



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
(INGENIERÍA MECÁNICA) – (MECATRÓNICA)

Investigación de los efectos de la radiación UVC durante
el proceso de esterilización de mascarillas

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
LUIS ADRIAN GARCIA NEGRETE

TUTOR
DRA. MARÍA DEL PILAR CORONA LIRA
DR. VÍCTOR MANUEL LOMAS BARRIE
FACULTAD DE INGENIERÍA

CDMX. ENERO 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.

Secretario: Dr. Ávila Cedillo Javier Noé

1 er. Vocal: Dra. Corona Lira María Del Pilar

2 do. Vocal: Dr. Lomas Barrie Víctor Manuel

3 er. Vocal: M. en I. Velázquez Silva Anahí

Lugar donde se realizó la tesis: CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO CDMX.

TUTOR DE TESIS:

DRA. MARÍA DEL PILAR CORONA LIRA

FIRMA

TUTOR DE TESIS:

DR. VÍCTOR MANUEL LOMAS BARRIE

FIRMA

DEDICATORIAS

A dios por darme la oportunidad de estar aquí y ahora.

A dios por darme el entendimiento para poder salir adelante en mis materias de maestría y terminar con éxito este proyecto.

A mi madre la Sra. Julieta Negrete por su fuerza de voluntad y fe; por la magia que tiene en hacer que sucedan las cosas, que sin duda no estaría aquí, si Dios no te hubiese puesto en mi camino. Te amo por toda la eternidad.

A mi padre el Sr. Luis Garcia, por todo tu apoyo desde que era un niño.

A la QA. Frida Fuentes, por tu apoyo incondicional, por enseñarme que aún tengo muchas cosas que aprender. Agradezco a Dios por permitirme compartir este momento contigo... y como dijo alguna vez Carl Sagan "En la vastedad del espacio y en la inmensidad del tiempo mi alegría es compartir un planeta y una época contigo".

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), institución que me brindó apoyo económico mensual, durante mis estudios de posgrado. Que sin su apoyo no hubiese podido realizar el dispositivo físico para esta tesis y gracias a ello se pudo concluir esta investigación.

A mis tutores, la Dra. María Del Pilar Corona Lira y el Dr. Víctor Manuel Lomas Barrie, por el tiempo y apoyo, durante el desarrollo de esta investigación. Que, aunque por motivos de pandemia estuvimos a distancia; siempre estuvieron pendientes de principio a fin de esta investigación.

RESUMEN

Durante la pandemia de COVID-19, se promovió el uso de mascarillas para reducir los contagios; sin embargo, la contaminación producida por las mascarillas desechables es inminente. Un estudio reciente en la revista Environment, Science & Technology estima que cada mes se utilizan 129 mil millones de mascarillas y 65 mil millones de guantes. El daño ambiental y el costo de usar una o dos mascarillas diariamente, ha hecho que la esterilización sea una opción viable. Por lo que rápidamente aumentaron el número y variedad de lámparas UVC que se comercializan para uso doméstico y que prometen inactivar el virus SARS-CoV-2. En este trabajo se presentan resultados obtenidos durante el proceso de esterilización UVC en mascarillas a 254nm; mediante un dispositivo de irradiación UVC de control inalámbrico diseñado para esta investigación. Se evaluaron los efectos con "Análisis por selección de área" y "Análisis de diámetro de las fibras". Se determinó el impacto de la radiación UVC a 254nm sobre la capa externa de las mascarillas, tipo quirúrgica y KN95. Finalmente se analizaron los resultados obtenidos en cada experimento, para obtener conclusiones respecto al tema central de la Investigación.

ABSTRACT

During the COVID-19 pandemic, the use of protective face masks was promoted to reduce disease spreading; however, contamination from disposable masks is imminent. A recent study in Environment, Science & Technology journal estimates that 129 billion masks and 65 billion gloves are used each month. Environmental damage and the cost of wearing one or two masks daily let sterilization became a viable option. Therefore, the number and variety of UVC lamps that are available for domestic use that promise to inactivate the SARS-CoV-2 virus rapidly increased. This work presents the results obtained during the UVC sterilization at 254nm in masks; using a wireless control for the UVC irradiation device designed for this research. Effects were evaluated with "Area Selection Analysis" and "Fiber Diameter Analysis". The impact of UVC radiation at 254nm on the outer layer of surgical and KN95 masks was determined. Finally, the results obtained in each experiment were analysed to obtain conclusions regarding the central theme of the investigation.

Índice

1. Introducción	9
1.1 Objetivos	12
Objetivo general	12
Objetivos particulares.....	12
2. Aspectos fundamentales de la radiación UVC	13
2.1 La radiación UVC como germicida	14
2.2 Efectos sobre coronavirus.....	16
3. Clasificación y características de las mascarillas	17
3.2 Capacidad de filtrado de las mascarillas usadas durante la pandemia ocasionada por SARS-COV-2.....	19
3.3 Impacto en el material de la irradiación UVC	20
3.4 Vida útil de las mascarillas	27
4. Diseño conceptual.....	28
4.1 Propuesta de diseño y análisis de mercado.....	28
4.2 Diseño del contenedor en CAD.....	31
5. Instrumentación.....	35
5.1 Descripción de los componentes	35
5.2 Funcionamiento del dispositivo	38
5.3 Arquitectura.....	40
6. Metodología y resultados	42
6.1 Diseño de aplicación móvil.....	42
6.2 Diseño de comunicación entre el dispositivo y la aplicación	45
6.3 Experimento 1. Análisis por selección de área	48
6.3.1 Selección de muestras.....	48
6.3.2 Observación en microscopio antes de irradiación.....	49
6.3.3 Irradiación y Observar en microscopio después de irradiación.....	51
6.4.4 Análisis de resultados	53
6.4 Experimento 2. Análisis de diámetro de las fibras.....	60
6.4.1 Selección de muestras.....	60
6.4.2 Observación en microscopio antes de irradiación.....	61
6.4.3 Irradiación y Observacion en microscopio después de irradiación.	65

6.4.4 Análisis de resultados	74
7. Conclusiones	111
Referencias	111

Índice de Figuras

Figura 1. CAD de las caras de la caja contenedora.	32
Figura 2. Sujetador para mascarillas 36 cm.	32
Figura 3. Modelo 3D de la caja esterilizadora en cm.....	33
Figura 4. Caja esterilizadora.....	33
Figura 5. Interior de caja esterilizadora y soportes.....	34
Figura 6. Diseño de Aplicación Móvil, “Sección de Ayuda”.	43
Figura 7. Diseño de Aplicación Móvil, “Sección principal”.	44
Figura 8. Sección de bloques de la aplicación.	45
Figura 9. Esp32 código para el carácter “a” o “b” de tiempos.	45
Figura 10. Esp32, Función para publicación de tiempos de irradiación.	46
Figura 11. Sentencia para recibir el tiempo de irradiación e inserción de datos....	46
Figura 12. Tabla “prueba” de registro de datos.	47
Figura 13. Tabla “prueba” de registro de datos, en terminal.....	48
Figura 14. Mascarillas Kn95 y Quirúrgicas.....	49
Figura 15. Mascarilla quirúrgica antes de irradiar y selección de área.....	50
Figura 16. Mascarilla Kn95 antes de irradiar y selección de área.	51
Figura 17. Irradiando Mascarillas Quirúrgicas (izquierda) y Mascarillas Kn95 (derecha).....	51
Figura 18. Aplicación móvil operando y cronometro tomando tiempo para 5min. .	52
Figura 19. Dispositivo de irradiación en funcionamiento.	53
Figura 20. Muestra 1, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	54
Figura 21. Muestra 2, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	54
Figura 22. Muestra 3, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	54
Figura 23. Muestra 4, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	54

Figura 24. Muestra 5, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	55
Figura 25. Muestra 1, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	55
Figura 26. Muestra 2, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	55
Figura 27. Muestra 3, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	56
Figura 28. Muestra 4, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	56
Figura 29. Muestra 5, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.	56
Figura 30. Cálculo de los histogramas para la imagen base y las 2 imágenes de prueba.	57
Figura 31. Correlaciones de la prueba 4 mascarilla quirúrgica.	58
Figura 32. Correlaciones de la prueba 1 mascarilla Kn95.	58
Figura 33. Comparativa de manipulación de mascarilla quirúrgica y Kn95 para obtener fotografías.	60
Figura 34. Mascarillas Kn95 y Quirúrgicas, experimento 2.	61
Figura 35. Fibras de prueba 1 mascarilla quirúrgica a 2000x antes de irradiar.	62
Figura 36. Fibras de prueba 2 mascarilla quirúrgica a 2000x antes de irradiar,	62
Figura 37. Fibras de prueba 3 mascarilla quirúrgica a 2000x antes de irradiar.	63
Figura 38. Fibras de prueba 1 mascarilla Kn95 a 2000x antes de irradiar.	63
Figura 39. Fibras de prueba 2 mascarilla Kn95 a 2000x antes de irradiar.	64
Figura 40. Fibras de prueba 3 mascarilla Kn95 a 2000x antes de irradiar.	64
Figura 41. Colocación de mascarillas quirúrgicas y Kn95 antes de irradiar.	65
Figura 42. Irradiando mascarillas quirúrgicas y Kn95.	66
Figura 43. Aplicación móvil a punto de terminar ciclo de 3min.	67
Figura 44. Fibras de prueba 1 mascarilla quirúrgica a 3min de irradiación.	68
Figura 45. Fibras de prueba 1 mascarilla quirúrgica a 5min de irradiación.	68
Figura 46. Fibras de prueba 2 mascarilla quirúrgica a 3min de irradiación.	69
Figura 47. Fibras de prueba 2 mascarilla quirúrgica a 5min de irradiación.	69
Figura 48. Fibras de prueba 3 mascarilla quirúrgica a 3min de irradiación.	70
Figura 49. Fibras de prueba 3 mascarilla quirúrgica a 5min de irradiación.	70
Figura 50. Fibras de prueba 1 mascarilla Kn95 a 3min de irradiación.	71

Figura 51. Fibras de prueba 1 mascarilla Kn95 a 5min de irradiación.....	71
Figura 52. Fibras de prueba 2 mascarilla Kn95 a 3min de irradiación.....	72
Figura 53. Fibras de prueba 2 mascarilla Kn95 a 5min de irradiación.....	72
Figura 54. Fibras de prueba 3 mascarilla Kn95 a 3min de irradiación.....	73
Figura 55. Fibras de prueba 3 mascarilla Kn95 a 5min de irradiación.....	73
Figura 56. Calibración para mascarillas quirúrgicas.....	74
Figura 57. Primer medición de diámetro prueba 1 mascarilla quirúrgica, fibra1....	75
Figura 58. Marcando primera medición prueba 1 mascarilla quirúrgica, fibra1.	76
Figura 59. Segunda medición de diámetro prueba 1 mascarilla quirúrgica, fibra1.	77
Figura 60. Prueba 1 mascarilla quirúrgica; Fibra 1 color cyan y 5 mediciones realizadas.....	78
Figura 61. Prueba 1, Fibra 1 en Cyan, fibra 2 en verde y fibra 3 en rosa, 15 mediciones antes de irradiar.	78
Figura 62. Mediciones de Fibra 1 en color amarillo, prueba 1 a 3 min.....	79
Figura 63. Fibras 2 y 3 de izquierda a derecha respectivamente ambas en color rojo, prueba 1 a 3 min.	80
Figura 64. Mediciones de fibra 1 en blanco y fibra 2 en magenta a 5min de irradiación Prueba1.....	81
Figura 65. Mediciones fibra 3 en color verde a 5min de irradiación, Prueba 1 mascarilla quirúrgica	81
Figura 66. Tomando 5 mediciones antes de irradiar prueba 2 fibra 1 en color azul.	82
Figura 67. Tomando 5 mediciones antes de irradiar prueba 2 fibra 2	83
Figura 68. Mediciones de fibra 2(Cyan) y fibra 3(verde), prueba 2 antes de irradiar.	83
Figura 69. Mediciones de fibra 1, prueba 2 a 3 minutos de irradiación.	84
Figura 70. Mediciones de fibra 1(Magenta), fibra 2(Cyan) y fibra 3(Rosa) prueba 2 a 3 minutos.....	84
Figura 71. Mediciones de fibra 1(roja) y fibra 2(Naranja), prueba 2 a 5 minutos...	85
Figura 72. Mediciones de fibra 3, prueba 2 a 5 minutos.....	85
Figura 73. Mediciones de Fibras 1(azul), fibra 2(cyan) y fibra 3(verde), prueba 3 antes de irradiar.	86
Figura 74. Mediciones fibra 1, prueba 3 a 3 minutos.....	87
Figura 75. Mediciones fibra 2(Cyan) y fibra 3(rosa), prueba 3 a 3 minutos.	88
Figura 76. Mediciones fibra 1(Naranja) y fibra 2(Roja), prueba 3 a 5 minutos.	89
Figura 77. Mediciones fibra 3, prueba 3 a 5 minutos.....	90
Figura 78. Calibración de imágenes Kn95 en mm.....	93
Figura 79. Mediciones fibra 1(Amarillo) y fibra 2(Cyan), prueba 1 Kn95 antes de irradiar.	94
Figura 80. Mediciones fibra 3, prueba 1 Kn95 antes de irradiar.	95
Figura 81. Mediciones fibra 1 en color magenta, prueba 1 Kn95 a 3 minutos.....	96

