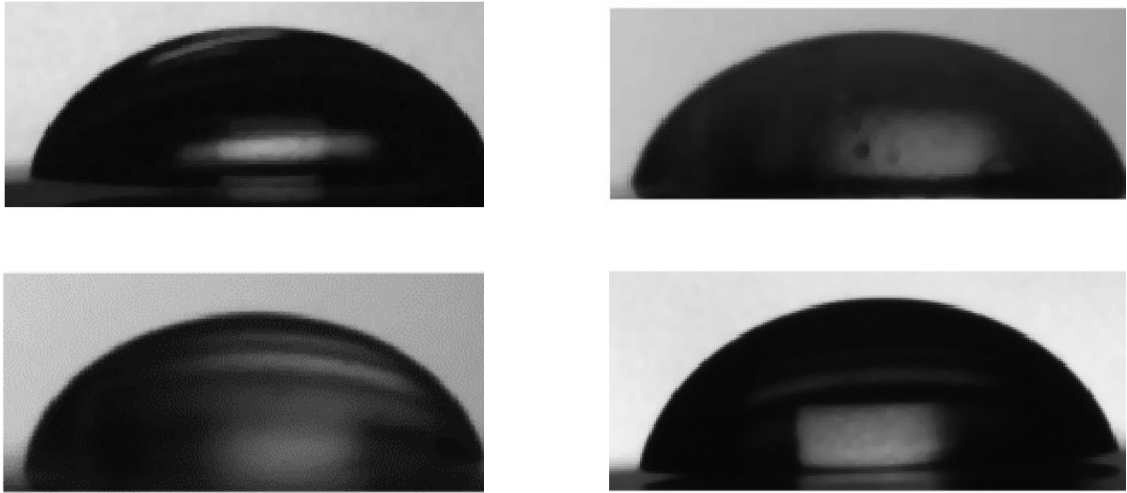


Cada una de las imágenes adquiridas fueron procesadas digitalmente con el software Matlab R2021a, cuya licencia fue adquirida por la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga, este se descargó a través del correo institucional.

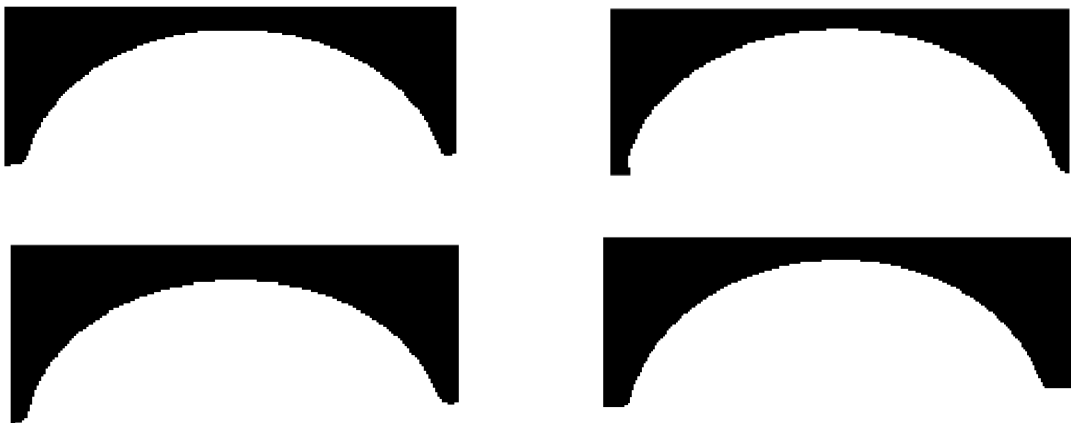
El código para el procesamiento fue realizado por el Doctor *Juan José Barrios Arlante* director de la presente investigación. Las imágenes organizadas en las carpetas se seleccionaron una por una desde los comandos realizados en el código. Así, la imagen inicial se nombró como “gota sobre el lente”, debido al ruido que tenían las imágenes, denominado sal y pimienta, se procedió a filtrarlas del “ruido”, quedando guardada como “gota sobre la lente filtrada” (Figura 33).

Figura 33. *Imagen filtrada*

Debido que la región de interés estaba entre la gota y la superficie del lente, se procedió a realizar un corte de dicha región, a través del comando *imcrop*, para no perder la información y/o localización de la gota en la región de estudio, posteriormente se guardaban los valores numéricos de la ubicación, dando el nombre de “Región de estudio” (Figura 34).

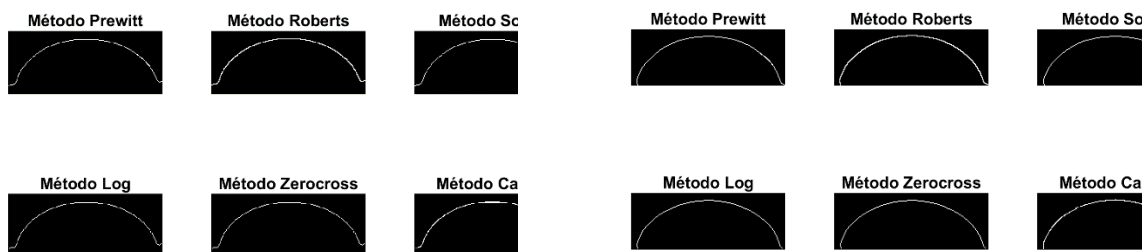
Figura 34. *Imcrop de la imagen*

Luego, se procedió a binarizar la imagen adquirida en el paso anterior, es decir, se convirtió en una imagen en blanco y negro con el fin de mejorar la calidad del perfil de la curva que se deseaba medir, quedando guardada como “Binarización” (figura 35).

Figura 35. *Imagen binarizada de los recortes de la gota y la superficie del lente*

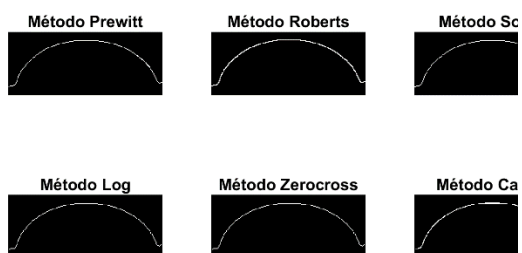
A continuación, se aplicaron los métodos para detectar el borde o perfil de la gota, en la figura 36 se muestran la detección del borde de la gota a través de los métodos de *Prewitt*, *Roberts*, *Sobel*, *Logaritmo*, *Zerocross* y *Canny*.

Figura 36. Imagen donde se muestran todos los posibles métodos de detección de bordes



a) Detección de bordes con los métodos

indicados aplicados a gota 1

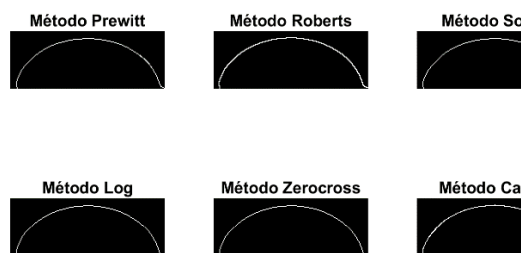


c) Detección de bordes con los métodos

indicados aplicados a la gota 3

b) Detección de bordes con los métodos

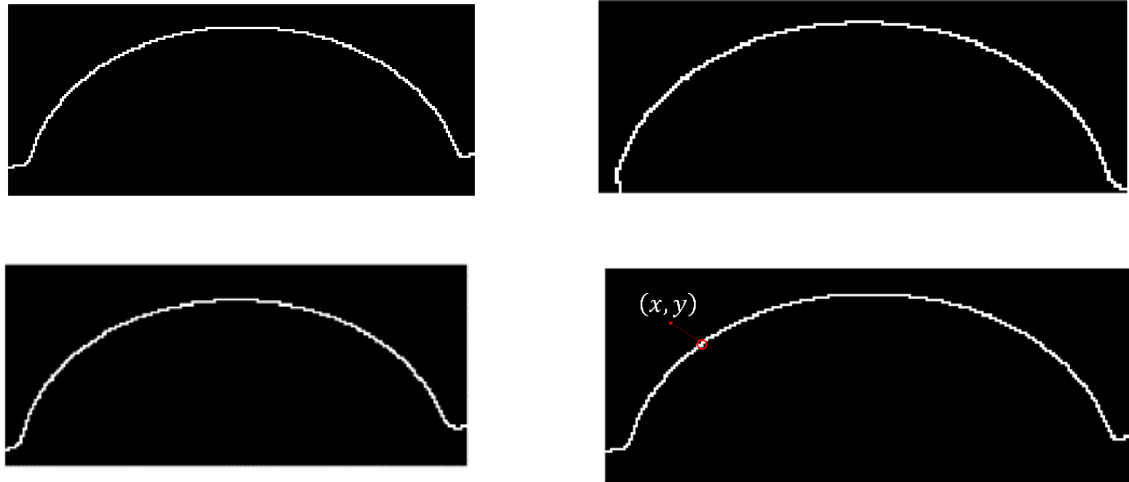
indicados aplicados a la gota 2



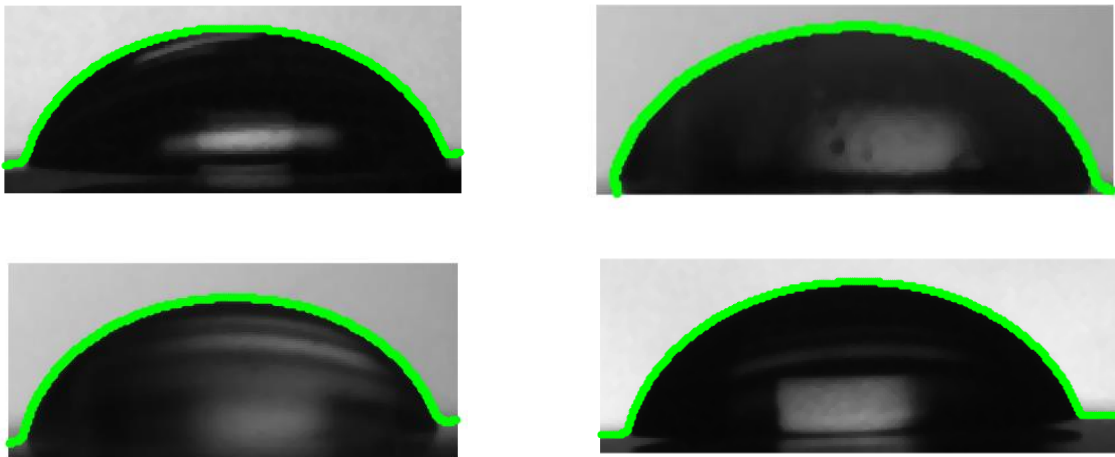
d) Detección de bordes con los métodos

indicados aplicados a la gota 4

Todos los métodos implementados resultaron confiables para el procesamiento, de estos se eligió el método de Roberts debido que se apreció un mayor detalle en los puntos que constituían la curva y/o región de estudio, parte de las curvas determinadas con este método se presentan en la figura 37.