Figura 82. Mediciones fibra 2(Cyan) y fibra 3(Rosa), prueba 1 Kn95 a 3 min de irradiación.....	97
Figura 83. Mediciones fibra 1, prueba 1 Kn95 a 5 min de irradiación.....	98
Figura 84. Mediciones fibra 2, prueba 1 Kn95 a 5 min de irradiación.....	99
Figura 85. Mediciones fibra 3, prueba 1Kn95 a 5 min de irradiación.....	100
Figura 86. Mediciones fibra 1, prueba 2 Kn95 antes de irradiar.	101
Figura 87. Mediciones fibra 2, prueba 2 Kn95 antes de irradiar.	102
Figura 88. Mediciones fibra 3, prueba 2 Kn95 antes de irradiar.	103
Figura 89. Mediciones fibra 1, prueba 2 Kn95 a 3 min de irradiación.....	103
Figura 90. Mediciones fibra 2(Cyan) y fibra 3(Rosa), prueba 2 Kn95 a 3 min de irradiación.....	104
Figura 91. Mediciones fibra 1(Amarillo) y fibra 2(Rojo), prueba 2 Kn95 a 5 min de irradiación.....	105
Figura 92. Mediciones fibra 3, prueba 2 Kn95 a 5 min de irradiación.....	105
Figura 93. Mediciones fibra 1, prueba 3 Kn95 antes de irradiación.....	106
Figura 94. Mediciones fibra 2, prueba 3 Kn95 antes de irradiación.....	106
Figura 95. Mediciones fibra 3, prueba 3 Kn95 antes de irradiación.....	107
Figura 96. Mediciones fibra 1, prueba 3 Kn95 a 3 min de irradiación.....	107
Figura 97. Mediciones fibra 2(Cyan) y fibra 3(Rosa), prueba 3 Kn95 a 3 min de irradiación.....	108
Figura 98. Mediciones fibra 1(Naranja), fibra 2(Roja) y fibra 3 (Blanca), prueba 3 Kn95 a 5 min de irradiación.....	108

Capítulo 1

1. Introducción

A partir de la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV.2 desde finales del 2019, se incrementó exponencialmente la demanda de insumos médicos y equipo de protección personal (EPP). Investigadores y profesionales de la salud, determinaron en poco tiempo que el virus se transmite principalmente por la vía inhalatoria y gotas de saliva, por lo que el uso de la mascarilla se recomendó para toda la población, como parte de las medidas para disminuir los contagios. Incluso en la actualidad, las mascarillas a las que tiene acceso la población son desechables, al igual que la mayoría del personal de salud y otros servicios de emergencias.

La suma de estos factores tuvo como resultado dos escenarios: hubo una escasez de suministros médicos y EPP durante 2020, y la contaminación excesiva y descontrolada con mascarillas y otros residuos.

A finales de febrero del 2020, la organización OceansAsia, con sede en Hong Kong, informó del hallazgo de "masas de mascarillas quirúrgicas en la costa" en las islas Soko. A lo cual, argumentaron que "una población de 7 millones de personas que usan una o dos máscaras por día, la cantidad de basura generada será sustancial".



Ilustración 1. Fotografía de Tael Bondaroff con mascarillas encontradas en el mar (OceansAsia.org,2020)

La producción de EPP de un solo uso ha aumentado drásticamente durante la pandemia. Esto no ocurre sólo en China, un estudio de la revista Environment, Science & Technology estimó en 2020, que cada mes se utilizaron 129 mil millones de mascarillas y 65 mil millones de guantes.

Nick Mallos, director senior de la organización sin fines de lucro Ocean Conservancy, calificó estos números como "asombrosos", y externó su preocupación por el hecho de que "en muchos lugares del mundo no existe la

recolección básica de desechos para administrar ese volumen de desechos, por lo que, lamentablemente, es probable que veamos que esos desechos se abren paso río abajo en las playas y el océano. Incluso aquí en los Estados Unidos, en la UE, en otros lugares del mundo que tienen sistemas de residuos robustos y sofisticados, seguimos viendo PPE ensuciando carreteras, lavando cursos de agua" (Giuliani-Hoffman, 2020).



Ilustración 2. Mascarillas tiradas en calles de Brooklyn, New York en el vecindario de Greenpoint. (Tracie Williams / Greenpeace, 2020)

Si artículos como mascarillas y guantes terminan en el océano, especies como aves y tortugas marinas podrían enredarse en ellos o ingerirlos. Las tortugas marinas son un ejemplo de animales que han sido observados alimentándose de cosas como bolsas de plástico y globos, por lo que es muy probable que veamos un tipo similar de comportamiento con las mascarillas y guantes.

En este momento es crucial generar más conciencia sobre la importancia de una gestión adecuada de los residuos y de tomar decisiones con conciencia ambiental. Han pasado meses desde que el COVID-19 arrasó y devastó el mundo, en un esfuerzo por contener este brote sin precedentes, las mascarillas se han convertido en una necesidad. Sin embargo, un aumento en el uso de mascarillas quirúrgicas desechables también está creando impactos no deseados en nuestro medio ambiente, evidenciado por montones de mascarillas desechadas que se encuentran cerca de las costas de Hong Kong, Estados Unidos, Francia, China continental y Taiwán. Sin lugar a duda, las máscaras faciales son ahora un fenómeno ambiental, además de social. Según estimaciones de Greenpeace Taiwán, durante la cúspide de la pandemia, desde principios de febrero de 2020, hasta mediados de mayo,

Taiwán produjo y utilizó aproximadamente 1.300 millones de mascarillas quirúrgicas (Yeh, 2020).

Como consecuencia de esta problemática, ha habido un rápido aumento en el número y variedad de lámparas UVC que se comercializan entre los consumidores para uso doméstico para inactivar el virus SARS-CoV-2.

En el ámbito hospitalario, se ha visto un aumento en uso de lámparas de esterilización de quirófanos como medio para esterilización masiva de mascarillas. Algunos de estos casos forman parte de diferentes investigaciones que tienen como objetivo aportar soluciones al gasto que genera el uso de la mascarilla en los trabajadores de la salud. Las mascarillas son "no reciclables" debido a que pueden estar contaminadas y pueden conducir a una infección indirecta. Pero no hay una normativa que prohíba la esterilización.

La radiación UVC como proceso de esterilización de mascarillas, ha demostrado no tener efectos sobre las propiedades de los materiales que componen las diferentes capas, con dosis de 3-10 mJ/cm² (Zhao, 2020), que es la necesaria para inactivar virus con el SARS-CoV-2 (Biasin, 2021). El método de esterilización por radiación UVC, es de fácil acceso, bajo costo, menor tiempo de desinfección; a diferencia de otros métodos, como vapor de peróxido de hidrogeno (VPH), vapor a 121°, desinfección con microondas, etc.

Actualmente se comercian cajas esterilizadoras UVC de fácil uso para los usuarios, que, a diferencia de otros métodos de esterilización, no requiere conocimientos avanzados o ayuda técnica para esterilizar objetos. Sin embargo, la mayoría de estas cajas esterilizadoras no están reguladas por alguna compañía o agencia como la FDA (*Food and Drug Administration*), o SGS (*Société Générale des Surveillances*).

La presente investigación, se une a los esfuerzos mundiales para combatir los efectos de la pandemia, mediante el diseño de un dispositivo para la esterilización de mascarillas por medio de radiación UVC a 254nm, de uso seguro, y que tenga capacidad suficiente para usarse en hogares, hospitales, industria, o en cualquier parte. Por cuestiones de seguridad, el dispositivo de irradiación UVC diseñado, se controla a distancia vía Bluetooth, por medio de una aplicación móvil diseñada especialmente para el dispositivo, que mostrara un cronometro de inicio y finalizara al término del ciclo elegido, ya sea 3min o 5min. Un control a distancia mediante aplicación permite al usuario estar lejos del dispositivo cuando esté operando, a diferencia todos los dispositivos comercializados actualmente. Que el usuario tenga que presionar los botones de inicio directamente en la caja de radiación UVC, lo pone en riesgo de una sobreexposición por contacto directo con la radiación emitida. Otra consideración para ventaja del dispositivo propuesto es que la aplicación, por

medio de un cronometro, indica el tiempo restante para finalizar el tratamiento. De esta forma protege al usuario y le permite saber en qué momento es seguro acercarse al equipo y retirar las mascarillas esterilizadas. Una vez finalizado el tiempo el cronometro se reinicia automáticamente y la lampara UVC se apaga.

1.1 Objetivos

Objetivo general

Investigar los efectos producidos por radiación UVC durante el proceso de esterilización de mascarillas

Objetivos particulares

Diseñar un dispositivo de irradiación UVC

Diseñar una aplicación para el control inalámbrico del dispositivo

Observar los cambios producidos por la radiación sobre un área determinada

Observar los cambios producidos sobre el diámetro de las fibras de la capa externa en las mascarillas

2. Aspectos fundamentales de la radiación UVC

Para fines de esta investigación, lo primero que debemos entender es cómo se define la radiación UVC y cómo se aplica para inactivar virus y bacterias. Por lo que este primer capítulo se centra en brindar información elemental al respecto.

Nuestro planeta se encuentra en contacto permanente con diversos tipos de radiación electromagnética. La luz solar es la principal fuente de radiación de la Tierra, comprende luz visible, radiación ultravioleta (UV), infrarrojos y ondas de radio.

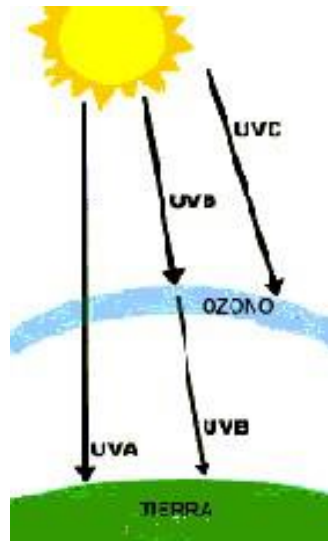


Ilustración 3. Esquema de la distribución de la luz UV proveniente del sol (Prevencionar,2016)

Muchas formas de radiación electromagnética son perjudiciales para los microorganismos. Especialmente la radiación ionizante de longitud de onda muy corta y alta energía. Aunque los microorganismos son más resistentes a la radiación ionizante que los organismos superiores, pueden ser destruidos con una dosis suficiente. La radiación ionizante suele utilizarse para esterilizar objetos.

La radiación electromagnética actúa como un flujo de paquetes de energía, denominados fotones, cada uno de los cuales posee un cuanto de energía, cuyo valor dependerá de la longitud de onda de la radiación.

La luz UV es radiación electromagnética y se divide en UV-Cercano (380-200 nm), UV-Lejano (200-10 nm) y UV-Extremo (31-1 nm). La longitud de onda de 100 a 400 nm se divide en: UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm), UV-C (200-280 nm) y Vacío-UV (100-200 nm).

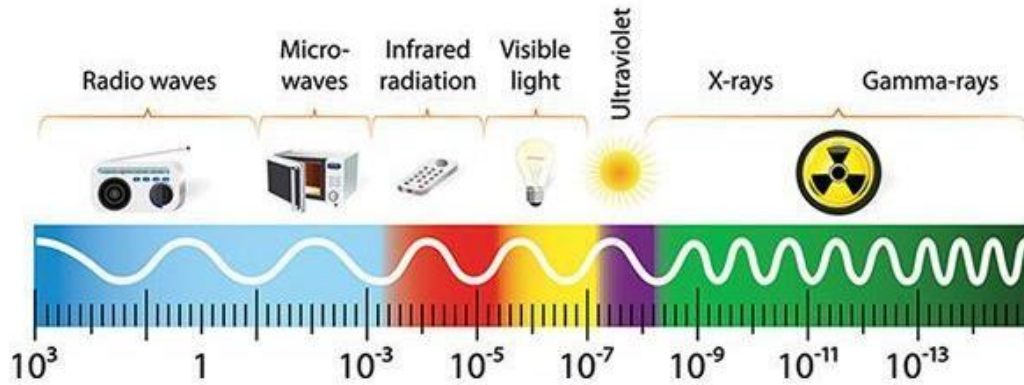


Ilustración 4. Diagrama del espectro electromagnético

La luz UV-C posee mayor efecto germicida entre 250 y 270 nm, y la máxima eficiencia para la desinfección se sitúa específicamente a 254 nm.

2.1 La radiación UVC como germicida

La radiación ionizante puede producir cambios importantes en las células: rompe enlaces de hidrógeno, oxida dobles enlaces, destruye las estructuras de anillo y polimeriza algunas moléculas. Aunque puede dañar muchos tipos de constituyentes celulares, obviamente la destrucción del DNA es la causa más importante de muerte celular. La radiación ultravioleta (UV), puede dañar la mayor parte de los microorganismos debido a su alta energía, la radiación UV a 260 nm es más absorbida por el DNA (Tortora, 2007).

El tratamiento UV ofrece una estrategia libre de productos químicos y podría llevar menos de 5 minutos para lograrlo, se puede realizar en cualquier lugar donde haya energía disponible y se puede escalar para tratar diferentes números de máscaras.

La luz germicida en el rango de UV-C (100-280 nm) altera el ADN y el ARN, formando dímeros de pirimidina, inactivando así virus y otros microorganismos. Los estudios muestran una inactivación superior al 99,9% para varios virus de la influenza y coronavirus cuando se aplican dosis de UV que van de 0.5-1.8 J/cm² (Madigan, 2004)

Estudios hechos con máscaras N95 con el virus de la influenza H1N1, usaron una dosis de UV de 1 J/cm² incidente en la tela, lograron reducciones logarítmicas de 3,

en la cantidad virus recuperables. En superficies, se informa que dosis mucho más bajas de UV-C (<50 mJ/cm²) inactivan tipos de virus similares (Buonanno M. , 2020).

2.1.1 Dosis de destrucción microbiana

La inactivación del número de microorganismos depende de la dosis. La dosis necesaria para conseguir inactivaciones del 99%, 99.9% y 99.99% son, respectivamente: 2, 3 y 4 veces la dosis (D10) para un 90% de inactivación (10% de supervivencia) (Millán Villarroel, Romero González, Brito, & Ramos-Villarroel, 2015).

La distancia entre la lámpara y el sustrato, y las interferencias en la vía de propagación de la luz, afectan la dosis que finalmente alcanza la muestra. Ya que se requiere que toda la superficie del objeto quede expuesta a la luz UV durante el tiempo suficiente para que cualquier microorganismo presente pueda acumular la dosis letal.

De acuerdo con la formula:

$$D = [I * t] \quad (1)$$

D: dosis de irradiación aplicada (J/m²)

I: intensidad de irradiación bajo el área de emisión de luz UV-C (W/m²)

t: tiempo de exposición (s)

2.1.2 Tiempo de acción

Como cualquier otro desinfectante, el tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño. El período debería estar relacionado con la dosis necesaria. Al utilizar UVC como desinfectante, el equipo debe estar localizado lo más cerca posible al producto en el sistema de proceso. La distancia es inversamente proporcional a la intensidad.

Los tratamientos de intensidad leve de luz UVC a tiempos entre 1 y 5 minutos son suficientes para impartir el efecto germicida para los microorganismos indicadores de contaminación (entre 1 y 2 ciclos log) (Buonanno M. , 2020).

2.1.3 Longitud de onda utilizada

La efectividad germicida de la luz UVC, puede variar entre especies de microorganismos. En *Escherichia coli*, donde se observa que la efectividad

germicida se alcanza a un pico en alrededor 260-265 nm, que corresponde al pico de absorción ultravioleta para el ADN bacteriano.

Las lámparas UV de baja presión irradian alrededor del 95% de su energía a una longitud de onda de 253,7 nm; lo cual es coincidentemente cercano al pico de absorción para el ADN (260-265 nm) en el que se tiene alta efectividad germicida. La longitud de onda óptima para la inactivación de *E. coli*, es de aproximadamente 265 nm, la cual es alrededor del 15% más eficaz que el pico de UVC de 254 nm.

2.2 Efectos sobre coronavirus

La pandemia causada por el virus SARS-CoV-2 ha tenido un impacto enorme, apenas comprendido, en la salud y las perspectivas económicas a nivel mundial.

La identificación de métodos de sanitización efectivos es de suma importancia para limitar una mayor propagación viral, ya que el virus puede transmitirse a través de aerosoles y puede sobrevivir durante horas fuera del cuerpo. Las tecnologías de desinfección sin contacto son muy deseables, la radiación UVC (200–280 nm), puede inactivar diferentes virus, incluido el SARS-CoV-2.

La luz germicida en el rango de UVC altera el ADN y el ARN, formando dímeros de pirimidina, inactivando así virus y otros microorganismos (Tortora, 2007).

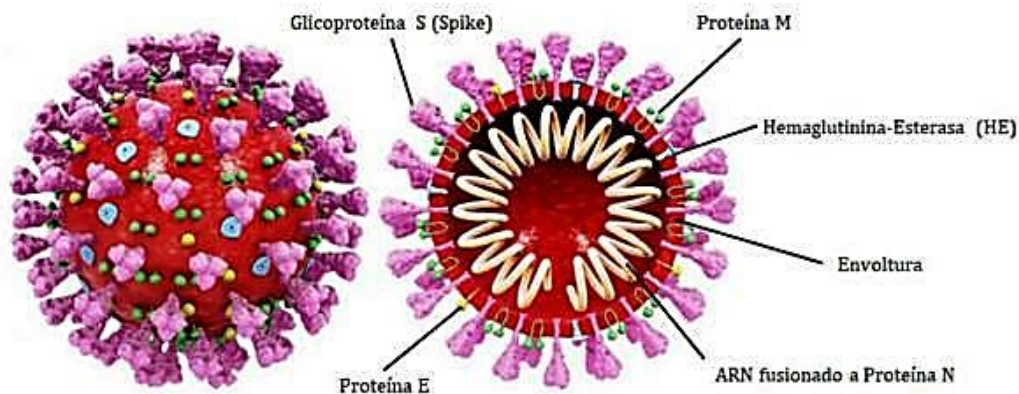


Ilustración 5. Esquema de coronavirus con estructuras (Maguiña Vargas, 2020)

Estudios recientes muestran una inactivación superior al 99,9% para varios virus de la influenza y coronavirus cuando se aplican dosis de UV que van de 0.5-1.8 J/cm². Para el virus de la influenza H1N1, a dosis de UV de 1 J/cm², logró una reducción logarítmica de 3 (Buonanno M. , 2020).

En muestras irradiadas con UVC, el virus estuvo completamente ausente, desde 3.7mJ/cm². Aún más importante, el número de copias no aumentó con el tiempo, lo que sugiere una inactivación eficaz del virus (Biasin, 2021).

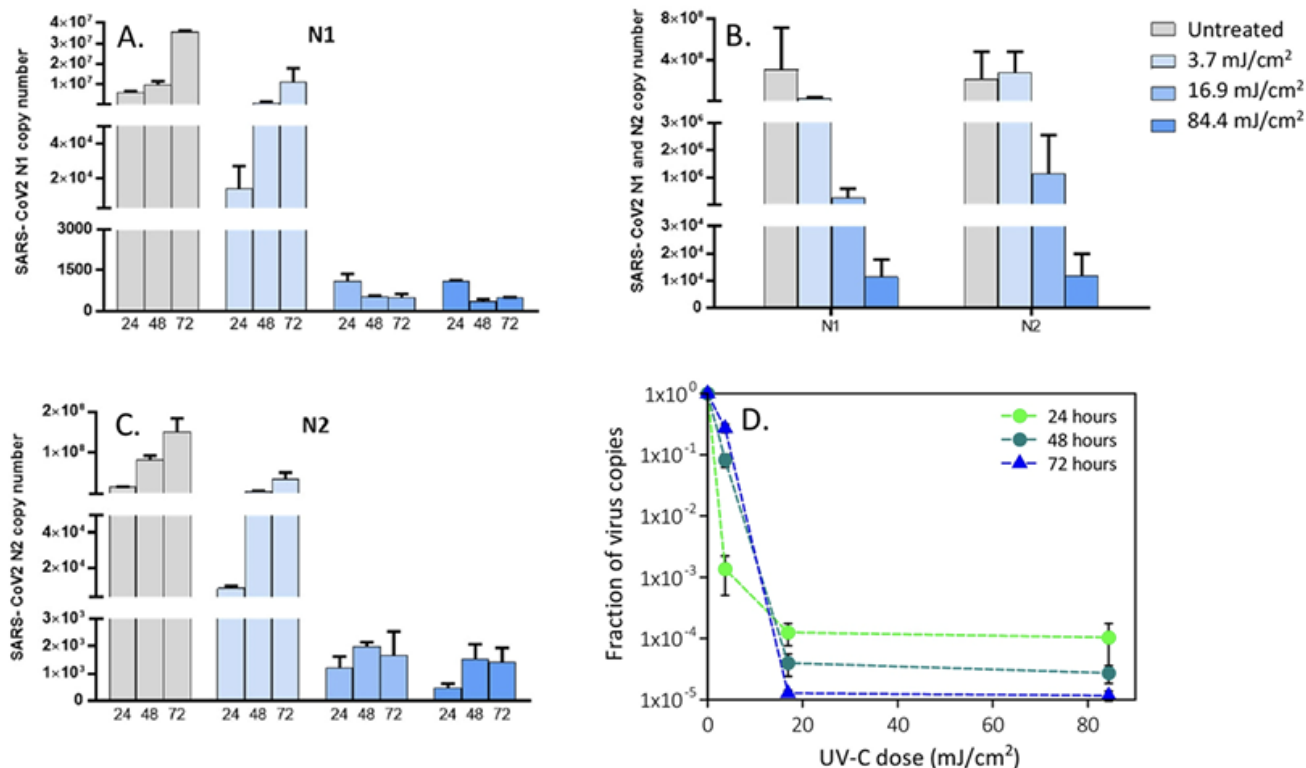


Ilustración 6. Replicación del virus SARS-CoV-2 irradiado con UV en células VeroE6 *in vitro*. Se evaluaron en 24, 48 y 72 horas y se midieron los virus mediante PCR en tiempo real (A, B). La replicación se evaluó en el lisado celular recolectado al final de 6 días (C). Todas las condiciones de cultivo celular se sembraron por duplicado (D).

3. Clasificación y características de las mascarillas

Durante 2019, la Organización Mundial de la Salud recomendó el uso de mascarillas como parte de una estrategia integral de medidas para suprimir la transmisión del SARS-CoV-2 y salvar vidas.

La necesidad de protección durante la pandemia ha ocasionado una elevada demanda de mascarillas, provocando su escasez, siendo necesario que las autoridades autoricen de forma excepcional y temporal la comercialización de productos que no cumplan de forma estricta la normativa para su introducción en el mercado, además de mascarillas echas en casa.

Existen diferentes formas de clasificar las mascarillas, una forma general de identificarlas es como:

- Mascarillas quirúrgicas: Son productos sanitarios (PS) de clase I, no estériles, deben cumplir con requisitos esenciales de seguridad y funcionamiento. El nivel de eficacia depende de factores como filtración, calidad del material y adaptabilidad a la cara. Atendiendo a la eficacia de filtración bacteriana (EFB) tenemos de tipo I y de tipo II. Las de tipo II pueden ser a su vez resistentes a salpicaduras, lo que se indica con la letra “R”, teniendo las II-R. Así, las de tipo I deben ser usadas por pacientes y otras personas para reducir el riesgo de propagación de infecciones, particularmente en situaciones de epidemia.
- Mascarillas autofiltrantes: Son equipos de protección individual (EPI) de categoría III, y para su introducción en el mercado y puesta en servicio deben cumplir con los requisitos esenciales de salud y seguridad. Se clasifican según su eficacia de filtración en FFP1, FFP2 y FFP3, siendo FFP3 las de mayor eficacia.



Ilustración 7. Tipos de mascarillas usadas para combatir la propagación ser SARS-CoV-2 (Fenin, 2020)

3.2 Capacidad de filtrado de las mascarillas usadas durante la pandemia ocasionada por SARS-COV-2

Se contemplan tres tipos: FFP1 (baja eficacia), FFP2 (media eficacia) o FFP3 (alta eficacia), que pueden llevar válvulas de inhalación y/o exhalación.



Ilustración 8 Mascarilla serie 8000 marca 3M® con filtro FFP1



Ilustración 9 Mascarilla 06922 de la marca 3M® con válvula filtro FFP2.



Ilustración 10 Mascarilla Aura marca 3M® con filtro FFP3

Los ensayos para valorar el filtro contemplan, entre otros, los siguientes parámetros:

- Fuga de partículas hacia el interior: para comprobar el grado de protección a los usuarios; miden las fugas por el ajuste de cara, fuga por la válvula de exhalación si existe y penetración a través del filtro.
- Compatibilidad con la piel: se comprueba la irritación o cualquier otro efecto adverso que pueda provocar el material de la máscara.
- Inflamabilidad: las mascarillas no deben ser altamente inflamables y no deben continuar quemándose pasados 5 segundos tras apartarse de la llama.
- Contenido de dióxido de carbono: el contenido de CO₂ en el espacio libre entre la cara y la mascarilla tras inhalación, no debe ser mayor del 1% de promedio en volumen.
- Ensayo de obstrucción: implica hacer un ensayo de resistencia a la respiración, que no debe ser superior a los rangos establecidos para cada tipo de mascarilla.
- Ensayo de ajuste: la pieza facial es hermética y debe hacerse un ensayo de verificación del ajuste.

Cabe destacar que este tipo de mascarillas, cuando tienen válvula de exhalación no deberían ser utilizadas por personas infectadas por el COVID-19, dado que el aire exhalado sería emitido sin ningún tipo de retención y se favorece la difusión del virus (SEFAP, 2020).