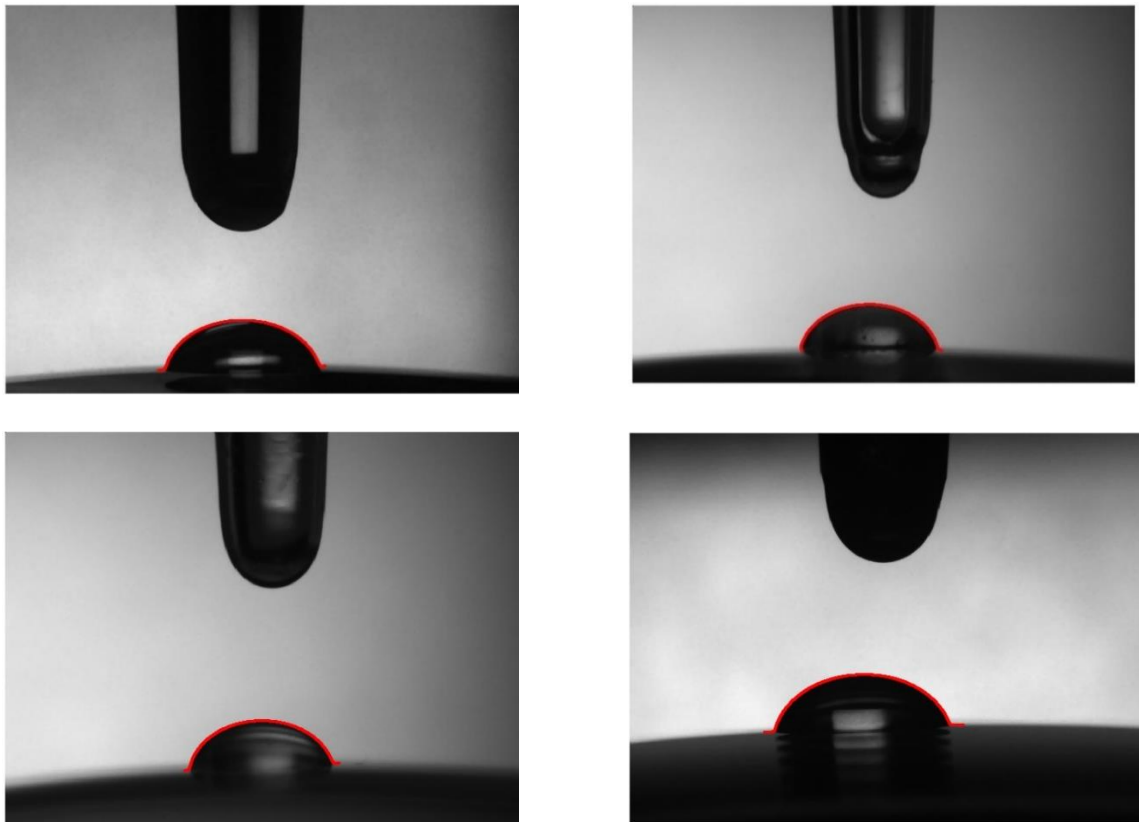
Figura 37. *Puntos de la curva determinados a través del método Roberts*

Las coordenadas (x, y) (figura 37) de los puntos de la curva se almacenaron y posteriormente se ubicaron sobre la gota, garantizando que estos puntos se encontraban en la región de interés, se resaltaron en color verde para apreciar cómo se ajustaban a la curvatura de la gota, como se muestra en la figura 38.

Figura 38. *Puntos determinados con el método Roberts ubicados sobre la curvatura de la gota*

Además, se proyectaron estos puntos sobre la imagen que se obtuvieron con la cámara, garantizando así que la ubicación era la correcta, este procedimiento se aplicó a todas las imágenes que fueron adquiridas de las gotas. En la figura 39 se muestran algunas de las imágenes donde se resalta el perfil de estudio de la gota de aceite sobre la superficie del lente oftálmico.

Figura 39. Puntos sobre la curvatura de la gota en el plano completo de la imagen adquirida con la cámara



Con las coordenadas (x, y) (figura 37) de los puntos del perfil de la gota se utilizó el comando *Curve Fitting*² del programa Matlab, con lo que se determinó el polinomio que mejor se

² Este comando se encuentra en el software Matlab. En este se eligen las coordenadas de los puntos, el tipo de aproximación de la curva a estudiar y el grado del polinomio, posteriormente se muestra la curva ajustada sobre dichas coordenadas.

ajustaba a la curva de dichas coordenadas, siendo este el de cuarto grado; en la siguiente expresión se muestra uno de los polinomios y los coeficientes numéricos, que se determinaron en el procesamiento digital de la imagen. Este proceso se realizó para todos los puntos coordenados adquiridos en cada una de las imágenes.

Figura 40. *Polinomios y coeficientes numéricos empleados en el Curve Fitting*

Linear model Poly4:

$$f(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 3.831e-07 (3.484e-07, 4.177e-07)$$

$$p2 = -0.0001801 (-0.0001967, -0.0001635)$$

$$p3 = 0.03269 (0.03009, 0.03529)$$

$$p4 = -2.732 (-2.879, -2.585)$$

$$p5 = 102.6 (100.4, 104.9)$$

Goodness of fit:

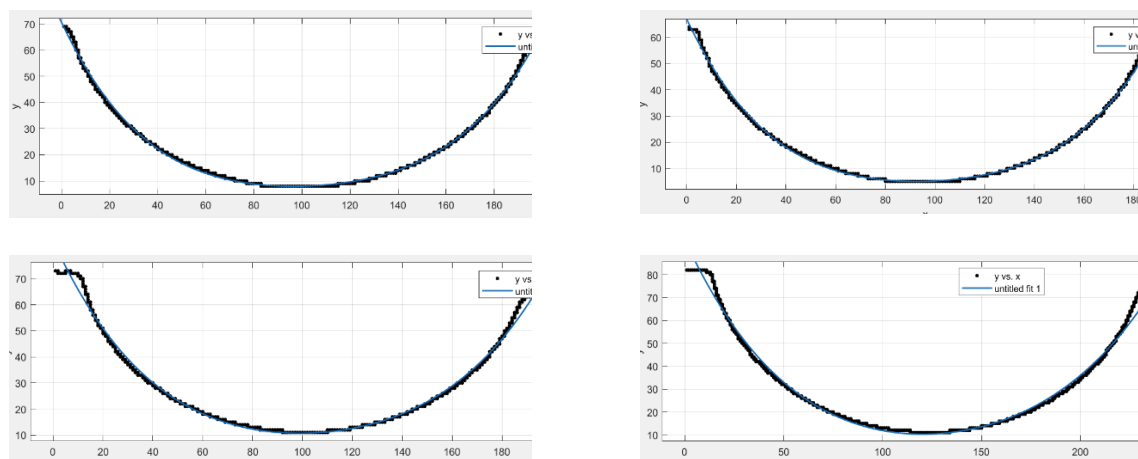
SSE: 9004

R-square: 0.9662

Adjusted R-square: 0.9659

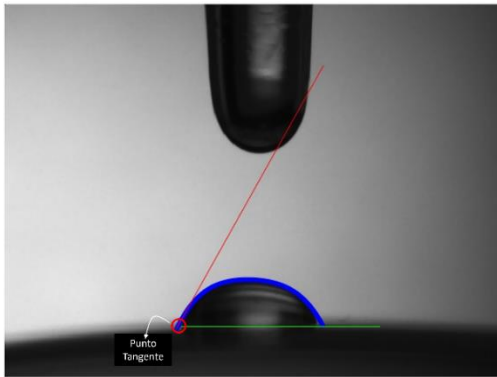
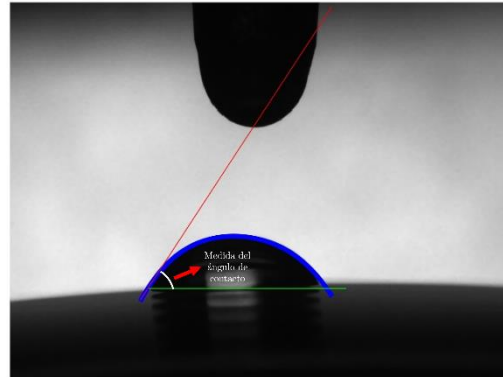
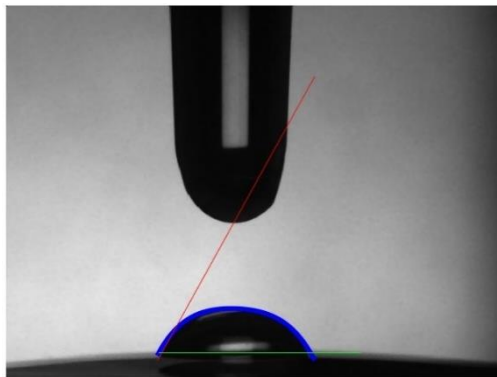
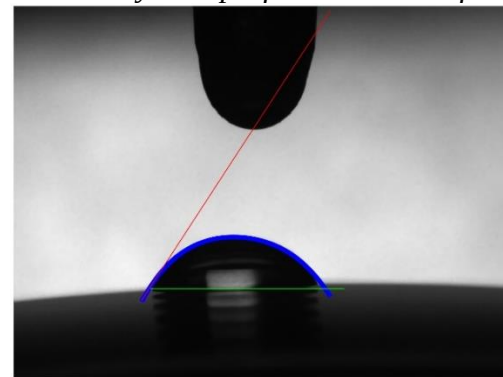
RMSE: 4.738

Luego de adquirir los polinomios se procedió a graficar estos sobre las curvas de los puntos del perfil obtenido, como se muestra en la figura 41.

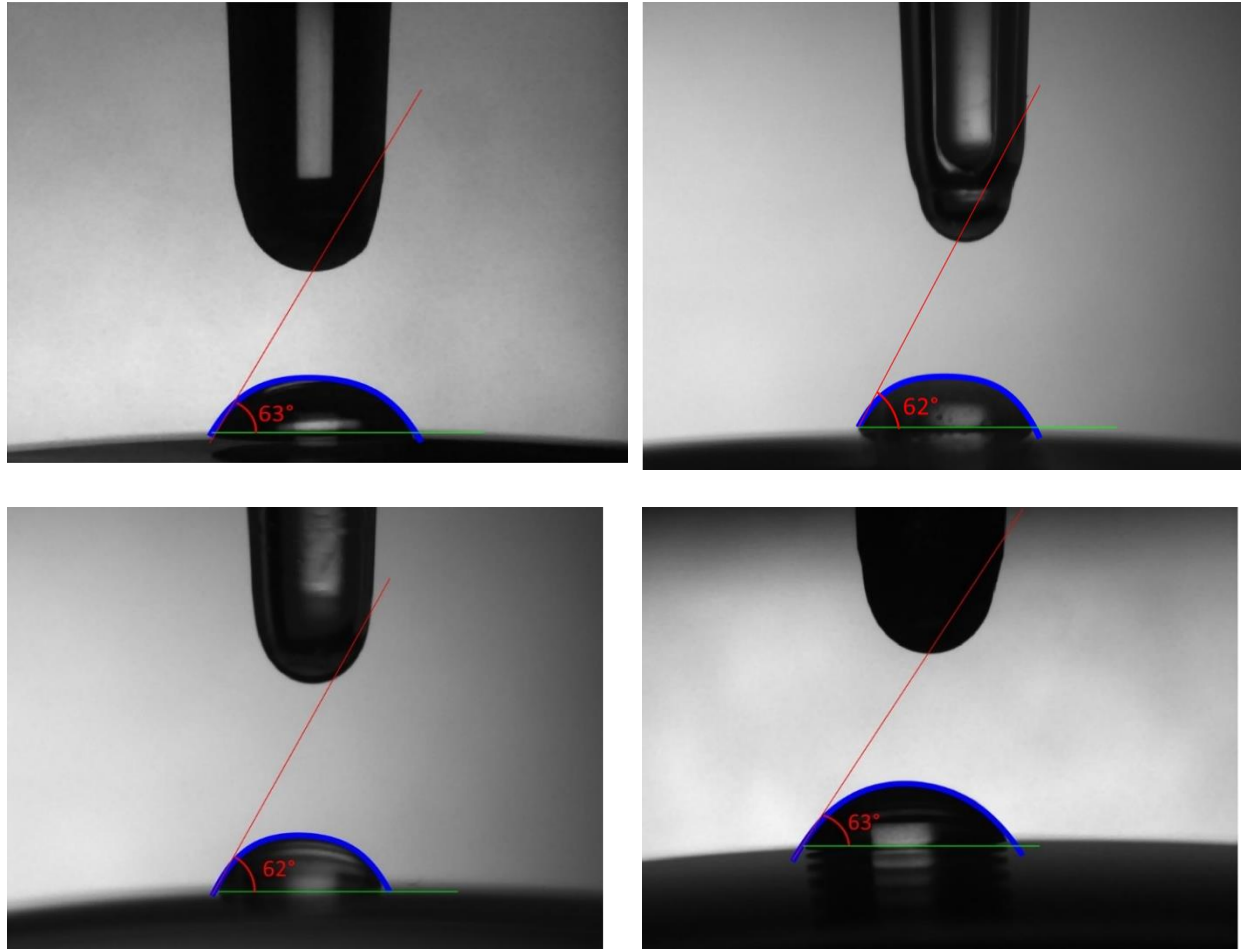
Figura 41. Gráfica de la curva del polinomio sobre los puntos del perfil

Posteriormente se determinó la derivada³ de cada función polinómica, encontrando así la pendiente de la recta tangente a la curva en cualquier punto. En la figura 42 a) se muestra el punto tangente a la curva en la coordenada de interés, en la figura 42 b) se resalta la medida que se realizó para determinar el ángulo de contacto entre la gota de aceite y la superficie del lente oftálmico. En la figura 42 c) y 42 d) se presentan las imágenes de las rectas tangentes a la curva en el punto de estudio para la determinación del ángulo en mención.

³ La derivada de una función matemática representa la pendiente de la recta tangente a la curva en un punto determinado de dicha curva. Esta tiene muchas aplicaciones en todos los campos de la ciencia.

Figura 42. Imagen con el ángulo de contacto*a) Punto tangente a la curva en la región de interés**b) Medida del ángulo de contacto entre la gota de aceite y la superficie del lente oftálmico**c) Recta tangente a la curva en la región de estudio**d) Recta tangente a la curva en la región de estudio*

Con la derivada de la función polinómica evaluada en cada punto tangente a la curva en la región de interés se procedió a determinar el ángulo de contacto para dicha tangente aplicando la función inversa de esta o arco-tangente (Figura 43).

Figura 43. *Medidas de los ángulos obtenidos con la tangente y la línea horizontal*

Los datos obtenidos se registraron en la base de datos, donde se reunió la información de las demás variables y tipos de lentes de esta investigación. En esta base (Figura 44) se identificó cada lente con un código (APC3PS1), las casas comerciales (C3, C4 y C5), para cada aceite se resaltó un color en la tabla y se colocó una sigla según el aceite utilizado, donde se representó el ángulo de contacto como AC (°) y se realizaron cuatro tomas del mismo ángulo para tener un valor promedio de esta medida.

Figura 44. Base de datos

CODIGO	CASA COMERCIAL	SUSTANCIA OLEOSA	FILTRO AR	MATERIAL LENTE	ÍNDICE DE REFRACCIÓN	VISCOSIDAD	DENSIDAD g/ml	AC (°) TOMA 1	AC (°) TOMA 2	AC (°) TOMA 3	AC (°) TOMA 4	AC (°) PROMEDIO	Desviación estándar
APC3PS1	C3	AP	1	Polycarbonato	1.478	10,59	0,907	65,97051282	66,31608422	65,73673311	65,94213664	65,9913667	0,240234757
APC3PS2	C3	AP	1	Polycarbonato	1.478	10,59	0,907	65,43710338	67,73826474	64,70899392	65,43710338	65,83036635	0,420374193
APC3PS3	C3	AP	1	Polycarbonato	1.478	10,59	0,907	65,33174816	65,31306934	63,79902256	64,49817722	64,73593389	0,735393389
APC3CRS1	C3	AP	1	CR-39	1.478	10,59	0,907	63,88202214	62,20437354	62,67663161	61,62834125	62,54738713	0,889660361
APC3CRS2	C3	AP	1	CR-39	1.478	10,59	0,907	62,70557955	64,26070393	62,51704396	63,10705323	63,14759516	0,781798651
APC3CRS3	C3	AP	1	CR-39	1.478	10,59	0,907	60,77886727	62,5785145	60,52514315	60,77896442	61,16537233	0,949659839
APC4PS1	C4	AP	2	Polycarbonato	1.478	10,59	0,907	58,883779	60,11629231	60,33012205	59,88293375	59,80328272	0,639628624
APC4PS2	C4	AP	2	Polycarbonato	1.478	10,59	0,907	53,65299817	53,61673352	53,43603355	53,43603355	53,3359497	0,116218159
APC4CRS1	C4	AP	2	CR-39	1.478	10,59	0,907	62,1727212	62,94728184	61,09588518	61,11996482	61,83560076	0,396844295
APC4CRS2	C4	AP	2	CR-39	1.478	10,59	0,907	58,15726492	58,94449433	58,94449433	60,16710738	59,05334024	0,830084955
APC5PS1	C5	AP	3	Polycarbonato	1.478	10,59	0,907	60,79687918	60,80185596	60,76258776	60,26524534	60,65664206	0,261514443
APC5PS2	C5	AP	3	Polycarbonato	1.478	10,59	0,907	63,38262248	63,48439182	63,32682705	63,57125737	63,44127468	0,108463398
APC5CR1	C5	AP	3	CR-39	1.478	10,59	0,907	63,08964985	64,25881815	64,65190165	64,68435733	64,17113174	0,746502321
AOC3PS1	C3	AO	1	Polycarbonato	1.484	10,08	0,909	64,5865889	64,77459943	64,48901008	64,57352413	64,60843313	0,117130367
AOC3PS2	C3	AO	1	Polycarbonato	1.484	10,08	0,909	61,3255652	60,3178328	60,85929092	60,8708792	60,79339203	0,418808259
AOC3PS3	C3	AO	1	Polycarbonato	1.484	10,08	0,909	64,56967291	64,27128303	65,03983592	64,71953628	64,65088203	0,319732331
AOC3CRS1	C3	AO	1	CR-39	1.484	10,08	0,909	60,81283876	62,83909723	62,27339731	62,75560074	62,17023576	0,938652811
AOC3CRS2	C3	AO	1	CR-39	1.484	10,08	0,909	63,32552515	63,62880547	63,81901164	63,60828429	63,59492664	0,203296865
AOC3CRS3	C3	AO	1	CR-39	1.484	10,08	0,909	63,77167204	64,52175752	64,16861041	64,02502264	64,12206565	0,313168911
AOC4PS1	C4	AO	2	Polycarbonato	1.484	10,08	0,909	64,53306646	63,86341902	64,07969468	64,00335683	64,12488175	0,283860348
AOC4PS2	C4	AO	2	Polycarbonato	1.484	10,08	0,909	58,65431278	58,48587569	58,09787235	57,74359909	58,24541498	0,407679115
AOC4PS3	C4	AO	2	CR-39	1.484	10,08	0,909	65,47582624	64,97500382	64,79247702	64,73712113	64,99510705	0,336209629
AOC4CRS2	C4	AO	2	CR-39	1.484	10,08	0,909	62,62872453	62,66167934	63,07342203	63,09396576	62,98444791	0,253659374
AOC5PS1	C5	AO	3	Polycarbonato	1.484	10,08	0,909	65,2232347	64,57431001	66,38445369	66,42740896	65,65205134	0,90909589
AOC5PS2	C5	AO	3	Polycarbonato	1.484	10,08	0,909	63,66651698	69,05828997	67,62057694	66,88528219	68,05374152	0,989422362
AOC5CR1	C5	AO	3	CR-39	1.484	10,08	0,909	66,18614707	64,87784542	66,08953373	65,67924928	65,70319387	0,591388787
AUC3PS1	C3	AU	1	Polycarbonato	1.479	0,1009	0,906	61,27403936	60,51115176	60,09092995	61,03553635	60,72791435	0,530917122
AUC3PS2	C3	AU	1	Polycarbonato	1.479	0,1009	0,906	60,04819697	59,35162168	58,15058543	59,27581576	59,20855496	0,785127237
AUC3PS3	C3	AU	1	Polycarbonato	1.479	0,1009	0,906	62,37491277	62,59443948	61,07116473	60,52607995	61,84164923	0,824339618
AUC3CRS1	C3	AU	1	CR-39	1.479	0,1009	0,906	63,76527943	62,21702303	63,23871274	62,46072724	62,92793561	0,724004621
AUC3CRS2	C3	AU	1	CR-39	1.479	0,1009	0,906	64,96305312	65,36453104	64,28489222	63,18603686	64,45457634	0,956616693
AUC3CRS3	C3	AU	1	CR-39	1.479	0,1009	0,906	63,11521986	61,61614455	62,64799965	61,12658281	62,12648672	0,914663128
AUC4PS1	C4	AU	2	Polycarbonato	1.479	0,1009	0,906	64,98955903	64,9448168	64,00866782	66,4292017	65,09306134	0,998977734
AUC4PS2	C4	AU	2	Polycarbonato	1.479	0,1009	0,906	61,18483611	62,48934734	59,86979448	60,13399419	60,91949303	0,743057444
AUC4CRS1	C4	AU	2	CR-39	1.479	0,1009	0,906	63,59413448	63,59413448	63,68311286	63,24195636	63,52833448	0,19547207
AUC4CRS2	C4	AU	2	CR-39	1.479	0,1009	0,906	60,69182042	60,67842776	61,07076122	60,41832454	60,71478348	0,268617651
AUC5PS1	C5	AU	3	Polycarbonato	1.479	0,1009	0,906	60,32173287	59,88110822	59,16965889	59,45018902	59,79083332	0,581318142
AUC5PS2	C5	AU	3	Polycarbonato	1.479	0,1009	0,906	62,59083586	62,19719387	62,23513795	61,94001306	62,24079594	0,267664929
AUC5CR1	C5	AU	3	CR-39	1.479	0,1009	0,906	65,31862144	64,54586538	65,38786178	64,75962105	64,99799241	0,408494338
AJC3PS2	C3	AJ	1	Polycarbonato	1.475	6,76	0,836	52,28014479	52,27109304	52,34188961	52,08836728	52,2489725	0,111551597
AJC3PS3	C3	AJ	1	Polycarbonato	1.475	6,76	0,836	61,16984239	61,1584988	61,26877194	61,13052516	61,18190957	0,060219352
AJC3CRS1	C3	AJ	1	CR-39	1.475	6,76	0,836	61,15404378	61,39214033	61,40848543	61,52680891	61,37036961	0,156201685
AJC3CRS2	C3	AJ	1	CR-39	1.475	6,76	0,836	61,46048277	61,16337262	61,06794636	61,0547134	61,10862879	0,168877423
AJC4PS1	C4	AJ	2	Polycarbonato	1.475	6,76	0,836	60,83632823	60,66608308	60,81715752	60,50905502	60,70715596	0,152443194
AJC4PS2	C4	AJ	2	Polycarbonato	1.475	6,76	0,836	57,21622395	56,72046475	55,9628181	56,01315326	56,48761501	0,594142372
AJC4CRS1	C4	AJ	2	CR-39	1.475	6,76	0,836	59,49173168	59,48991522	59,25894342	59,49821206	59,4349506	0,117407074
AJC4CRS2	C4	AJ	2	CR-39	1.475	6,76	0,836	59,36682973	59,65199399	59,31299502	59,57031978	59,45048463	0,128871284
AJC5PU1	C5	AJ	1	Polycarbonato	1.475	6,76	0,836	63,31327105	63,29182912	63,25741273	63,62992983	63,37311068	0,172751811