3.3 Impacto en el material de la irradiación UVC

Para comprender la viabilidad de reutilizar de forma segura las máscaras faciales, podemos caracterizar los posibles impactos perjudiciales de la exposición a los rayos UVC en los materiales representativos de mascarillas N95, de las quirúrgicas y caseras.

La dosis de exposición otros estudios entre 1-10 J/cm², las recomendaciones para la dosis de irradiación (1J/cm²) y los posibles ciclos de tratamiento múltiples.

Las máscaras N95 están hechas de múltiples capas de materiales poliméricos. Las capas 1 y 3 son principalmente polipropileno, mientras que la capa 2 es poliéster.

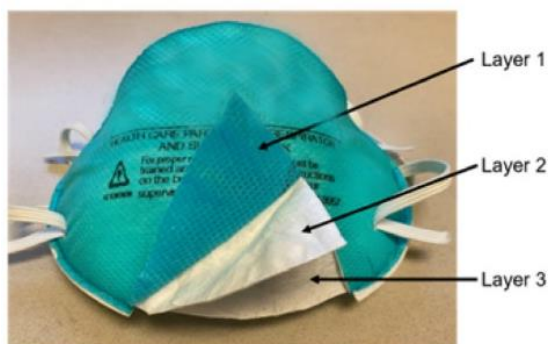


Ilustración 11. Mascarilla kn95 diseccionada por capas (Zhao, 2020)

Las mascarillas quirúrgicas contienen tres capas, dos capas externas de acetato de celulosa y una capa interna de polipropileno, que el proveedor afirma que es importante para la eliminación de aerosoles.

Con base en la naturaleza de los materiales que componen las diferentes capas de las mascarillas, la interacción de la radiación puede producir una fotooxidación con el polímero que contiene cromóforos (por ejemplo, aromáticos, C=O y N=N), que absorben longitudes de onda cortas (Zhao, 2020). La microscopía óptica y el análisis con microscopio de barrido de electrones muestran resultados idénticos en cuanto a los cambios aparentes en la morfología. (diámetro de la fibra, distribución, distribución de hendiduras, etc.) después de la irradiación UV.

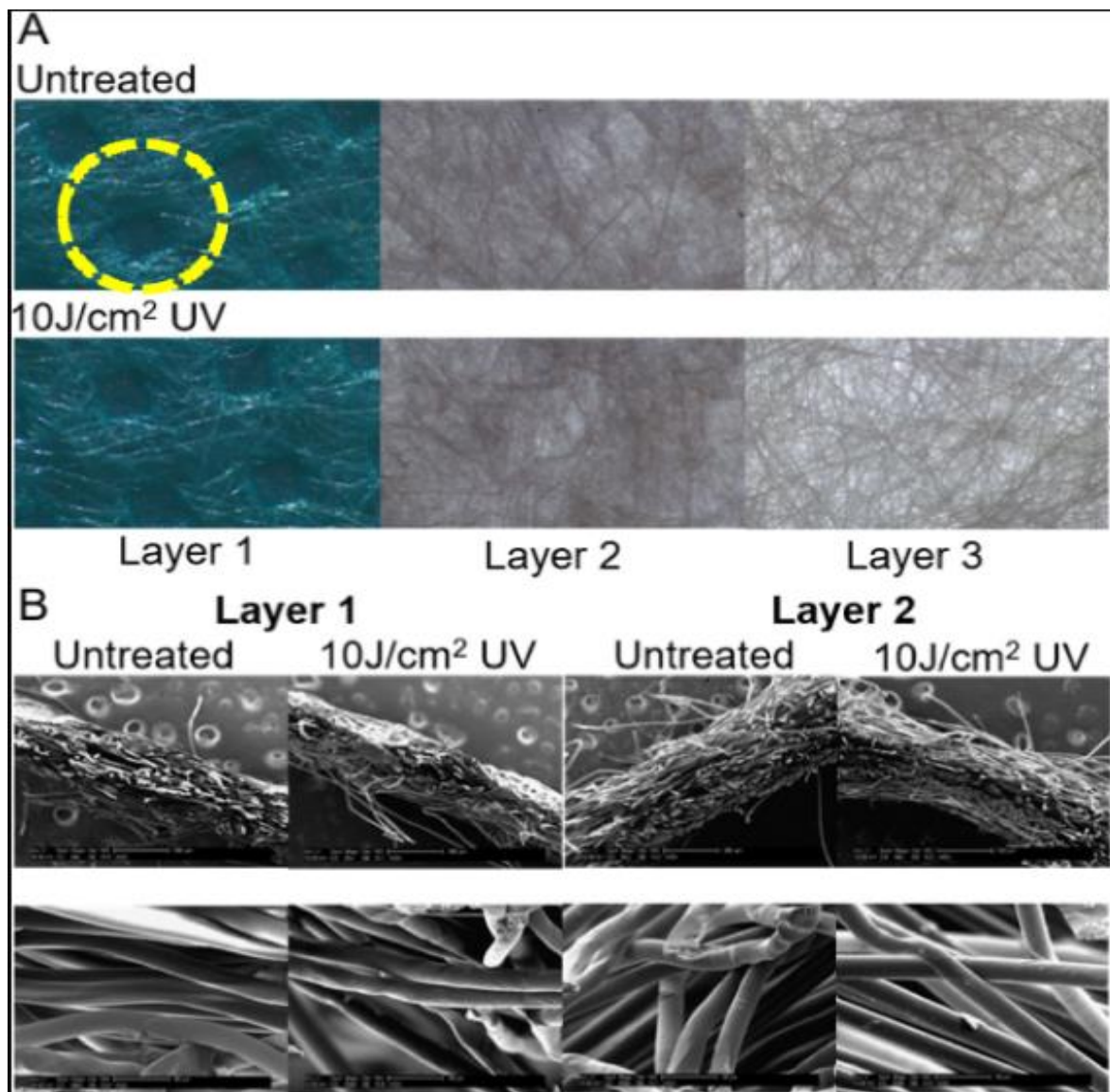


Ilustración 12. A) imágenes de microscopio óptico para las 3 capas de mascarillas n95 antes y después de la irradiación. B) imágenes de microscopio electrónico de barrido antes y después de la irradiación.

La observación por microscopia permite ver los efectos cuando se presenta la fotoxidación de este tipo de materiales, ya que puede conducir a la formación de polímeros de mayor tamaño y otros cambios en la estructura molecular de los componentes. Esto se ha analizado por métodos químicos y los resultados evaluados por espectrometría de masas, coinciden con los resultados de microscopia. No se encontraron diferencias significativas en la composición del material antes y después de la irradiación a 10mJ/cm² (Zhao, 2020).

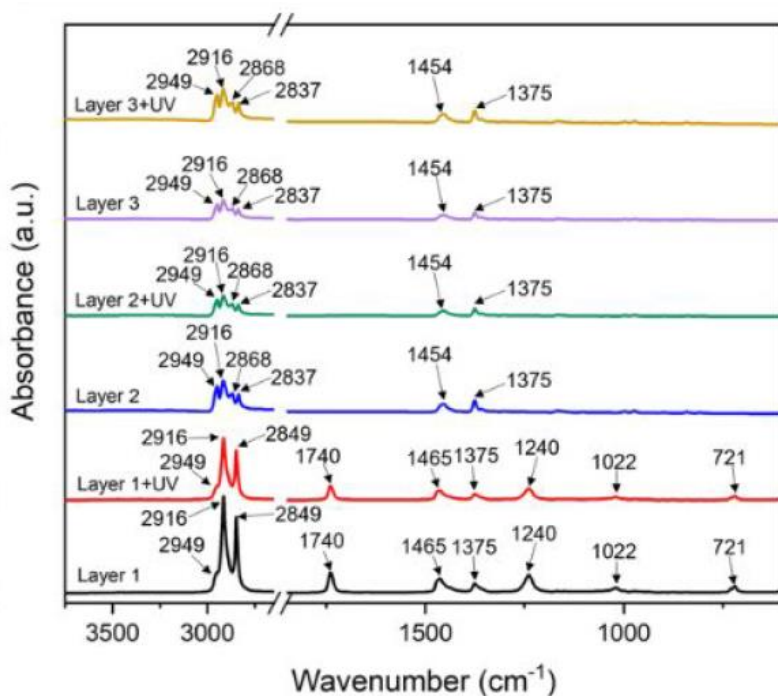
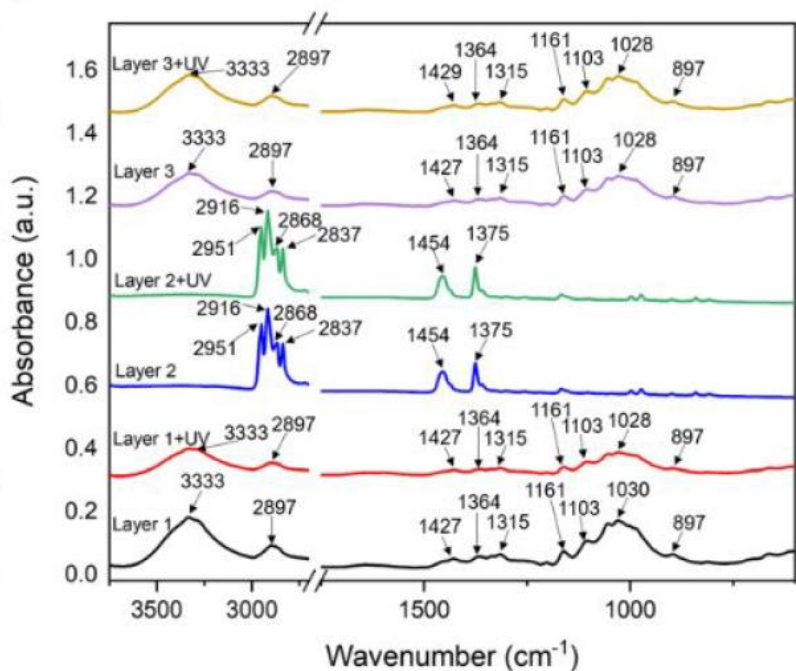


Ilustración 13. Espectro de masas de mascarilla quirúrgica antes y después de la irradiación (arriba). Espectro de masas de mascarilla n95 antes y después de la irradiación (abajo)

Las mediciones de la química superficial y morfológica anteriores sugieren cambios insignificantes en los materiales de la máscara a las dosis de UV aplicadas, lo que es consistente con el efecto insignificante sobre la eliminación de partículas (Zhao, 2020).

La irradiación UV de 10 J/cm^2 tuvo un impacto insignificante en las propiedades mecánicas del N95 y las mascarillas quirúrgicas. Las máscaras mostraron diferencias entre las máscaras nuevas y las tratadas con UV-C. en dosis muy altas (950 J/cm^2).

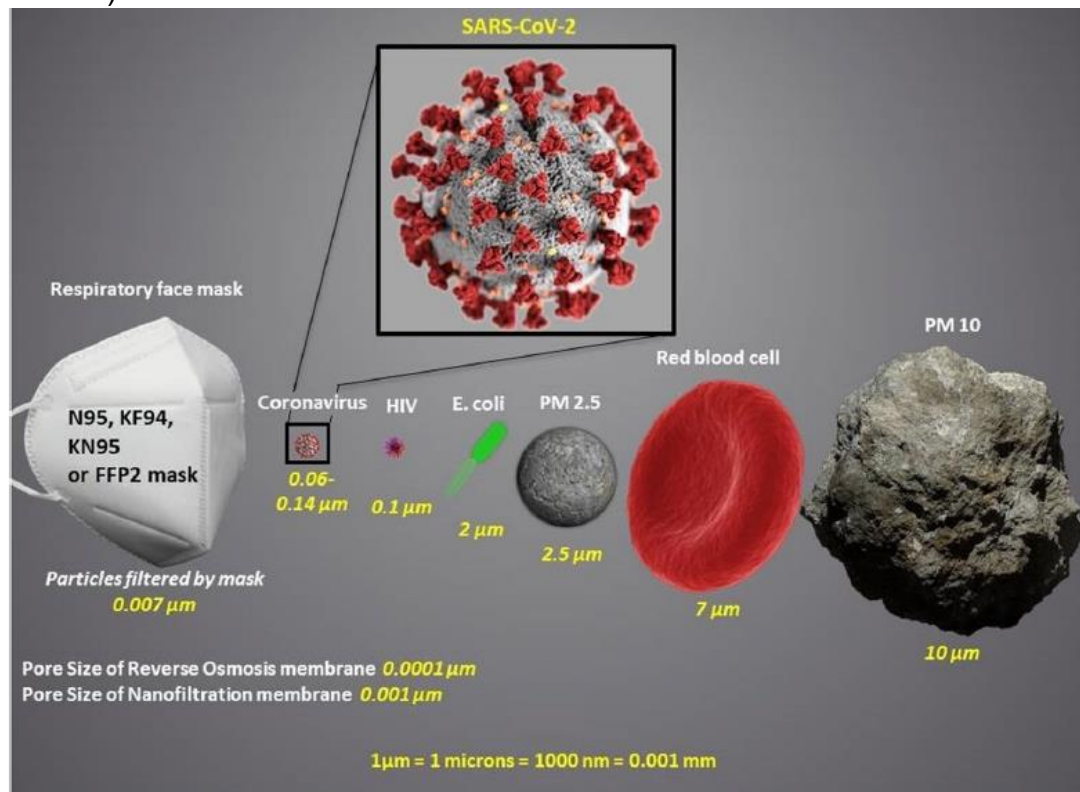


Ilustración 14. Esquema informativo sobre tipos de partículas y tamaños en comparación con el tamaño de poro en los filtros de mascarillas (Elsaid, 2021).