3.7 Sesgos

En el presente estudio se tuvieron en cuenta sesgos de selección, de información y de confusión, de los cuales se comentó que:

3.7.1 Sesgo de selección

Existe la probabilidad que se presente debido a que los lentes con filtros AR a evaluar serán seleccionados por conveniencia guiándose por criterios de calidad dados por la casa comercial (unilens, laboratto y mealens) y eso no siempre se cumple.

3.7.2 Sesgo de información.

Para la recolección de información y elaboración de los diferentes tipos de montajes experimentales, se requiere un manejo o control, es decir, que se debe realizar siguiendo pasos

establecidos en el procedimiento con el respectivo entrenamiento personal de campo, para así evitar diferencias en el proceso de recolección de datos.

3.7.3 Sesgo de confusión

En base a la revisión de literatura efectuada, se reconoce una variable confusora para la presente propuesta de investigación. Esta variable de Filtros AR, está sujeta a la casa comercial que fabrica el tipo de lente, siendo así una desventaja para la medición, puesto que no se cuenta con el instrumento y las bases experimentales para la ejecución de esta variable.

3.8 Consideraciones Bioéticas

La presente investigación se clasifica según la resolución 8430 del Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia, como una investigación sin riesgo debido a que no se hace valoración de pacientes sino se realiza un montaje experimental con lentes oftálmicos.

4. Resultados

Determinar el ángulo de humectación de superficies Oleofóbicas a través del método óptico de perfilometría resultó ser eficiente teniendo en cuenta los resultados obtenidos, al estar la gota de aceite en contacto con la superficie del lente oftálmico a través del método de Roberts, generó información fundamental junto con las demás variables para ejecutar el estudio estadístico univariado y bivariado.

Para realizar el cruce de variables y análisis de resultados en el segmento bivariado se tuvo en cuenta diferentes medidas asimétricas las cuales nos ayudan a comprender la distribución de los datos. En primera instancia el coeficiente de curtosis, el cual nos da una idea limpia y sencilla

de cómo se distribuyeron las variables analizadas. Además, la prueba exacta de Fischer permite analizar si dos variables dicotómicas están o no asociadas cuando la muestra en estudio es demasiado pequeña como se presentó en algunos cruces de variables; también se tuvo en cuenta el coeficiente Pearson, el cual es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Este cruce se llevó a cabo directamente en la plataforma Excel, quien nos permitió obtener análisis con cálculos confiables, los cuales fueron interpretados con ayuda de la Doctora Diana Palencia, quien se encargó de ejecutar el código para que se diera el cruce de las variables de manera correcta.

Después de interpretar los datos pudimos obtener los siguientes resultados:

En la siguiente tabla (13) se evidencia que el 60% de los lentes eran en material policarbonato.

Tabla 13. *Frecuencias de las variables cualitativas*

Variable	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
C3	30	42,85
C4	20	28,57
C5	20	25,57
CR 39	28	40
POLICARBONATO	42	60
AR 1	25	29,76
AR 2	32	38,09
AR 3	27	32,14
AJ	14	20
AP	14	20
AU	14	20
AO	14	20

Al revisar coeficiente de curtosis y asimetría para las variables de índice de refracción, viscosidad, densidad y el promedio del ángulo de humectación de las cuales se obtuvieron una

mediana de 1.479, 10.08, 0.907, 62.148, respectivamente; se evidencia que estas no tienen distribución normal.

Tabla 14. *Distribución de las variables*

Variable	Mediana	Curtosis	Coefficiente de asimetría	Mínimo	Máximo
Índice de refracción	1,479	-0,9907	0,4155	1,475	1,484
Viscosidad	10,08	-1,0928	-0,7923	0,1009	10,59
Densidad	0,907	-0,0667	-1,3888	0,836	0,909
AC promedio	62,148	1,9268	-0,9594	52,249	68,057

Según lo planteado por Martínez Ortega et al (70), se puede evidenciar que la relación entre el ángulo de contacto y las propiedades de los aceites tienen una asociación directamente proporcional que oscila entre escasa y débil, siendo estadísticamente significativas las correlaciones del ángulo con la densidad y el índice de refracción (Valor $p < 0.01$) (Ver tabla 14).

Tabla 15. *Correlación entre el ángulo de contacto y las propiedades de los aceites*

Variables	Coefficiente Spearman	Interpretación ^a	Valor De P
Viscosidad – Ac Promedio ^b	0.0978	Escasa – Nula	0.4992
Densidad- Ac Promedio	0.4307	Débil	0.0018
Índice De Refracción – Ac Promedio	0.4666	Débil	0.0006

^a Martínez ortega et al (N°30)

^b El promedio de ángulo de contacto se establece teniendo en cuenta el ángulo calculado por cada uno de los cuatro investigadores al realizar el montaje con cada lente oftálmico

Respecto a los datos obtenidos en la variación del promedio del ángulo de contacto según el tipo de filtro, la casa comercial, el material del lente y la sustancia oleosa se puede establecer que el filtro Uniclear de la casa comercial Unilens posee mayor grado de oleofobicidad, es decir tiene una mejor capacidad para repeler aceites, como también se evidencia que este grado es mayor

en el material Cr-39 y la sustancia oleosa que se logra repeler con mayor facilidad es el aceite de palma.

Tabla 16. *Variaciones del promedio del ángulo de contacto*

Variable	Mediana ángulo de contacto	Rango intercuartil
Tipo de Filtro		
Smart	62.17024	61.16537 – 64.12207
Supreme	60.71097	59.24415 - 63.19639
Uniclear	64.17113	62.2408 - 65.65205
Casa Comercial		
Megalens	62.35881	61.18191 - 64.45458
Laboratto	60.71097	59.24415 - 63.19639
Unilens	63.40719	60.70977 - 65.32502
Sustancia Oleosa		
Aceite Johnson	61.18191	59.60179 – 61.37037
Aceite Oliosoya	63.8585	62.17024 – 64.60843
Aceite Palma	63.94155	62.54739 – 65.83037
Aceite Usado	61.88407	60.72791 – 62.92794
Material		
Cr-39	62.54739	61.16537 - 64.12207
Polycarbonato	61.18191	59.80328 - 64.65008

Al analizar la relación entre los tipos de filtro empleados para los montajes experimentales y las características de los lentes oftálmicos, se puede evidenciar que no se presentaron diferencias según el material pero sí según la casa comercial de donde provenía el lente, pues no se obtuvieron la misma cantidad de lentes para cada filtro antirreflejo (Ver tabla 16).

Tabla 17. *Variación del promedio según el tipo de filtro*

Variable	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Valor De P^a
Material % (N)				
Cr-39	48 (12)	50 (8)	33.33 (3)	0.804
Polycarbonato	52 (13)	50 (8)	66.67 (6)	

Casa Comercial % (N)				
Megalens				
Laboratto	100 (22)	0	0	0.000
Unilens	0	100 (16)	0	
	0	0	100 (9)	

^a Prueba exacta de Fisher

El grado de oleofobicidad se comporta de manera diferente según el tipo de filtro y la sustancia oleosa en la superficie del lente, correlacionando los datos se pudo establecer que el filtro Smart presenta mayor ángulo de contacto con el aceite de palma, mientras que el filtro Supreme y el filtro Uniclear repelan de mejor manera el aceite Oliosoya.

Tabla 18. Variación del ángulo de contacto según el tipo de aceite y el filtro antirreflejo

Variables	Mediana	Rango intercuartil
Filtro smart – aceite Johnson	61.18191	59.60179 - 61.37037
Filtro smart- aceite usado	61.88407	60.72791 - 62.92794
Filtro smart - aceite Oliosoya	63.85854	62.17024 - 64.60843
Filtro smart – aceite de palma	63.94155	62.54739 - 65.83037
Filtro supreme – aceite Johnson	59.44272	57.96128 - 60.07882
Filtro supreme - aceite usado	62.22391	60.81714 - 64.3107
Filtro supreme - aceite Oliosoya	63.49466	60.55493 - 64.55999
Filtro supreme – aceite de palma	59.42831	56.29464 - 60.81944
Filtro Uniclear– aceite Johnson	65.68957	65.65205 - 68.05754
Filtro Uniclear- aceite usado	62.24081	59.79083 - 64.99799
Filtro Uniclear- aceite Oliosoya	65.70319	65.65205 - 68.05754
Filtro Uniclear– aceite de palma	63.44127	60.65664 - 64.17113

5. Discusión

Los filtros antirreflejos son un tratamiento aplicado para disminuir la reflexión de la luz que origina las imágenes fantasmas, siendo estas molestas para el usuario de lentes oftálmicos debido que produce sintomatología relacionada a la fatiga visual, al ser este filtro tan necesario se decidió tomarlo como elemento principal en este trabajo de grado donde se expuso a diferentes tipos de aceites, con el objetivo de identificar la variación entre los ángulos de contacto sobre las superficies superhidrofóbicas que se obtuvieron entre ellos.

Partiendo de esto en los resultados obtenidos se pudo identificar que, existe un común denominador en la utilización de lentes en material policarbonato como se evidencia en el trabajo de grado realizado por Padilla Rodríguez y colaboradores (71), quienes en la determinación del ángulo de contacto en superficies de lentes oftálmicos con recubrimientos superhidrofóbicos e hidrofóbicos a través del método óptico de detección de bordes, hicieron uso de 33 lentes de este tipo de material. Otra de las características que comparten las dos investigaciones es, la anormalidad en el coeficiente de curtosis y asimetría, lo que permite identificar la poca relación en variables como el índice de refracción, el índice de la sustancia usada, la viscosidad y la densidad del material en cada lente.

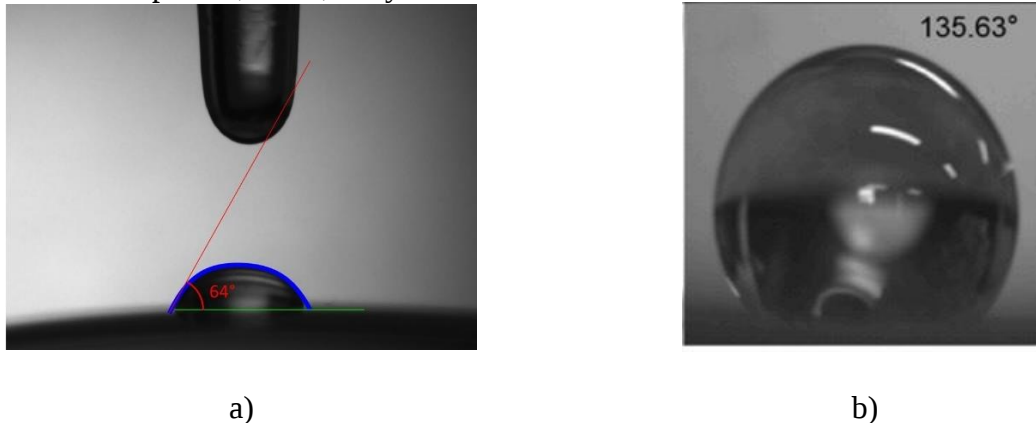
Dentro de los valores obtenidos en este estudio para las propiedades de los aceites, se debe tener en cuenta que no se realizaron pruebas o métodos exactos para definirlos, tal como sucede para la densidad, en el cual se aplicó la relación entre la masa y el volumen de la sustancia, cuyos valores obtenidos para el aceite Oliosoya y Bucaros fue de 0,909 y 0,907 $\frac{g}{cm^3}$ respectivamente, comparados con los encontrados en la literatura para el aceite de palma 0,899 $\frac{g}{cm^3}$ (72) y aceite de soja 0,918 (73). Sin embargo, ninguno de estos se puede comparar con valores existentes en la literatura debido a que son combinaciones de 2 tipos de aceite (aceite palma y soja), para el aceite

Johnson fabricado de parafina líquida (74) el cual tiene una densidad de $0.827\text{--}0.905 \frac{g}{cm^3}$, siendo este resultado el único que concuerda con el dato experimental obtenido $0.835 \frac{g}{cm^3}$.

Por otra parte, lo que se menciona en la investigación de Shi, Jia Wang y Chen (75), quienes afirman que, el índice de refracción es evidentemente proporcional al recubrimiento y/o porosidad del lente, es decir, que tanto las propiedades de este, como del recubrimiento si influyen en el ángulo de contacto, limitación que se obtuvo en el presente trabajo de investigación, puesto que por parte de ninguna casa comercial se tuvo la ficha técnica del lente y recubrimiento de este para que fueran categorizados como superficies superhidrofóbicas.

La variación del promedio del ángulo de contacto, teniendo en cuenta el tipo de filtro, la casa comercial, el material del lente y la sustancia oleosa, no se ha documentado en otras investigaciones, por lo que, de acuerdo con este estudio, se define como mejor filtro a Uniclear y como mejor material a CR-39, dado que gracias al alto grado de oleofobicidad este material puede repeler los aceites de mejor manera. Teniendo en cuenta esto, dentro de los 50 montajes realizados en esta investigación, el valor numérico para el ángulo de contacto generado entre el aceite y la superficie del lente fue de 64° para material CR-39 de la casa comercial Unilens cuyo AR es Uniclear, concluyéndose que no hay relación alguna con lo que plantea los estudios de Salgado M y Gonzalez V (76) y Gonzalez B (77), en el cual las superficies expuestas a aceites deben tener ángulos de contacto superiores a 105° para cumplir con la característica de superhidrofobicidad que es ofrecida por las casas comerciales usadas (figura 45).

Figura 45. a) Ángulo de contacto obtenido de Uniclear b) Ángulo de contacto obtenido en el estudio descritos por Tu, Zhou, Gu y Guo



Tomado de: Preparation and characterization of super hydrophobic/oleophobic material and its application in releasing liquid locking in tight condensate gas reservoirs (78).

Ahora bien, al momento de identificar el tipo de filtro y las características de los lentes oftálmicos, la variación del material no es relevante para este caso, dado que tanto el CR-39 como el policarbonato presentan una similitud en cada uno de los tres filtros dedicados en este estudio. Finalmente, la variación del ángulo de contacto según el tipo de aceite y el filtro antirreflejo, puede ser identificada de acuerdo con el grado de oleofobicidad puesto que, se tiene en cuenta la manera en que se repele el agua y/o el aceite, de acuerdo con la investigación y el análisis de los resultados descritos por Tu, Zhou, Gu y Guo (78), lo que aporta a este estudio en la identificación del comportamiento del filtro con el tipo de aceite como por ejemplo, del aceite de palma con mayor ángulo de contacto sobre el filtro Smart y del aceite olivosoya con mayor ángulo sobre el filtro Supreme.

6. Conclusiones

El presente estudio permitió realizar el análisis respecto las variaciones en las medidas del ángulo de humectación de superficies superhidrofóbicas de lentes oftálmicos expuestos a diferentes tipos de aceites.

De igual manera, estableció las variaciones del ángulo de humectación de acuerdo con los filtros antirreflejo y los diferentes tipos de aceites empleados, lo que, a su vez, permitió el reconocimiento y la identificación temporal del mejor material que ofrece ventajas en la fabricación de lentes oftálmicos con superficies superhidrofóbicas.

Para finalizar, los valores de ángulo de contacto que se obtuvieron en este trabajo, comparados con los encontrados en la literatura no se relacionan con el grado de oleofobicidad para ningún tipo de aceite usados con frecuencia en la cotidianidad de los usuarios, ni filtros AR que ofrecen las casas comerciales empleadas.

6.1 Recomendaciones

Para próximas investigaciones relacionadas al tema se recomienda que las casas comerciales seleccionadas para el estudio les aporte las características de fabricación tanto del material del lente oftálmico como el del filtro AR, en la elaboración del montaje experimental se debe tener en cuenta la iluminación controlada por medio de un dispositivo que reporte la intensidad exacta (Luxómetro) para observar con mayor facilidad el área de contacto entre la gota de aceite y la superficie del lente, ya que al momento de ser procesadas no se tengan inconvenientes con la obtención del cálculo del ángulo.

Adicionalmente se sugiere que los lentes utilizados en el estudio sean del mismo valor dióptrico para que la variación en el grosor del lente no interfiera con los resultados del ángulo de contacto. Por otro lado, se deben tener en cuenta más variables que fortalezcan los aspectos identificados y planteados en este, dado que las tecnologías de fabricación de los antirreflejos están en constante actualización.

Referencias

1. Contact angle (Internet). Kruss-scientific.com. 2017 (cited 16 May 2019). Available from: <https://bit.ly/3goj06p>
2. García-Cebadera Á. Estudio del ángulo de contacto y de la mojabilidad a alta temperatura de fases líquidas en la sinterización de metales. (Ingeniería). Universidad Carlos III de Madrid; 2010.
3. Tianyi Zhao, Lei Jiang; Contact angle measurement of natural materials. El sevier. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. Vol 161, 1 (2018), Pag 324-330. (Consultado 10 de May 2019). Disponible en; <https://bit.ly/2EvoM9l>
4. Ópticas Lux, confianza a la vista (Internet). Ciudad de México: 17 de julio, 2018 (Consultado 10 de May, 2019). Disponible en: <https://lux.mx/lentes-oftalmicas-1/>
5. G. Heiting. Beneficios de las gafas con antirreflejos. All about vision. (Internet). May, 2019 (Consultado 9 de Oct, 2019). Disponible en: <https://www.allaboutvision.com/es/gafas/lentes-antirreflejos.htm>
6. Satisloh. Guía de procesos en endurecido y AR. Soluciones de fabricación oftálmica. Suiza. 2018. (Consultado 06 de May, 2020). Disponible en: <https://bit.ly/31tZ8ea>
7. Serway R, Jewett J. Física para ciencias e ingenierías. México: Thomson; 2005. Pag. 399. (Consultado 9 de Oct 2019).
8. YOUNG, HUGH D. y ROGER A. FREEDMAN. Física universitaria, con física moderna volumen 2. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.
9. Schuster, Jonathan & Rosenberger, Mario & Schvezov, Carlos. (2014). Evaporación de gotas sésiles en superficies sólidas. Congreso internacional de metalurgia y materiales. Santa Fe- Argentina. (Consultado el 13 de Nov, 2019). Disponible en: <https://bit.ly/3htOtFO>

10. José M, Albella. Láminas delgadas y recubrimientos: preparación, propiedades y aplicaciones. Editorial CSIC. (2003) Pag. 134.
11. Crawford R, Ivanova E. Superhydrophobic Surfaces. 1st ed. Elsevier; 2015.
12. Cassie, A.B.D., Baxter, S., 1944. Wettability of porous surfaces. Trans. Faraday Soc. 40, 546.
13. Barthlott, W., Neinhuis, C., 1997. Purity of the sacred lotus or escape from contamination in biological surfaces. *Planta* 202, 1.
14. Javier Montes Ruiz-Cabello. Efecto de la rugosidad y heterogeneidad superficial en fenómenos de mojado. (2009) Pag 3. (consultado 11 Oct 2019). Disponible en: <https://hera.ugr.es/tesisugr/18197759.pdf>
15. Kavitha Sri A, Deeksha P, Deepika G, Nishanthini J, Hikku G. S, Antinate Shilpa S et al. Super-hydrophobicity: Mechanism, fabrication and its application in medical implants to prevent biomaterial associated infections. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2020. (cited 23 August 2020). Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.08.008>
16. Barrantes Rodríguez L. Descripción de las microestructuras superficiales de algunas especies de orquídeas con hidrorrepelencia en busca de patrones de estructuras superhidrofóbicas (Licenciatura). Universidad de Costa Rica; 2016. (cited 23 August 2020). Available from: <https://bit.ly/3lc5aYv>
17. Karthick, B., & Maheshwari, R. Lotus-inspired nanotechnology applications. *Resonance*, 13(12), 1141-1145. 2008. (Citado 23 agosto 2020) Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12045-008-0113-y>
18. Bertl123. CanStockPhoto. Flor de loto. (Internet); 2013 (Consultado 24 Agosto 2020). Disponible en: <https://bit.ly/34r7sgx>

19. Vedoya D. Aprendiendo De La Naturaleza Desde Los Procesos. At Arquitecto (Internet). 2020 (cited 23 August 2020); (Edit. 11): pág 50. Available from: <https://docplayer.es/98268795-At-revista-arquitecto-n-11.html>
20. Juanbarrios. INaturalist. Drymaria cordata. (Internet),2020. (Consultado 30 agosto 2020). Disponible en: <https://www.inaturalist.org/observations/58113127>
21. Juanbarrios. INaturalist. Banderilla Sudamericana (Caladium bicolor). (Internet),2020. (Consultado 30 agosto 2020). Disponible en: <https://www.inaturalist.org/observations/58113890>
22. Suzuki T, Kumeda I, Teshima K, Oishi S. Specific surface free energies of strontium chlorapatite single crystal determined by contact angles of liquid droplets. (2006), Pag 343-347. (Consultado 30 de May 2020). Disponible en: <https://bit.ly/2ERFf7D>
23. Dev G, Bharat B. Contact angles and movement of air bubbles on bioinspired conical surfaces. El sevier. Journal of Colloid and Interface Science. Vol 577, 1 (2020), Pag 530-541. (Consultado 30 de May 2020). Disponible en: <https://bit.ly/3Ila9R8>
24. Solano Pérez J, Lima Santo F, Velazquez E, Rodríguez Lelis J, Tejero Andrade J. Tensiómetro Digital Para Medir Ángulos De Contacto Líquido Sólido. Memorias Del Xv Congreso Internacional Anual De La Somim. 2009 (cited 21 November 2019). Disponible en: http://somim.org.mx/memorias/memorias2009/pdfs/A3/A3_42.pdf
25. Profilometer | Definition of Profilometer by Lexico (Internet). Lexico Dictionaries | English. 2019 (cited 20 November 2019). Disponible en: <https://www.lexico.com/en/definition/profilometer>.
26. Hermosilla T, Bermejo E, Balaguer A, Ruiz L. Detección de bordes con precisión subpíxel en imágenes digitales: Interpolación lineal frente a esquemas de tipo no lineal (Internet).