3.3.1 Mascarilla considerada producto sanitario (PS)

Las mascarillas se clasifican de acuerdo con su eficacia de filtración bacteriana en Tipo I y Tipo II. Las de tipo II se subdividen en función de su resistencia o no a las salpicaduras: las de tipo IIR son resistentes a las salpicaduras.

- **Respirabilidad:** el objetivo es medir la diferencia de presión necesaria para hacer pasar aire a través de la mascarilla.
- **Resistencia a las salpicaduras:** mide la resistencia a la penetración de salpicaduras de líquido; sería aplicable para las de Tipo IIR.

- **Limpieza microbiana** (carga biológica): para los microorganismos viables en el exterior o interior de un producto sanitario.
- **Biocompatibilidad**: determinar el ensayo toxicológico aplicable.

A continuación, se indican los requisitos a cumplir por cada uno de los tipos de mascarilla (SEFAP,2020):

Tabla 1.Requisitos a cumplir por cada uno de los tipos de mascarilla (SEFAP,2020)

Ensayo	Tipo I	Tipo II	Tipo IIR
Eficacia de filtración bacteriana	≥95	≥98	≥98
Presión diferencial (pascal/cm2)	<40	<60	<60
Presión de resistencia a las salpicaduras Kpa	-	-	≥16
Limpieza microbiana (ufc/g)	≤30	≤30	≤30

Situación Excepcional


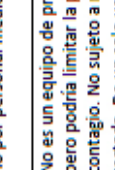
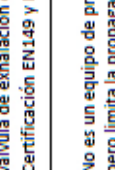
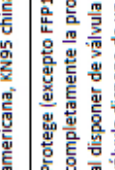
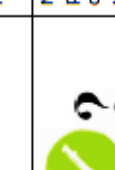




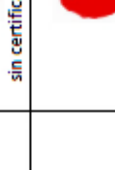



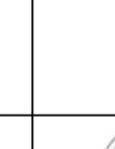

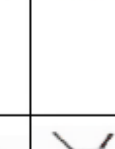



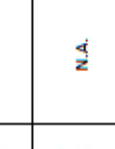

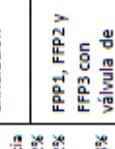
No obstante, una de las medidas normativas elaboradas tras el actual estado de alarma es la Resolución de 23 de abril de 2020, de la Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa (España), referente a los equipos de protección individual en el contexto de la crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19, donde se permite adquirir material con certificaciones alternativas a las derivadas del mercado CE, de manera excepcional.

En la Resolución se aceptan como equivalente a las normas técnicas europeas diversas normas técnicas internacionales, tal como se indica a continuación:

Tabla 2. Equivalencias para mascarillas FFP2.

Norma	Clasificación
EN 149:2001 (Europa)	FFP2
NIOSH-42CFR84 (USA)	N95, R95, P95
GB2626-2006 (China)	KN95
AS/NZ 1716:2012 (Australia)	P2
KMOEL – 2017-64 (Korea)	Korea 1st Class
JMHLW – Notification 214, 2018 (Japón)	DS

La mascarilla KN95_China: se fabrica según la norma GB2626, que en principio la aplica el propio fabricante en un proceso de auto-certificación bajo su propia responsabilidad y la vigilancia del mercado es la que actúa en su caso. Debido a la crisis del coronavirus, el Gobierno Chino dio la orden de que todas las mascarillas fueran verificadas en tres aspectos: eficacia de penetración, resistencia a la respiración y marcado. En consecuencia, todas las mascarillas que hay en el mercado chino deberían tener informes de ensayo con estos tres resultados.

Equipo	Tipo	Foto	Protección del personal que la lleva contra organismos infecciosos presentes en aerosoles	Barrera para no contagiar / evita emisión de organismos infecciosos al ambiente	Observaciones
Mascarillas auto filtrantes desechables EPIS. (Norma EN 149). (Reutilizables solo las marcadas con "R" (solo algunos modelos de FFP2 y FFP3). Modelos "NR" (no reutilizable) de uso para un solo turno (8 h). 	FFP1 sin válvula de exhalación				Es un equipo de protección pero su eficacia de filtración mínima (78%) no garantiza protección suficiente frente a organismos infecciosos. Limita la propagación del contagio (sin certificación EN 14683)
8833 Mascarilla FFP2 con filtro UNE 0065 Diseñadas para trabajar de fuera hacia dentro. FFP1: 78% filtración mínima 22% fuga hacia interior máxima. FFP2: 92% filtración mínima 8% fuga hacia interior máxima FFP3: 98% filtración mínima 2% fuga hacia interior máxima	FFP2 y FFP3 sin válvula de exhalación				Protege y limita (sin certificación EN 14683) la propagación del contagio. Equivalencia de mascarillas no Europeas: N95 NIOSH americana, KN95 china
Mascarilla dual / bidireccional desechable. EPI (Norma EN 149) Y Producto Sanitario (PS, BARRERA, Norma EN 14683).	FFP1, FFP2 y FFP3 con válvula de exhalación				Protege (excepto FFP1) pero no limita completamente la propagación del contagio al disponer de válvula de exhalación (la válvula dispone de un sistema mecánico, de apertura libre al exhalar)
Mascarilla quirúrgica, desechable, NO EPI, SÍ PS (barrera, Norma EN 14683). Trabaja de dentro hacia fuera. Eficacia filtración bacteriana (EFB): tipo I >95%, tipo II y IIR >98%. Tipo IIR resistente a salpicaduras	EN149: FFP1/FFP2/FFP3 EN14683: IIR				Protege (FFP2 y FFP3) y limita la propagación del contagio. Puede llevar válvula de exhalación cubierta o "tapada". Certificación EN149 y EN 14683
Mascarillas higiénicas NO EPI NI PS desechable (mascarilla sin marcado CE, ni sujeta a norma).	I, II, y IIR				No es un equipo de protección. No protege pero limita la propagación del contagio. El tipo I sólo debe ser utilizado por pacientes, no por personal médico.
Mascarillas higiénicas NO EPI NI PS sujeta a normas: UNE 0064-1 (adultos)/2 (niños), desechables. EFB >95% (según criterios EN 14683). UNE 0065, reutilizables. EFB >90%. Trabajan de dentro hacia fuera.	N.A.				No es un equipo de protección. No protege pero podría limitar la propagación del contagio. No sujeto a norma, eficacia no testada. De un solo uso. No es un equipo de protección. No protege pero limita la propagación del contagio. Certificación EN 0064-1 y 2: desechable. 4 horas de uso máximo continuado. UNE 0065: reutilizable. 4 h. uso máximo continuado, nº lavados a determinar por fabricante (mínimo 5), con detergente y agua a 60º, con secado mínimo de 2 h) MODELO MÁS INDICADO PARA LA CIUDADANÍA GENERAL
Semimáscara buconasal con filtros EN 140/143 (máscaras/filtros) Trabaja de fuera hacia dentro	Diferentes modelos				Todas disponen de válvula de exhalación. Protege (excepto con filtro P1) pero no limita completamente la propagación del contagio, al disponer de válvula de exhalación

Notas: la válvula de exhalación, excepto que sea una válvula cubierta o "tapada", permite que el aire sea exhalado directamente al ambiente sin ningún tipo de retención y se favorezca, en su caso, la difusión del agente. Por lo tanto, no se puede garantizar la total limitación de la propagación del contagio. La ciudadanía no debe utilizar mascarillas que incorporen válvulas de exhalación, pero todos deberían usar una de barrera. Las mascarillas EPI, deberían ser usadas por el personal de mayor exposición. Autor: Pablo Medina Sánchez. [Técnico Superior Prevención de Riesgos Laborales](mailto:pablo.medina@bureaueventas.com). pablo.medina@bureaueventas.com

Ilustración 15 Tipos de mascarillas (Sociedad Española de Medicina de Urgencias y Emergencias, 2020)

3.4 Vida útil de las mascarillas

Las mascarillas quirúrgicas tienen una vida media establecida con base en el tiempo de uso, este es de 4h. Las mascarillas FFP2, FFP3 y N95 están concebidas como material no reutilizable, de un solo uso. Sin embargo, tras la escasez y la creciente demanda de mascarillas, el proceso de descontaminación o esterilización se deberían evaluar y determinar si las mascarillas mantienen sus propiedades de ajuste y capacidad de filtrado.

A continuación, se presentan algunos métodos comprobados para esterilización de mascarillas (Preevid, 2020):

Vapor de peróxido de hidrógeno (VPH)

- Autorizado por la FDA en Marzo del 2020
- Las mascarillas podrían usarse hasta 20 veces, con un proceso de descontaminación de 2,5 horas entre cada uso.
- Quedan excluidas las mascarillas que contengan celulosa.

Calor seco en horno de convección

- Calentando a 70° C durante 30 minutos, mantiene el efecto de filtración por encima del 95%.

Vapor generado por microondas (MGS)

- Un ciclo a 65°C durante 30 minutos e irradiación germicida ultravioleta (UVGI) con lámpara doble (arriba y abajo) 36W y tiempo de exposición de 148 segundos.

Plasma de gas de peróxido de hidrógeno

- Las mascarillas de pueden usar 2-3 veces con un nivel de penetración >5%

Vapor a 121°C

- Durante 15 minutos, no deberían tener más de 2-3 usos.

Vapor de agua

- Durante cinco minutos no se deforman. la mascarilla, por lo que se pueden reutilizar un par de días haciendo el tratamiento entre usos.

Etanol al 99%

- Durante una hora y secado a temperatura ambiente, no afectó las propiedades de filtrado de las máscaras de FFP2.

La exposición a gas de ozono

- Durante un minuto.

Capítulo 2

4. Diseño conceptual

4.1 Propuesta de diseño y análisis de mercado

Como parte de la propuesta para el diseño del equipo, se consideran diferentes instrumentos de irradiación que se encuentran en el mercado, disponibles para el público en general. Y algunos de los equipos diseñados para investigaciones y proyectos realizados al margen de la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2.

Equipos comerciales

Esterilizador De Herramientas Uv Timco



Lámpara de esterilización UV de cuarzo



Esterilizador Uv-c Box Clean Este



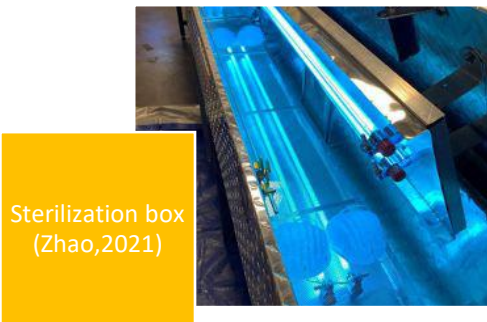
Lámpara Esterilizadora De Luz Uv Portátil Desinfectante



Lámpara Desinfectante Brookstone con Luz UV



Equipos diseñados para proyectos de investigación



Entre la gran oferta de dispositivos que se encuentra en el mercado. Es importante mencionar que la mayoría de ellos no cuenta con aprobación de organizaciones gubernamentales nacionales o internacionales como la FDA, ni se encuentra considerados dentro de las normas mexicanas.

Muchos de estos dispositivos están compuestos por lámparas de mercurio y otros tienden a generar ozono. Ambas sustancias altamente tóxicas.

En cambio, los dispositivos diseñados en proyectos de investigación tienen una serie de deficiencias en el diseño, especialmente para la seguridad de los usuarios. Ninguno de los dispositivos presentados puede ser utilizado por una persona sin capacitación especial en manejo del dispositivo, aun así, sin quedar exentos de riesgos.

Con esas consideraciones y el interés de crear una aplicación que ayude a evitar el contacto con el equipo y la radiación UVC, fue que se creó el diseño para el dispositivo desarrollado.

Tabla 3. Información de dispositivos comerciales

NOMBRE	MARCA	FUENTE UVC	TIEMPO	PRECIO	Longitud de onda (nm)
UVMultifunction STERILIZER	ikbolo	UVC lámparas	3 min	ND	ND
SHILIU Multifuncional Caja de desinfección	ND	LED: 6 piezas dos rayos UVC	5 min	\$827.78 mxn	ND
Esterilizador UV 59s Bolsa	59S	LEDS UVC: 24 piezas	3 min	\$3599 mxn	260-280
CHENG Esterilizador UV Bolso	ND	LED UVC	5 min	\$739.99 mxn	ND
Esterilizador UV, 59S UV Esterilizador Bolsa (Probado por FDA y SGS)	SUNU V	LED UVC: 24 PCS	3 min	129 €	ND
POCKET UV-c	Litzer	lámpara de UV-C Litzer	10-20 s	\$1050 mxn	ND
MINI CUBE	Litzer	lámpara de UV-C Litzer	30 min	\$1050 mxn	ND
Método y aparato esterilizador de microteléfono	ND	Menor a 200nm	Auto	ND	WO / 2000/041734
Aparato y método de esterilización para unidad periférica de computadora	ND	por debajo de 200 nm	Auto	ND	WO / 2000/041733

*ND: no declara

Análisis FODA del dispositivo a desarrollar



4.2 Diseño del contenedor en CAD

Después de analizar el mercado actual de esterilizadores UVC y proponer un prototipo de acuerdo con nuestros objetivos, se prosiguió a realizar el CAD en AutoCAD 2021

En las siguientes imágenes se muestran las partes en CAD del dispositivo. El cual es un cubo de 40*40*40cm con 3 sujetadores para mascarillas de 36 cm.



Figura 1. CAD de las caras de la caja contenedora.

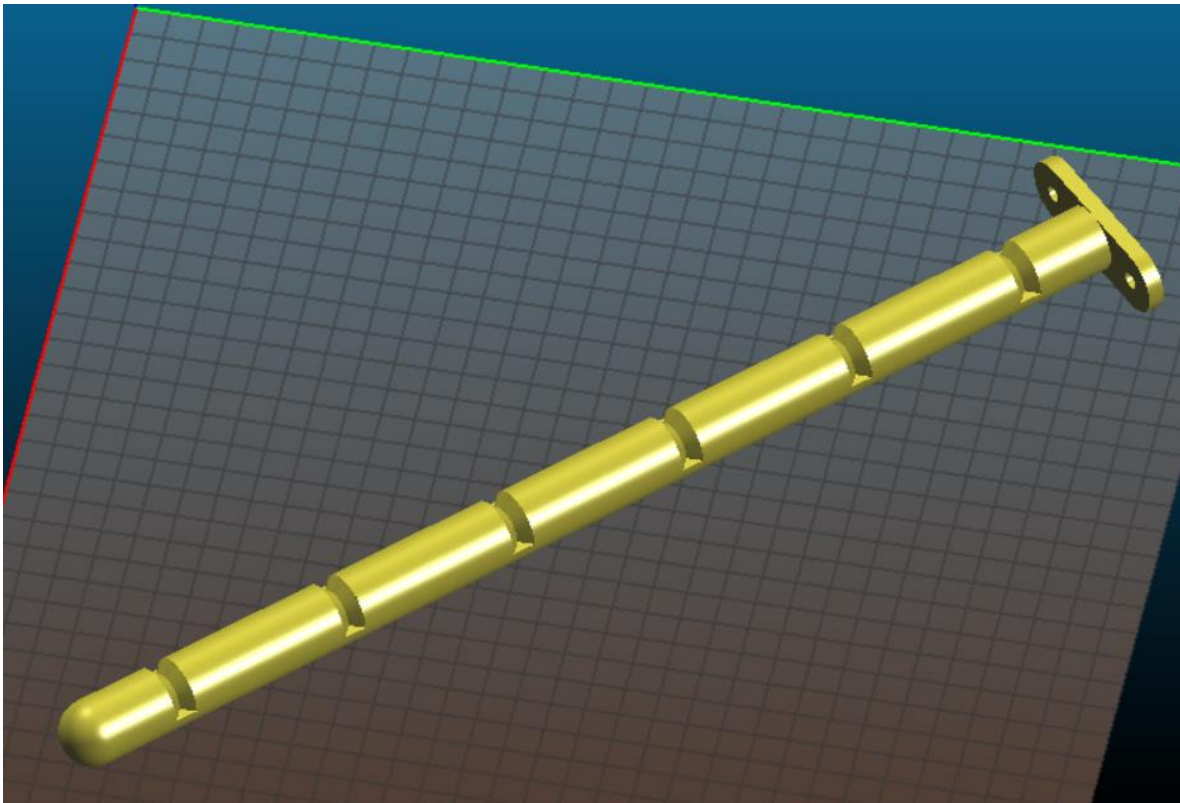


Figura 2. Sujetador para mascarillas 36 cm.

En la siguiente imagen se observa el ensamble final de la caja esterilizadora que consta de 3 sujetadores para mascarillas en la parte superior. El ensamble se realizó con Blender, que es un programa informático multiplataforma, dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, la animación y creación de gráficos tridimensionales. El programa fue inicialmente distribuido de forma gratuita pero sin el código fuente, con un manual disponible para la venta, aunque posteriormente pasó a ser software libre. Actualmente es compatible con todas las versiones de Windows, macOS, GNU/Linux, Android, Solaris, FreeBSD e IRIX.

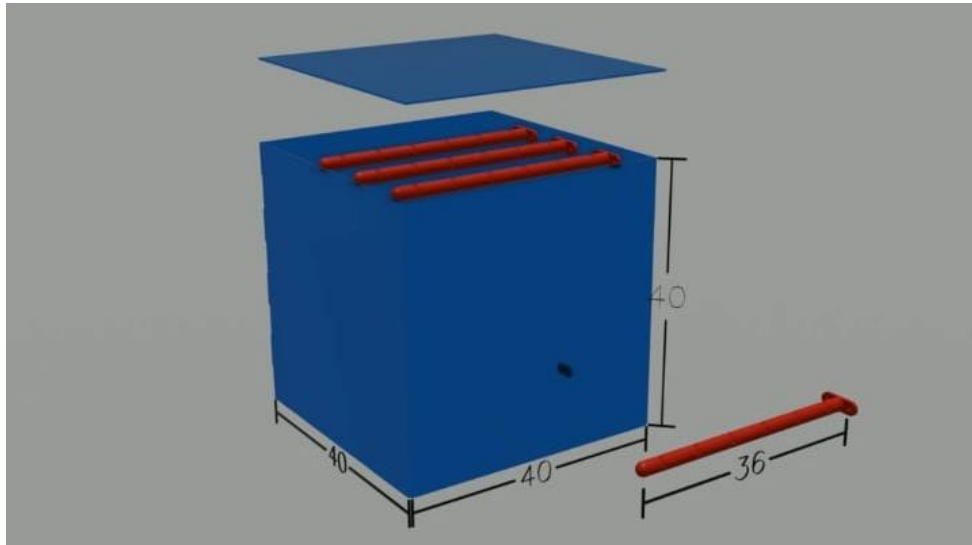


Figura 3. Modelo 3D de la caja esterilizadora en cm

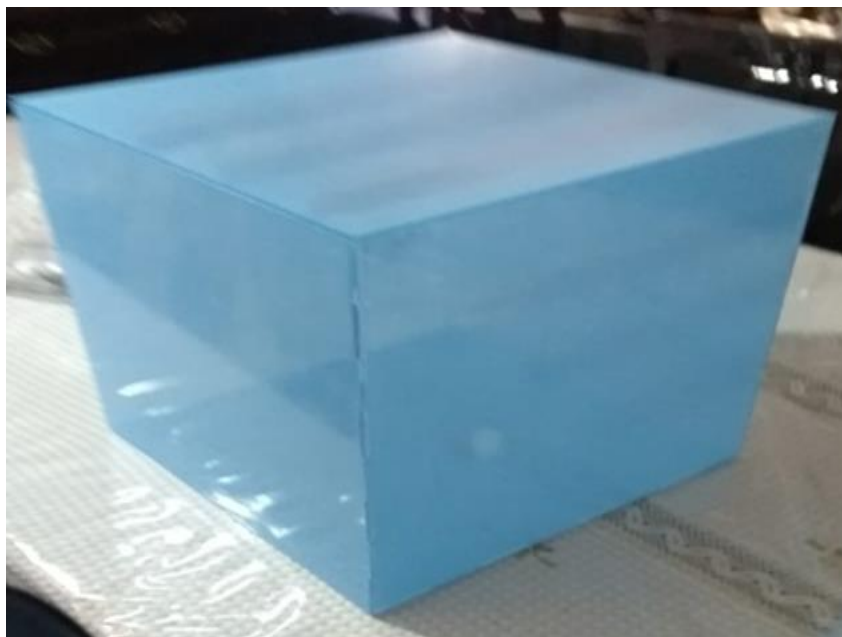


Figura 4. Caja esterilizadora.



Figura 5. Interior de caja esterilizadora y soportes.

Capítulo 3

5. Instrumentación

5.1 Descripción de los componentes

Lampara Fluorescente Germicida UV G4T5, TUV4T5, Desinfección y Esterilización de Aire, Agua y Superficies.

- Voltaje: Multivoltaje 120 Volts.
- Potencia: 4 Watts (desinfección de 1 Mt2).
- Base: G5.
- Tiempo de Vida: 8,000 Horas.
- Temperatura de Color: Ultravioleta UV-C 254nm.
- Longitud: 15 Centímetros.
- Seguridad: Se debe encender en ausencia de personas para esterilizar o bien con Lentes con protección UV400 como mínimo.
- Aplicación: Medico, Industrial, Comercial y Residencial.
- Marca: Osram-GE-AZPro

Módulo Relevador 5V

- 1 canal, activo en alto
- Microcontrolador: SRD-05VDC-SL-C
- Voltaje de funcionamiento: 5
- Voltaje mínimo de entrada recomendado - Voltaje máximo de entrada recomendado: 3V - 5V

ESP32 DEVKIT V1 30 Pines Wifi + Bluetooth

El ESP32 DEVKIT V1 es un microcontrolador de bajo costo y consumo de energía, cuenta con tecnología Wi-Fi y Bluetooth de modo dual integrada que permite controlar todo tipo de sensores, módulos y actuadores.

- Serie: ESP32 DEVKIT V1
- Chip USB-Serial: CP2102
- Voltaje de Alimentación (USB): 5V DC
- Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3V DC
- Consumo de energía de 5 μ A en modo de suspensión
- Pines Digitales GPIO: 24 (Algunos pines solo como entrada)

- Conversor Analógico Digital: Dos ADC de 12bits tipo SAR, soporta mediciones en hasta 18 canales, algunos pines soportan un amplificador con ganancia programable
- Antena en PCB
- Tipo: Módulo Wifi + Bluetooth
- Wifi: 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)
- Bluetooth: 4.2 BR/EDR BLE Modo de control dual
- CPU principal: Tensilica Xtensa 32-bit LX6
- Memoria: 448 KByte ROM, 520 KByte SRAM, 6 KByte SRAM en RTC y QSPI admite múltiples chips flash /SRAM
- Procesador secundario: Permite hacer operaciones básicas en modo de ultra bajo consumo
- Desempeño: Hasta 600 DMIPS
- Frecuencia de Reloj: hasta 240Mhz
- Seguridad: IEEE 802.11, incluyendo WFA, WPA/WPA2 y WAPI
- Criptografía acelerada por hardware: AES, SHA-2, RSA, criptografía de curva elíptica (ECC), generador de números aleatorios (RNG)

Raspberry Pi 4 Model B

La Raspberry Pi 4 Model B es el modelo más reciente fabricado por la fundación Raspberry Pi realizando mejoras importantes ante el modelo anterior Pi 3B+ como un procesador más rápido a 1.5GHz, disponible en diferentes versiones de 1GB, 2GB, 4GB o 8GB de memoria RAM, soporta doble monitor (4Kp60) con salida en dos conectores micro HDMI, WiFi doble banda 2.4GHz y 5GHz, Bluetooth 5.0 y puerto Ethernet más rápido de un Gigabit.

- Marca: Raspberry Pi
- Modelo: 4 B
- Procesador: Broadcom BCM2711B0 DE 64 bit
- Frecuencia de reloj: 1.5 GHz
- Núcleos: 4
- RAM: 2/4/8 GB LPDDR4-3200
- GPU: VideoCore VI
- Capacidad GPU:
- 265 (4K a 60Hz)
- 264 (decodificación 1080p a 60 Hz, codificación 1080p a 30 Hz)
- Gráficas OpenGL ES 3.0
- Conectividad inalámbrica:

- 2.4GHz / 5GHz IEEE 802.11 b/g/n/ac
- Bluetooth 5.0 BLE
- Puertos:
- 2 x microHDMI
- GPIO 40 pines
- 2 x USB 2.0
- 2 x USB 3.0
- CSI (cámara Raspberry Pi)
- DSI (pantalla táctil)
- Audio: Jack de 3.5 mm
- USB-C (alimentación)
- Puerto Ethernet Gigabit
- Power-over-Ethernet (PoE)
- Alimentación: 5V a 3A
- Almacenamiento: microSD
- Compatible con Debian GNU / Linux, Windows, Fedora, Arch Linux, RISC OS y más
- Dimensiones: 88 x 58.8 x 19 mm
- Peso: 50g



Elemento de radiación.

Lámpara UVC a 254nm.



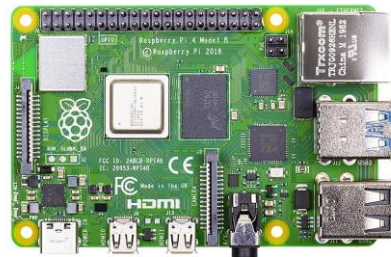
Módulo Relevador 5V

modelo SRD-05VDC-SL-C



Microcontrolador

ESP32 DEVKIT V1



Raspberry Pi

Raspberry Pi 4 Model B

5.2 Funcionamiento del dispositivo

El dispositivo de radiación cuenta con una lámpara UVC a 254nm de 15 cm; la cual encenderá vía bluetooth por medio de una aplicación móvil, que maneja dos tiempos 3 y 5 minutos. Los tiempos se determinan con base en las características de la lámpara y las dosis efectiva para virus de interés.