- Cgat.webs.upv.es. pág 9–20. 2006 (citado 28 agosto 2020). Disponible en: https://cgat.webs.upv.es/BigFiles/Charla_Hermosilla_JMA_06.pdf
27. SURYAKANT, Neetu Kushwaha. Edge detection using fuzzy logic in Matlab. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, vol. 2, no 4. 2012. (citado el 31 agosto, 2020) Disponible en: <https://cutt.ly/gfldyd8>
 28. VASQUEZ FEIJOO J. Localización eficiente en detección de bordes en imágenes adaptando el algoritmo ABC (Internet). Repositorio.udec.cl. 2016 (citado 28 agosto 2020). Disponible en: <https://bit.ly/2YS1qlm>
 29. Detección de bordes en una imagen. Universidad de Jaen. (Consultado el 21 de Agosto, 2020). Disponible en: <https://bit.ly/2Yxx0F0>
 30. Bozorgmehr A. Qaleh M. Moaiyeri H. Navi K. Bagherzadeh N. A novel digital fuzzy system for image edge detection based on wrap-gate carbon nanotube transistors. Computers & Electrical Engineering. 2020. (consultado 24 agosto 2022) 87.ed. Disponible en: <https://bit.ly/31o6NkW>
 31. Stuart A. Wallis, Mark A. Georgeson. Mach edges: Local features predicted by 3rd derivative spatial filtering. Vision Research, Volume 49,14.2009. Pages 1886-1893, ISSN 0042-6989. (Consultado 23 de agosto 2020). Disponible en: <https://bit.ly/32n1lap>
 32. Garcia Arellano A. Adelgazamiento y Detección de Bordes de Objetos en imágenes Digitales Usando Conjuntos Difusos (Internet). Inaoe.repositorioinstitucional.mx. 2007 (cited 23 August 2020). Disponible en: <https://bit.ly/2EpbpYt>
 33. Luyang W., Yuan S., Houde L., Zhenhua G. An accurate and efficient multi-category edge detection method, Cognitive Systems Research, v 58, pag. 160-172, ISSN 1389-0417, 2019.

- (Citado 38 agosto 2020). Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138904171830682X>
34. Zorilla V, Caballero F, Pérez M, Reyes M, Rodríguez E. Detección de bordes de una imagen usando Matlab. Pistas Educativas, No. 122, Vol. 38 - ISSN: 2448-847X. 2016. (Citado 38 agosto 2020). Disponible en: <https://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>
35. Kumara A, Rahejab S. Edge Detection using Guided Image Filtering and Enhanced Ant Colony Optimization. Procedia Computer Science (Internet). 2020 (cited 25 August 2020); 173,:8-17. Available from: <https://bit.ly/2EC7pn1>
36. Valverde J. Detección de bordes mediante el algoritmo de Canny. Universidad Nacional de Trujillo. 2007. (Citado 38 agosto 2020). Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/267240432>
37. Jose. J. Guerrero. V. Optometría clínica y cuidado primario de la visión humana. Ediciones klinikbox. 3ra ed, Pag 12. (consultado 11 Oct 2019). Disponible en: https://issuu.com/centinel/docs/13.__ptica_ofthalmica.docx
38. Pablo. J. Massa. Mejora de procesos de fabricación de lentes oftálmicas con validación de resultados. (2019). Pág. 15. (consultado 11 Oct 2019). Disponible en: http://oa.upm.es/54150/1/TFG_PABLO_JIMENEZ_MASSA.pdf
39. Cavalcante D, Gong C. Neves. Resistencia al impacto de materiales para lentes oftálmicas. Universidad complutense de Madrid. 2020. (consultado 28 agosto 2019). Disponible en: <https://bit.ly/2ES8O9r>
40. Centre Optic Alomar. Materiales de lentes oftálmicos. (consultado 28 agosto 2019). Disponible en: https://www.academia.edu/34193716/Materiales_de_lentes_ofthalmicos

41. Darryl Meister, ABOM. Tratamiento antirreflejante DuraVision™ Platinum de ZEISS: para las lentes con el tratamiento antirreflejante más duro de ZEISS. Carl Zeiss Vision International GmbH. 2011.
42. Sonia E. Rivera, Deisy. S. Rivero, Claudia Perdomo. Tiempo de vida útil de la capa antirreflejo fabricada en la ciudad de Bogotá por tres laboratorios ópticos. Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular N° 9: 27-33. (Dic 2007) pág. 28-30. (Consultado el 10 de Oct, 2019). Disponible en: <https://bit.ly/2qzfJNR>
43. M.H. Freeman, W. H. A. Finchman. Optics. 2003. London. Butterworth-Heinemann.
44. Schwartz, S. 2002. Geometrical and Visual Optics.
45. Espinosa P. “Estudio comparativo de filtros oftálmicos de última generación contra filtros convencionales, que desempeñen una mejor calidad óptica a las personas expuestas a cambio de luces de pantallas producidas por video juegos de alta resolución en pacientes de 15 a 35 años de edad en el distrito metropolitano de Quito” (Internet). Tecnológico superior Cordillera. 2019 (citado 18 octubre 2020). Disponible en: <https://dspace.cordillera.edu.ec/bitstream/123456789/4544/1/27-OPT-18-18-1726658089.pdf>
46. José. J. Segovia, M. Carmen Martin, Miguel A. Villamañan. Cesar R, Chamorara. Medida de la viscosidad de los líquidos, Group. School of Industrial Engineering (Consultado el 10 de Oct, 2019). Disponible en: <https://www.e-medida.es/articulos/numero-13-medida-de-la-viscosidad-de-liquidos/>
47. Bernat E, Jordi-Roger R., Baquero G, Antoni Rius, Rita Puig. Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. Biomass and Bioenergy, Volume 42. 2012. Pag 164-

- 171, ISSN 0961-9534. (Consultado el 25 agosto 2020) Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953412001250>.
48. ISO Viscosity Grades. Machinery Lubrication 5ed. 09-12. 2001. (Consultado el 25 agosto 2020) Disponible en:
https://www.swissoil.com.ec/boletines/SO_Boletin05_viscosidad%20ISO.pdf
49. Lorena Atáres H. *Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro*. Universidad politécnica de Valencia. Disponible en: <https://bit.ly/2KJwqgr>
50. Andriyevsky, B., Andriyevska, L. & Piecuch, T, 2010. Intermolecular interaction in plant oils from refractive and density measurements. *Opt. Spectrosc.* 109, 932–937. Disponible en: <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1134/S0030400X10120180>
51. Mata Mata T, (2015) *Estudio y diseño de un sistema de iluminación de día en interiores mediante fibra óptica* (Tesis de maestría). Universidad autónoma de nuevo león.
52. Gonzalez G. Mauricio. Automatización de un refractómetro espectroscópico por reflexión interna. Universidad nacional autónoma de México. 2014.
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/4876/1/tesis.pdf.pdf>
53. Calderón Suarez R, (2018). *Sensor refractométrico usando el fenómeno de onda evanescente y lspr* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Tulancingo. Disponible en:
http://www.upt.edu.mx/Contenido/Investigacion/Contenido/TESIS/MCO/2018/MCO_T_2018_03_RCS.pdf
54. Código de Ética Profesional de Optometría. [En línea]. Colombia. Congreso de Colombia, 2001 (Consultado el 18 de Nov, 2019). Disponible en:
https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-105024_archivo_pdf.pdf

55. Ley 1915 del 12 de julio de 2018. (En línea). Colombia, Congreso De La República, 2018. (Consultado el 18 de Nov, 2019). Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87419>
56. Fernandez Busdaniego R. Medida del índice de refracción de un líquido (Internet). 2016 (cited 19 April 2020). Disponible en: <https://docplayer.es/14490502-Medida-del-indice-de-refraccion-de-un-liquido.html>
57. J.S. Ramírez-Navas, ReCiTeIA 6 (2006)
58. All About Vision. 2020 (cited 19 April 2020). Available from: <https://www.allaboutvision.com/es/gafas/lentes-antirreflejos.htm>
59. Velasquez Marquez A. Determinación de la densidad de un líquido (Internet). (citado 19 Abril 2020). Disponible en: http://www.dcb.unam.mx/cerafin/bancorec/ejenlinea/2L_Densidad.pdf
60. Cabezas C, Hernández B, Vargas M. Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial (Internet). Bogota, D.C.; 2016 (cited 19 April 2020). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v64n4/0120-0011-rfmun-64-04-00761.pdf>
61. Organización Internacional De Metrología Legal. GUÍA OIML G – 14: Medición de densidad (Internet). 2011 (cited 27 April 2020). Available from: <https://bit.ly/31rZjXp>
62. Setién J, Varona J. Introducción a los Materiales (Internet). Universidad de Cantabria; 2020 (cited 25 August 2020). Available from: <https://bit.ly/2EyqXZA>
63. Materiales de lentes en el mercado oftálmico de hoy - Grupo franja (Internet). Grupo franja. 2019 (cited 25 August 2020). Available from: <https://bit.ly/32pS3u5>
64. Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución número 000666 del 2020; 2020 (cited 25 August 2020).

65. Bustamante Mejia, J., & López Varona, R. (2014). Calibración de Cámara Termográfica Fluke TI-32. *Scientia Et Technica*, 19(1), 59-66. (citado September 2021). Disponible en: <https://bit.ly/32pS3u5>
66. Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 22, 1330-1334 (2000).
67. Ricolfe Viala C, Sanchez Salmerón AJ. Procedimiento completo para el calibrado de camaras usando una plantilla plana. Universidad Politecnica de Valencia: 2008. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791208701262>
68. Delgado Linares, J., Gutiérrez, C., Salazar, F., Guevara, M., Mercado, R., & Pereira, J. (2013). Aplicación de conceptos clásicos de la Física en la práctica ingenieril. La ley de Stokes como herramienta conceptual en el análisis de procesos de deshidratación del petróleo. En *El Sevier*. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-educacion-quimica-78-pdf-S0187893X13731963>
69. Jimenez Carballo, C. *Mecánica de fluidos: viscosidad y turbulencia*. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10194/Din%C3%A1mica%20de%20fluidos%20viscosos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
70. Martínez Ortega, R., Tuya Pendás, L., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A. y canovas, A., 2009. El coeficiente de relación de los rangos de spearman caraterización (en línea) Redalyc.org. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1804/180414044017.pdf> (Consultado el 5 de agosto de 2020).
71. Padilla Rodríguez AY, Niño Camelo NT, Sarmiento Romero DC, Parada Toro B. Determinación del ángulo de contacto en superficies de lentes oftálmicos con recubrimientos superhidrofóbicos e hidrofóbicos a través del método óptico de detección de

- bordes (Trabajo de grado). Bucaramanga: Universidad Santo Tomás; 2022. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/43480>
72. Rincon S., Martinez D. (2009). Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria.
 73. Lopez, A., & Gandon, J. (2016). Estudio de la transformación del Aceite de Soya usado en ésteres etílicos de ácidos grasos. Santiago de Cuba. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445546669009.pdf>
 74. Fichas de información técnica. (2010). Handbook Of Pharmaceutical Excipients. Disponible en: <https://www.cofgranada.com/ufc/documentos/modulos/VASELINA%20LIQUIDA.pdf>
 75. Shi T, Jia Q, Wang H, Chen R. Preparation of superhydrophobic and oleophobic antireflective coating with high transmittance. Surface and Coatings Technology. 2021; 428(127863). Disponible en: <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0257897221010379>
 76. Salgado M, Blas. Gonzalez V, Libardo. Efecto de la mojabilidad en las propiedades petrofísicas y operaciones de recobro secundario. (2005). Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.
 77. Gonzalez B, César. Mojabilidad: medición del angulo de contacto por el método de la gota cautiva. (2014). Universidad Nacional Autónoma de México.
 78. Tu H, Zhou M, Gu Y, Guo X. Preparation and characterization of super hydrophobic/oleophobic material and its application in releasing liquid locking in tight condensate gas reservoirs. Preparation and characterization of super hydrophobic/oleophobic material and its application in releasing liquid locking in tight

condensate gas reservoirs. 2022; 212(110281). Disponible en: [https://www.sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0920410522001711](https://www.sciencedirect.com/crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0920410522001711)

Apéndices

Apéndice A. Plantilla de recolección de datos

Tabla 19. Medición de las características de los aceites

Tipo de aceite	Características					
	Densidad		Viscosidad		Índice de refracción	
	Toma 1	Toma 2	Toma 1	Toma 2	Toma 1	Toma 2
Vegetal						
Fósil						
Corporal						

Tabla 20. Medición del ángulo de humectación en los diferentes tipos de Filtro AR en CR-39

Filtro AR en cr-39	Casa comercial	Angulo de humectación					
		Aceite corporal		Aceite vegetal		Aceite fósil	
		Toma 1	Toma 2	Toma 1	Toma 2	Toma 1	Toma 2
Filtro a							
Filtro b							
Filtro c							
Filtro d							
Filtro e							
Filtro f							
Filtro g							

Tabla 21. Medición del ángulo de humectación en los diferentes tipos de Filtro AR en Policarbonato

Filtro AR policarbonato	en Casa comercial	Angulo de humectación					
		Aceite corporal		Aceite vegetal		Aceite fósil	
		Toma 1	Toma 2	Toma 1	Toma 2	Toma 1	Toma 2
Filtro a							
Filtro b							
Filtro c							
Filtro d							
Filtro e							
Filtro f							
Filtro g							

Apéndice B. Prueba piloto

En el presente proyecto se consideraron como objetivos de la prueba piloto:

- Evaluar los aspectos logísticos relacionados con el acceso a los laboratorios de Ciencias Básicas y Biología de la Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga

- Evaluar los instrumentos de recolección (densímetro, refractómetro, etc.), revisión de literatura, entre otros.
- Evaluar el procedimiento planteado anteriormente.
- Evaluar la idoneidad y pertinencia de las variables planteadas anteriormente.

Para el acceso al laboratorio de Ciencias Básicas y Biología de la Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga, el proceso inició con la presentación de una carta a la coordinación de clínicas solicitando el ingreso y así mismo se digitaron los horarios para la asistencia del personal, teniendo en cuenta las medidas establecidas por la universidad en cuanto al aforo y las normas de bioseguridad. Una vez iniciada la recolección de datos se presentaron inconvenientes con las fechas estipuladas debido a la problemática social que atravesó por parte de la pandemia durante el año 2020, generando así retrasos en la toma.

En la elección de las variables cualitativas como lo es la sustancia oleosa, principalmente la lista de aceites posibles a trabajar era extensa así que se eligieron los más usados en la cotidianidad y además se tuvo en cuenta que fuese fácil de conseguir para no añadir gastos extras a la investigación.

De esta manera se eligió trabajar con dos aceites de palma de diferente empresa, aceite Johnson y aceite usado de cocinar, estos se obtuvieron de manera sencilla ya que en su mayoría se encontraron en casa de los investigadores o se compraron en pequeñas cantidades. Por el contrario, con las casas comerciales las cuales eran un pilar importante en la investigación ya que mediante

estas se obtuvieron los lentes con los filtros para poder trabajar. Inicialmente se plantearon 3 casas comerciales las cuales eran Megalens, Servioptica y Zeiss, a cada una de estas se les manifestó el interés de incluirlas en la investigación, se les entregaron cartas solicitando su colaboración y la adquisición de los lentes con filtro superhidrofóbico en materiales CR-39 y Policarbonato, sin embargo, solo se recibió respuesta favorable de la casa comercial Megalens con la disposición de ser incluidos y donar los lentes.

Contando con solo una casa comercial de las indicadas inicialmente, se decidió buscar la colaboración de otras recibiendo solo respuesta de Laboratto y Unilentes las cuales entregaron un lente con filtro AR superhidrofóbico en material CR-39 y otro con este mismo filtro en material Policarbonato. De esta manera se trabajó con estas 3 casas comerciales en sus lentes y con los filtros AR que estas ofrecen al mercado Smart, Supreme y uniclear.

En el tamaño de muestra, se definió efectuar dos tomas por cada tipo de aceite (4) puesto que se tuvo en cuenta cada tipo de lente oftálmico con filtro AR en material CR-39 y Policarbonato (7), que fueron estudiados en un solo montaje.

Los procedimientos enunciados para realizar las medidas del ángulo de contacto generado entre la gota y la superficie de cada lente, se contempló diseñar un montaje experimental compuesto por un sistema óptico, una cámara CMOS marca Edmund Optics con objetivo de microscopio de 25mm de focal/F1,4, una fuente de iluminación tipo dimer, un difusor, una bureta de 25.0ml y una plataforma que permitiera obtener imágenes y resultados.

El montaje experimental inicial mostró errores después de varias tomas, haciendo que se presentaran variaciones en las imágenes captadas de cada gota, lo que llevó a modificar el difusor inicial añadiendo un contenedor de cartulina negra y un icopor rodeado de cartulina dejando un espacio en el centro, los cuales en conjunto permitieran la regulación de la intensidad de luz y que

pudieran se captaran imágenes de mejor calidad en el que se visualizara nitido tanto la gota como el lente, para que la toma del angulo de contacto fuera lo mas exacta posible.

Figura 46. *Montaje experimental inicial*

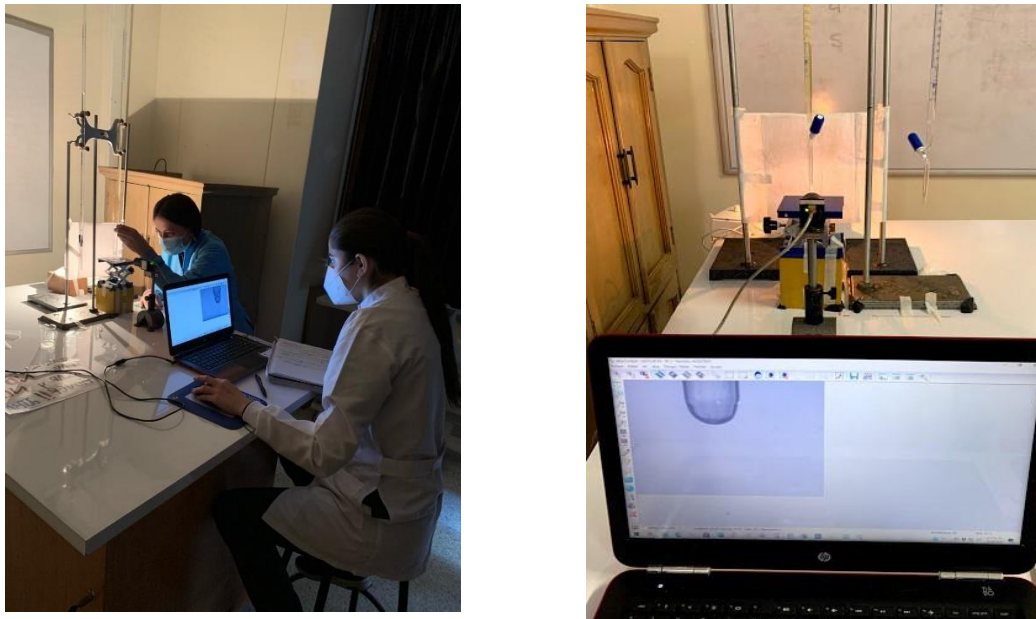


Figura 47. *Montaje experimental final*

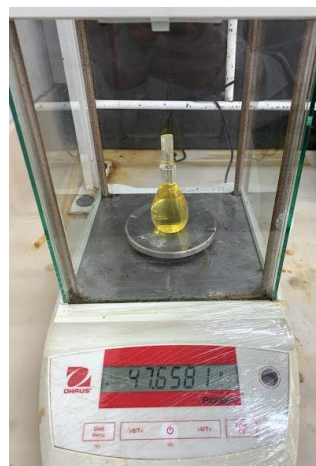


Las características físicas de los aceites como densidad, índice de refracción y viscosidad se midieron cada uno en 1 toma con equipos digitales a través del el densímetro y refractómetro (Figura 48) respectivamente, lo cual facilitó la obtención de resultados exactos.

Figura 48. (a). *Refractómetro usado en la toma del índice de refracción, (b). densímetro usado para la toma de densidad*



a.

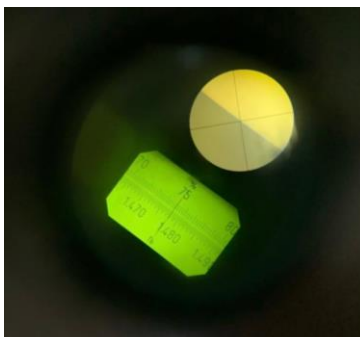


b.

El préstamo de estos equipos se hizo por medio del laboratorio de física y química de la Universidad Santo Tomás en los horarios pertinentes para cada laboratorio, de igual manera estos procesos no llevaban mucho tiempo, así que no se presentaron percances.