De acuerdo con la información exclusiva para distribuidores, se tiene la siguiente tabla, de datos de irradiación la Lámpara germicida HNS 4W G5.

Tabla 4. Información de la lámpara UVC, Lámpara germicida HNS 4W G5.

Fixture count	1
Lamp Type	HNS 4W G5 FLH1
UV Irradiance (W/m²) @ 1m	0.09
UV Irradiance (W/m²) @ 2.5 m	0.0144
	<i>Fill in below</i>
Distance from the fixture to surface (m)	2
	<i>Fill in below</i>
Target UV-C 254nm Dose (J/m²)	248

Sustituyendo la información en la fórmula 1:

$$D = [I * t]$$

donde:

La intensidad de irradiación(I) a 1m es de 0.09(W/m²).

El tiempo(t) trabajado en este dispositivo es de 180s y 300s

El área de irradiación es de 15*15 cm² lo que es igual a 2.25m²

Por lo tanto:

Para 3min(180s) se tiene.

$$D = (0.09 * 180) = 16.2(J/m^2)$$

Para 5min(300s) se tiene.

$$D = (0.09 * 300) = 27(J/m^2)$$

Tabla 5. Dosis de inactivación para microorganismos de interés en este estudio.

Microorganismo	Dosis de inactivación D (J/m ²)	Fuente
Coronavirus	6.6	Walker 2007
Berne virus (Coronaviridae)	7.2	Weiss 1986
SARS-Cov-2 (Italy-INMI1)	12.3	Bianco 2020
Murine Coronavirus (MHV)	15.0	Hirano 1978

SARS Coronavirus (Frankfurt 1)	16.4	Erickmann 2020
Adenovirus	18.3	Beggs and Avital 2020
Coxsackie B-1	9.0	
Influenza A	8.4	
Sindbis virus	9.6	
Vaccinia virus	6.5	
Adenovirus	27.7	
Murine hepatitis virus (coronavirus)	2.7	
Influenza A	3.7	
Vaccinia virus	0.4	

El microcontrolador Esp32 se encarga del funcionamiento de la lámpara además de publicar el tiempo de operación del dispositivo en el topic "data", vía MQTT, otro programa realizado en Linux en la Raspberry siendo suscriptor del topic; se encargará de realizar el registro de este tiempo en la base de datos "uvcMask"

5.3 Arquitectura

Este dispositivo de radiación en su arquitectura integra bluetooth y mqtt, la parte de bluetooth será por medio de una aplicación realizada en App Inventor hacia el cliente A Esp32. Por lo tanto, la parte MQTT consta de 2 clientes: Cliente A Esp32 y Cliente B "Programa en Python Linux".

- El broker será mosquitto en nuestra Raspberry.
- Cliente A Esp32:
 - Publicador del topic: "data": Enviara en formato json el tiempo utilizado durante la prueba, "a" para 3 minutos y "b" para 5 minutos
- Cliente B "Programa en Python Linux":
 - Suscriptor del topic: "data": Recibirá el tiempo de radiación UVC y realizará el insert en la tabla "prueba" de la base de datos "uvcMask".

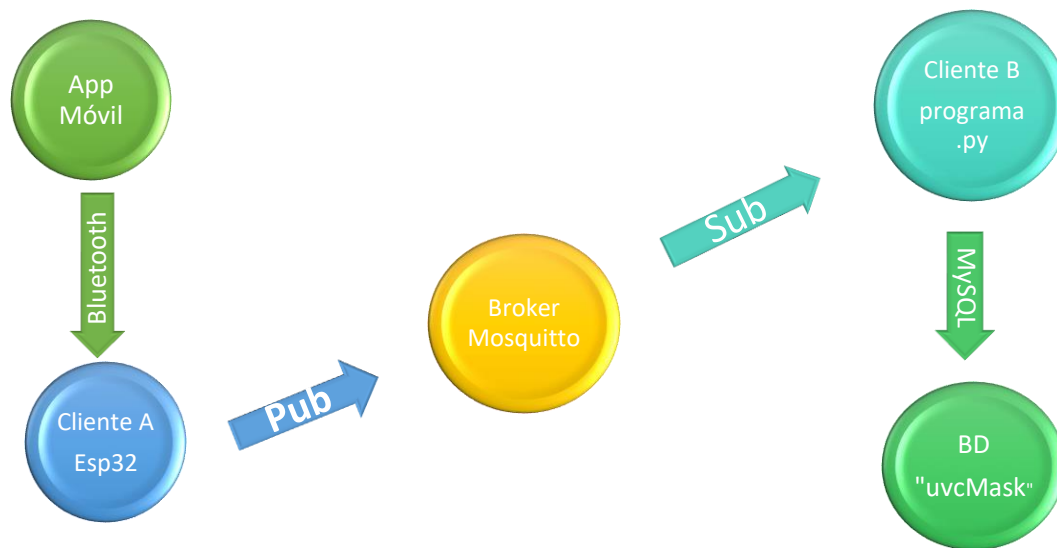
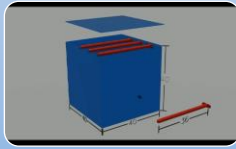


Ilustración 16. Esquema de la arquitectura del dispositivo.

(Kowalski, 2020) (California Department of Public Health, 2020) (Buonanno M. W., 2020) (Herrera, 2020)

6. Metodología y resultados

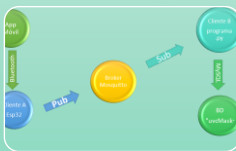
En este capítulo se hace la descripción del procedimiento experimental que se realiza en los dos tipos seleccionados de mascarillas, kn95 y quirúrgica. Se utilizaron 5 mascarillas de cada una. Los pasos generales se encuentran en el siguiente diagrama:



Diseño del dispositivo



Diseño de aplicación móvil



Diseño de comunicación entre el dispositivo y la aplicación

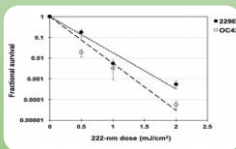
id	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
1	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
2	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
3	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
4	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
5	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
6	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
7	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
8	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
9	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica
10	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica	Quirúrgica

Cliente B registro de datos



Irradiación de la muestra

- Se hacen observaciones antes y después de irradiar



Análisis de datos

- Se determina el impacto en el material filtrante

6.1 Diseño de aplicación móvil

La aplicación móvil se diseñó en App Inventor y por conexión Bluetooth enviara los tiempos de operación a la Esp32; esta publicará estos tiempos con formato json en

el topic “data”, para que el encendido/apagado de la lampara UVC, se controle por medio de Bluetooth. Los tiempos que maneja la aplicación son de 3min y 5 min.

La aplicación también contiene una sección de ayuda, la cual muestra 4 pasos sencillos a seguir para utilizar el dispositivo de radiación UVC.

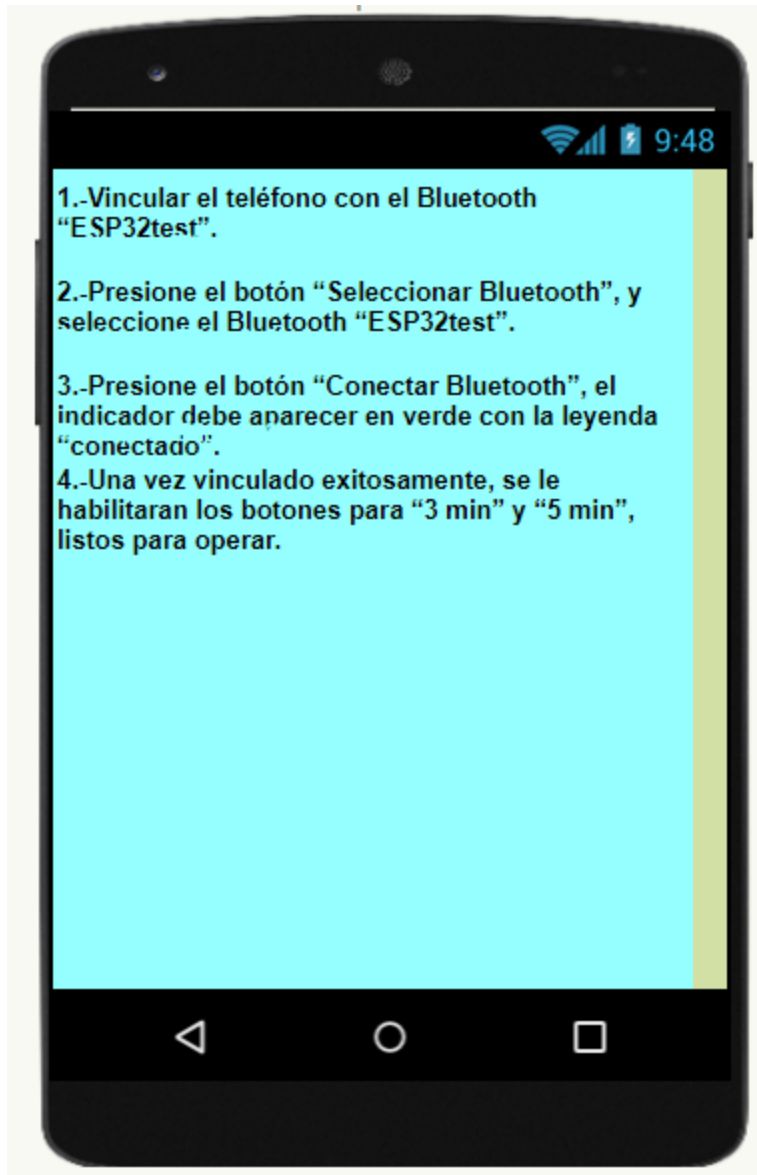


Figura 6. Diseño de Aplicación Móvil, "Sección de Ayuda".



Figura 7. Diseño de Aplicación Móvil, "Sección principal".

Como se observa, la aplicación tiene dos botones uno para un tiempo de operación de 3 minutos y otro botón para un tiempo de operación de 5 minutos; una vez presionado un botón correrá el cronometro de la aplicación y finalizado el tiempo regresará a cero automáticamente. También presionado cualquiera de los dos botones, se mostrará un botón de emergencia para detener el proceso por si el usuario lo requiere.

La programación en App Inventor es por medio de bloques como se muestra en la siguiente imagen.

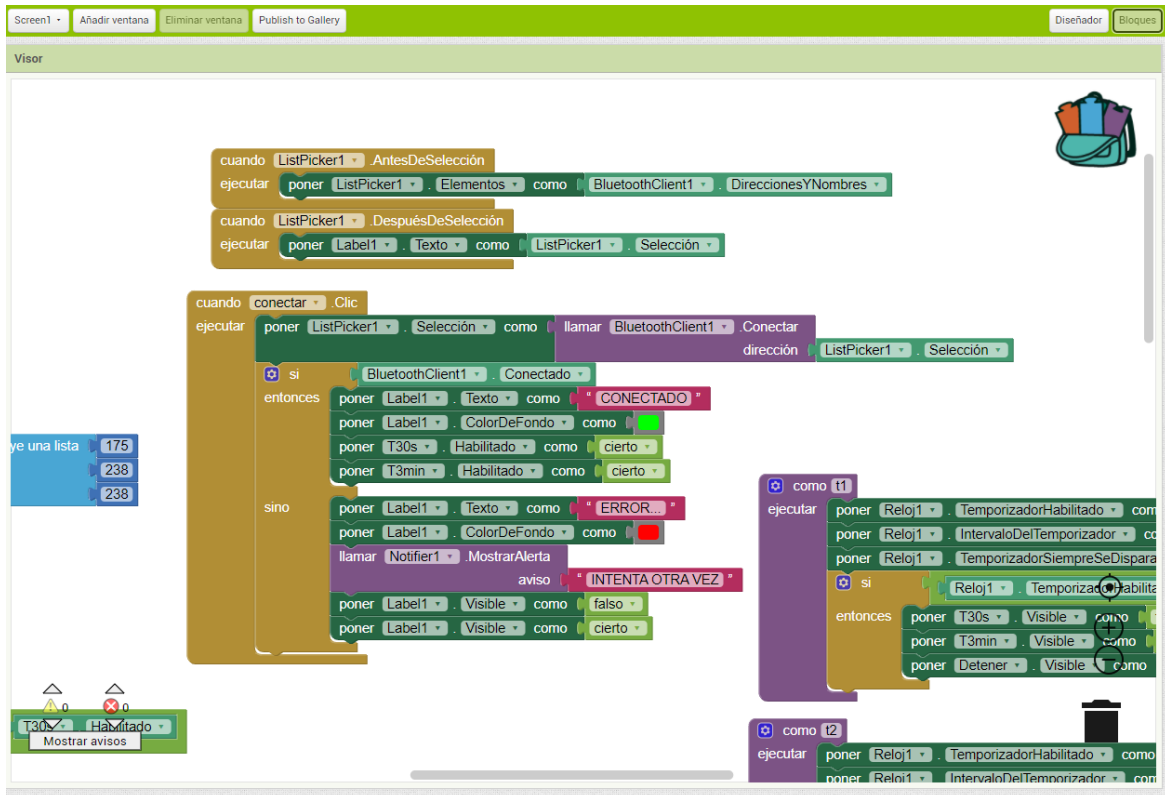


Figura 8. Sección de bloques de la aplicación.