Para la toma en el densímetro solo fue necesario colocar 25 milímetros aproximadamente de cada aceite en el picnómetro y dejar que este arrojará el valor de densidad en la pantalla digital. De igual manera, para tomar el índice de refracción se colocó una gota de aceite dentro del refractómetro, el cual se debió usar una iluminación artificial extra para poder observar por el ocular el valor final (figura 49).

Figura 49. Valor del índice de refracción de uno de los aceites usados en el refractómetro análogo



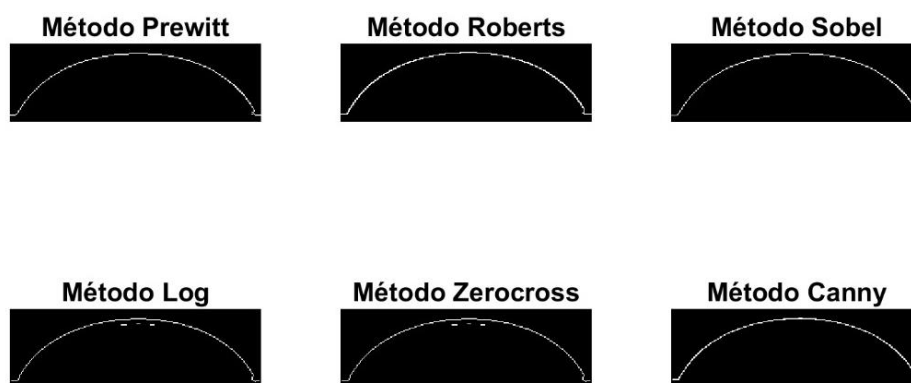
Ciertamente la recolección de estos dos datos fue muy sencilla por la facilidad de los equipos, sin embargo, para la toma de la viscosidad no se contaba con el equipo (viscosímetro), por lo tanto, fue necesario buscar un método alternativo como la ley de Stockes, la cual contempla colocar 100 mililitros de cada aceite en la bureta de cromatografía, posteriormente se ubicaron marcas en la bureta cada dos centímetros y se dejaron caer 10 balines de una masa en promedio de 0,44g de cada uno de estos, lo cual estaba siendo documentado con ayuda del video de cada balín, para así poder medir el tiempo que tomaban en pasar por los dos centímetros estipulados anteriormente y a la velocidad promedio a la que estos iban, de esta manera y con los datos obtenidos se logró calcular la viscosidad de cada aceite aplicando la siguiente fórmula no. 4

$$\eta = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_C - \rho_L)}{18 v}$$

Para la recolección de datos se presentaron inconvenientes inicialmente con los aceites Oliosoya y Bucaros ya que estos se debieron cambiar para cada toma, debido a que al dejarlos en la bureta por mucho tiempo su tonalidad cambiaba y por lo tanto sus propiedades físicas no eran las mismas, así que al comienzo de cada sesión se debió embazar de nuevo el aceite, generando más demora en la recolección. Una vez tomadas las 4 tomas de cada aceite, una por cada

investigador, estas se procesaron mediante el Software Matlab R2021a y un código realizado por el doctor Juan José Barrios, este nos permitió tomar la medida del ángulo de humectación en los lentes mediante el procedimiento de perfilometría, el cual procesaba las imágenes con los métodos de Roberts, Prewitt, Sobel, Logaritmo, Zerocross y Canny (figura 50); finalmente por elección de los investigadores se tomó en cuenta el método de Roberts, todo este procesamiento también fue un poco lento debido a que se contaba con un computador con el código de Matlab, cada investigadora tomaba un tiempo extra para replicar el uso adecuado de este y así poder completar con las tomas que se realizaron para cada ángulo de contacto.

Figura 50. *Demostración de los métodos de perfilometría en Matlab*



Cada toma o resultado que se ha obtenido mediante el montaje y el procesamiento de las imágenes ha sido registrado exitosamente en la tabla de la base de datos de excel del proyecto organizado por tipo de aceite y colores para diferenciarlos (figura 51).

Figura 51. Base de datos utilizada para la recolección de resultados

CODIGO	CASA COMERCIAL	SUSTANCIA OLEOSA	FILTRO AR	MATERIAL LENTE	INDICE DE REFRACCIÓN	VISCOSIDAD	DENSIDAD g/ml	AC TOMA1	AC TOMA 2	AC TOMA 3	AC TOMA 4
APC3PS1	C3	AP	1	Policarbonato	1,478	10,59	0,907	65,97051282	66,31608422	65,73673311	65,94213664
APC3PS2	C3	AP	1	Policarbonato	1,478	10,59	0,907	65,43710338	67,73826474	64,70899392	65,43710338
APC3PS3	C3	AP	1	Policarbonato	1,478	10,59	0,907	65,33174816	65,31306934	63,79902256	64,49817722
APC3CRS1	C3	AP	1	CR-39	1,478	10,59	0,907	63,68220214	62,20437354	62,67663161	61,62634125
APC3CRS2	C3	AP	1	CR-39	1,478	10,59	0,907	62,70557955	64,26070393	62,51704396	63,10705323
APC3CRS3	C3	AP	1	CR-39	1,478	10,59	0,907	60,77886727	62,5785145	60,52514315	60,77896442
APC4PS1	C4	AP	2	Policarbonato	1,478	10,59	0,907	58,883779	60,11629231	60,33012205	59,8829375
APC4PS2	C4	AP	2	Policarbonato	1,478	10,59	0,907	53,65299817	53,61873352	53,43603355	53,43603355
APC4CRS1	C4	AP	2	CR-39	1,478	10,59	0,907	62,1792712	62,94728184	61,09588518	61,11996482
APC4CRS2	C4	AP	2	CR-39	1,478	10,59	0,907	58,15726492	58,94449433	58,94449433	60,16710738
APC5PS1	C5	AP	3	Policarbonato	1,478	10,59	0,907	60,79687918	60,80185596	60,76258776	60,26524534
APC5PS2	C5	AP	3	Policarbonato	1,478	10,59	0,907	63,38262248	63,48439182	63,32682705	63,57125737
APC5CRS1	C5	AP	3	CR-39	1,478	10,59	0,907	63,08964985	64,25861815	64,65190165	64,68435733
AOC3PS1	C3	AO	1	Policarbonato	1,484	10,08	0,909	64,5865989	64,77459943	64,49901006	64,57352413
AOC3PS2	C3	AO	1	Policarbonato	1,484	10,08	0,909	61,3255652	60,3178328	60,85929092	60,6708792
AOC3PS3	C3	AO	1	Policarbonato	1,484	10,08	0,909	64,56967291	64,27128303	65,03983592	64,71953628
AOC3CRS1	C3	AO	1	CR-39	1,484	10,08	0,909	60,81283876	62,83909723	62,27339731	62,75560974
AOC3CRS2	C3	AO	1	CR-39	1,484	10,08	0,909	63,32552515	63,62688547	63,81901164	63,60828429
AOC3CRS3	C3	AO	1	CR-39	1,484	10,08	0,909	63,77167204	64,52175752	64,16981041	64,02502264
AOC4PS1	C4	AO	2	Policarbonato	1,484	10,08	0,909	64,53306646	63,88341902	64,07968468	64,00335683
AOC4PS2	C4	AO	2	Policarbonato	1,484	10,08	0,909	58,65431278	58,48587569	58,09787235	57,74359909
AOC4CRS1	C4	AO	2	CR-39	1,484	10,08	0,909	65,47582624	64,97500382	64,79247702	64,73712113
AOC4CRS2	C4	AO	2	CR-39	1,484	10,08	0,909	62,62872453	62,66167934	63,07342203	63,09396576
AOC5PS1	C5	AO	3	Policarbonato	1,484	10,08	0,909	65,2220347	64,57431001	66,38445369	66,42740696
AOC5PS2	C5	AO	3	Policarbonato	1,484	10,08	0,909	68,66601698	69,05828997	67,62057694	66,88528219
AOC5CRS1	C5	AO	3	CR-39	1,484	10,08	0,909	66,18614707	64,87784542	66,06953373	65,67924928
AUC3PS1	C3	AU	1	Policarbonato	1,479	0,1009	0,906	61,27403936	60,51115176	60,09092995	61,03553635
AUC3PS2	C3	AU	1	Policarbonato	1,479	0,1009	0,906	60,04819697	59,35162168	58,15058543	59,27581576
AUC3PS3	C3	AU	1	Policarbonato	1,479	0,1009	0,906	62,37491277	62,59443946	61,07116473	60,52607995
AUC3CRS1	C3	AU	1	CR-39	1,479	0,1009	0,906	63,79527943	62,21702303	63,23871274	62,46072724
AUC3CRS2	C3	AU	1	CR-39	1,479	0,1009	0,906	64,98305312	65,36453104	64,28469222	63,18603698
AUC3CRS3	C3	AU	1	CR-39	1,479	0,1009	0,906	63,11521986	61,61614455	62,64799965	61,12658281
AUC4PS1	C4	AU	2	Policarbonato	1,479	0,1009	0,906	64,98955903	64,9448168	64,00866782	66,4292017
AUC4PS2	C4	AU	2	Policarbonato	1,479	0,1009	0,906	61,18483611	62,48934734	59,86979448	60,13399419
AUC4CRS1	C4	AU	2	CR-39	1,479	0,1009	0,906	63,59413448	63,59413448	63,68311266	63,24195636
AUC4CRS2	C4	AU	2	CR-39	1,479	0,1009	0,906	60,69162042	60,67842776	61,07076122	60,41832454
AUC5PS1	C5	AU	3	Policarbonato	1,479	0,1009	0,906	60,32173287	59,88110822	59,16965889	59,45018902
AUC5PS2	C5	AU	3	Policarbonato	1,479	0,1009	0,906	62,59083886	62,19719387	62,23513795	61,94001306
AUC5CRS1	C5	AU	3	CR-39	1,479	0,1009	0,906	65,31862144	64,54586538	65,36766178	64,75982105
AJC3PS2	C3	AJ	1	Policarbonato	1,475	6,76	0,836	52,29814479	52,27108934	52,34188861	52,08836726
AJC3PS3	C3	AJ	1	Policarbonato	1,475	6,76	0,836	61,16984239	61,1584988	61,26871194	61,13052516
AJC3CRS1	C3	AJ	1	CR-39	1,475	6,76	0,836	61,15404378	61,39214033	61,40848543	61,52680891
AJC3CRS2	C3	AJ	1	CR-39	1,475	6,76	0,836	61,46048277	61,16337262	61,06794636	61,0547134
AJC4PS1	C4	AJ	2	Policarbonato	1,475	6,76	0,836	60,83632823	60,66608308	60,81715752	60,50905502
AJC4PS2	C4	AJ	2	Policarbonato	1,475	6,76	0,836	57,21622395	56,72846475	55,9926181	56,01315326
AJC4CRS1	C4	AJ	2	CR-39	1,475	6,76	0,836	59,49173168	59,48991522	59,25894342	59,49921206
AJC4CRS2	C4	AJ	2	CR-39	1,475	6,76	0,836	59,36662973	59,55199399	59,31299502	59,57031978
AJC5PU1	C5	AJ	1	Policarbonato	1,475	6,76	0,836	63,31327105	63,29182912	63,25741273	63,62992983
AJC5PU2	C5	AJ	1	Policarbonato	1,475	6,76	0,836	60,49461016	60,82092709	60,82910092	60,90639471