6.2 Diseño de comunicación entre el dispositivo y la aplicación

La Esp32 se programó en “ARDUINO IDE”. Como se mencionó el cliente A, la Esp32, se encarga de encender la lampara UVC, si recibe el carácter “a” o el carácter “b”; para 3 y 5 minutos respectivamente.

```

if (Mensaje == 'a') {
    digitalWrite(Led, LOW);
    Serial.println("Encender Led");}
else if (Mensaje == 'b') {
    digitalWrite(Led, LOW);
    Serial.println("ennncedr Led"); }
else if (Mensaje == '0') {
    digitalWrite(Led, HIGH);
    Serial.println("apagar Led"); }

```

Figura 9. Esp32 código para el carácter “a” o “b” de tiempos.

Como se mencionó la Esp32 también publicara vía MQTT el tiempo seleccionado por la aplicación, con la finalidad de tener un registro experimental.

```
void SerializeObject(String t)
{
    String json;
    StaticJsonDocument<300> doc;
    doc["tiempo"] = t;
    // doc["lampId"] = 1;
    serializeJson(doc, json);
    Serial.println(json);
    client.publish("data", json.c_str());
}
```

Figura 10. Esp32, Función para publicación de tiempos de irradiación.

Cliente B registro de datos

El cliente B siendo suscriptor del topic “data”; que contiene el tiempo de operación, mediante la sentencia `query='INSERT INTO prueba(tiempo,comentarios) VALUES(%s,%s)'`, estará insertando el dato de tiempo y dejará comentarios con valor None, para incluir comentarios después del análisis de resultados.

```
if msg.topic=="data":
    if val[0]=="a" or val[0]=="b":
        cursor.execute(query, values)
        db.commit()
        print(cursor.rowcount, "Registro insertado")
```

Figura 11. Sentencia para recibir el tiempo de irradiación e inserción de datos.

Como se menciona en la sentencia “*query*”, estamos trabajando con una tabla llamada “*prueba*”. Esta tabla contiene 5 columnas: “id, mascara, tiempo, comentarios y fecha”.

El id se utiliza para identificar individualmente cada fila. La columna id es auto incremental, de forma predeterminada, el valor inicial para AUTO_INCREMENT es 1, y se incrementará en 1 para cada nuevo registro.

La columna mascarilla tendrá en su registro, “quirúrgica” y/o “kn95”, dependiendo de las mascarillas que se estén trabajando en ese momento.

La columna comentarios tendrá, los comentarios, observaciones finales después de realizar el análisis de las muestras.

La columna fecha se genera de manera automática en cada registro, incluye fecha y hora exacta de operación del dispositivo de radiación UVC.

id	mascarilla	tiempo a:3 min, b:5 min	comentarios	fecha
1	Quirurgica, Kn95	a		2022-01-12 00:00:00
2	Quirurgica, Kn95	b	Este comentario era nulo	2022-01-22 19:00:51
3	Quirurgica, Kn95	a		NULL 2022-01-22 19:03:13
4	Quirurgica, Kn95	b	prueba	2022-01-22 19:03:17
5	Quirurgica	a		NULL 2022-01-22 19:11:11
6	Quirurgica	b		NULL 2022-01-22 20:28:45
7	Kn95	a		NULL 2022-01-28 21:57:55
8	Kn95	b		NULL 2022-01-28 22:44:44
9	Quirurgica, Kn95	a	Experimento a 2000x 3 minutos:	2022-03-25 19:36:27
10	Quirurgica, Kn95	b	Experimento a 2000x 5 minutos:	2022-03-25 21:10:12
11	Quirurgica, Kn95	a		NULL 2022-04-22 16:27:52

Figura 12. Tabla “prueba” de registro de datos.

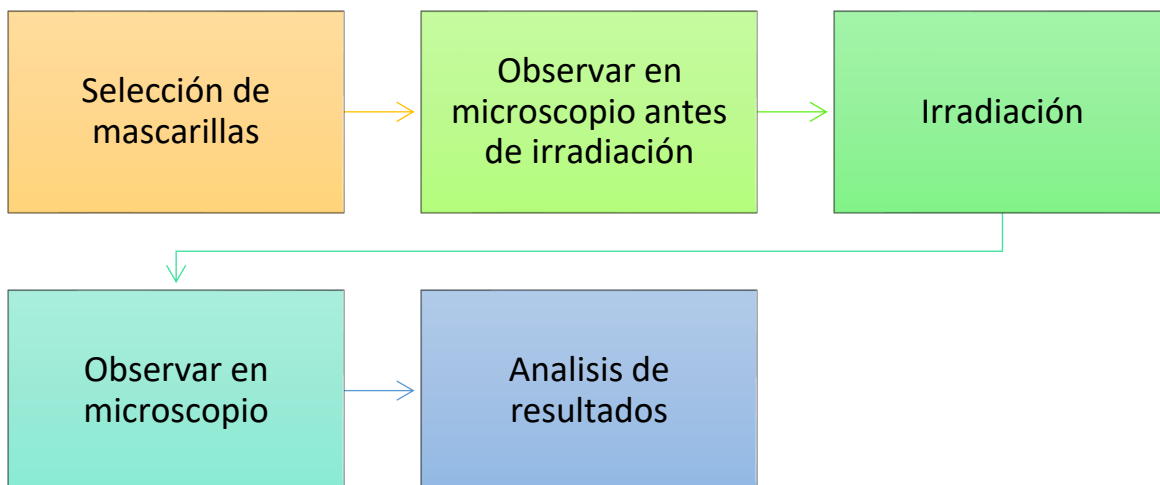
Otra manera de visualizar los datos es con ayuda de la terminal de Linux como se muestra a continuación.

id	maskarilla	tiempo	comentarios	fecha
1	Quirurgica, Kn95	a		2022-01-12 00:00:00
2	Quirurgica, Kn95	b	Este comentario era nulo	2022-01-22 19:00:51
3	Quirurgica, Kn95	a	NULL	2022-01-22 19:03:13
4	Quirurgica, Kn95	b	prueba	2022-01-22 19:03:17
5	Quirurgica	a	NULL	2022-01-22 19:11:11
6	Quirurgica	b	NULL	2022-01-22 20:28:45
7	Kn95	a	NULL	2022-01-28 21:57:55
8	Kn95	b	NULL	2022-01-28 22:44:44
9	Quirurgica, Kn95	a	Experimento a 2000x 3 minutos:	2022-03-25 19:36:27
10	Quirurgica, Kn95	b	Experimento a 2000x 5 minutos:	2022-03-25 21:10:12
11	Quirurgica, Kn95	a	NULL	2022-04-22 16:27:52

Figura 13. Tabla "prueba" de registro de datos, en terminal.

6.3 Experimento 1. Análisis por selección de área

A continuación, podemos ver la estructura general de la metodología empleada para el procedimiento experimental de irradiación de mascarillas y evaluación del impacto sobre el material. Se realizaron dos experimentos para esta investigación, cada experimento se lleva a cabo con la cámara de irradiación mediante la aplicación móvil diseñada.



6.3.1 Selección de muestras

Para observar el efecto la irradiación UVC a 254nm, se seleccionaron 5 mascarillas quirúrgicas y 5 mascarillas KN95 fabricadas bajo el estándar chino GB2626-2019.



Figura 14. Mascarillas Kn95 y Quirúrgicas

6.3.2 Observación en microscopio antes de irradiación.

Cada mascarilla se observó a 500x de aumento en un radio de 2cm aproximadamente de la parte superior de la mascarilla hacia abajo, se selecciona una región en específico para analizar en cada etapa; esta “selección de área” será con base en un área específica de nuestra imagen que llamaremos control, ya que es una muestra o fotografía de la mascarilla antes de irradiar.

Con la finalidad de tener observaciones lo más precisas posible antes y después de irradiar; nos apoyamos de marcas que servirán como guía para tomar imágenes de la misma región después de irradiarse, del total de las 10 mascarillas se tomaron 15 fotos de cada una, enumerando del 1 al 5 las mascarillas quirúrgicas y 1 al 5 las mascarillas Kn95 para tener referencia de muestra.

Se utilizo un microscopio genérico wifi digital con cámara integrada de 5 Mpx.



Ilustración 17. Microscopio Digital Wifi

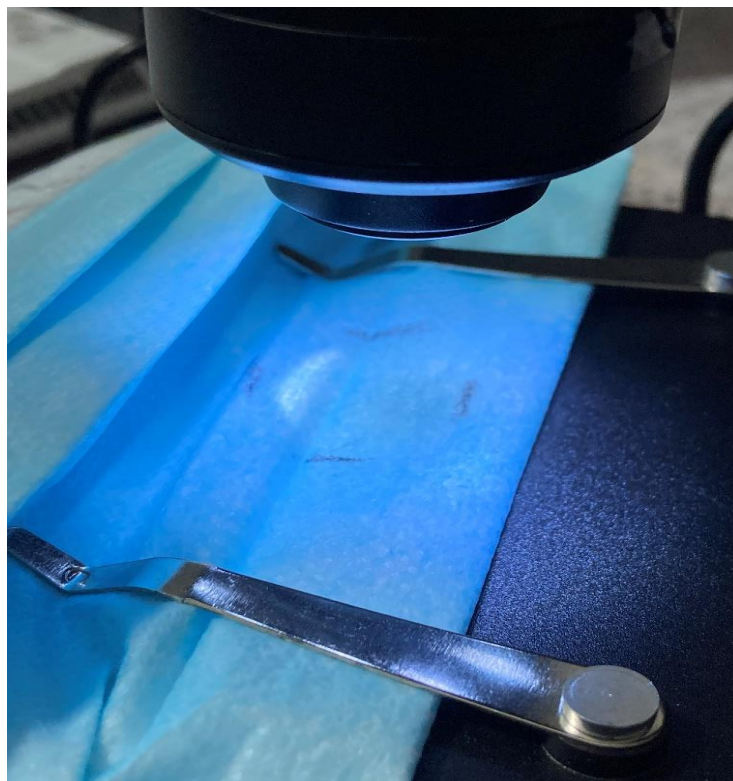


Figura 15. Mascarilla quirúrgica antes de irradiar y selección de área.



Figura 16. Mascarilla Kn95 antes de irradiar y selección de área.

6.3.3 Irradiación y Observar en microscopio después de irradiación.

Cada muestra se expuso durante 3 minutos, se observó, tomó fotografía y después se expuso durante 5 minutos, luego se observó nuevamente y se tomó fotografía. Todas las muestras se procesaron de la misma forma para este primer experimento.

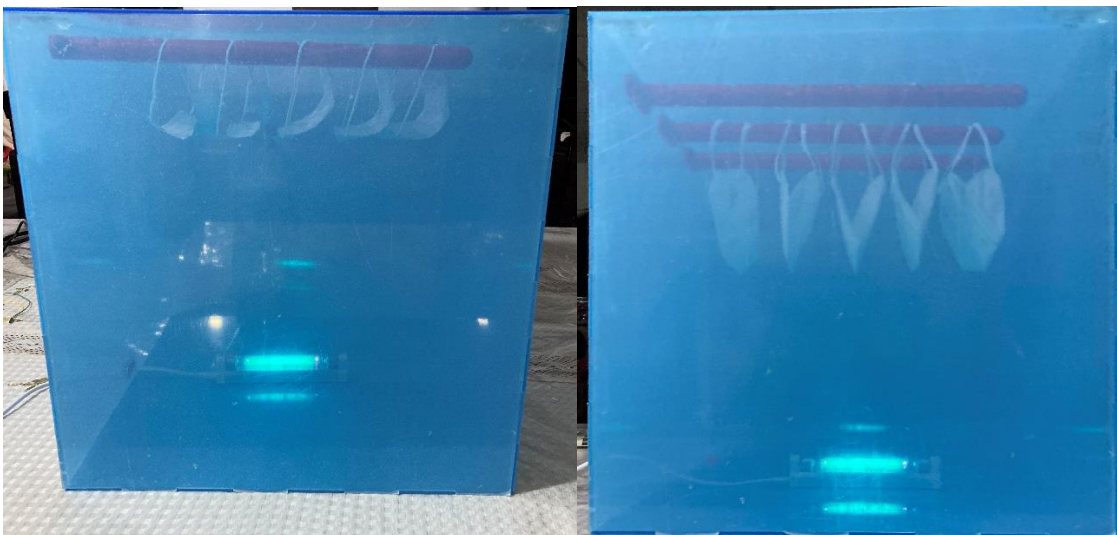


Figura 17. Irradiando Mascarillas Quirúrgicas (izquierda) y Mascarillas Kn95 (derecha)

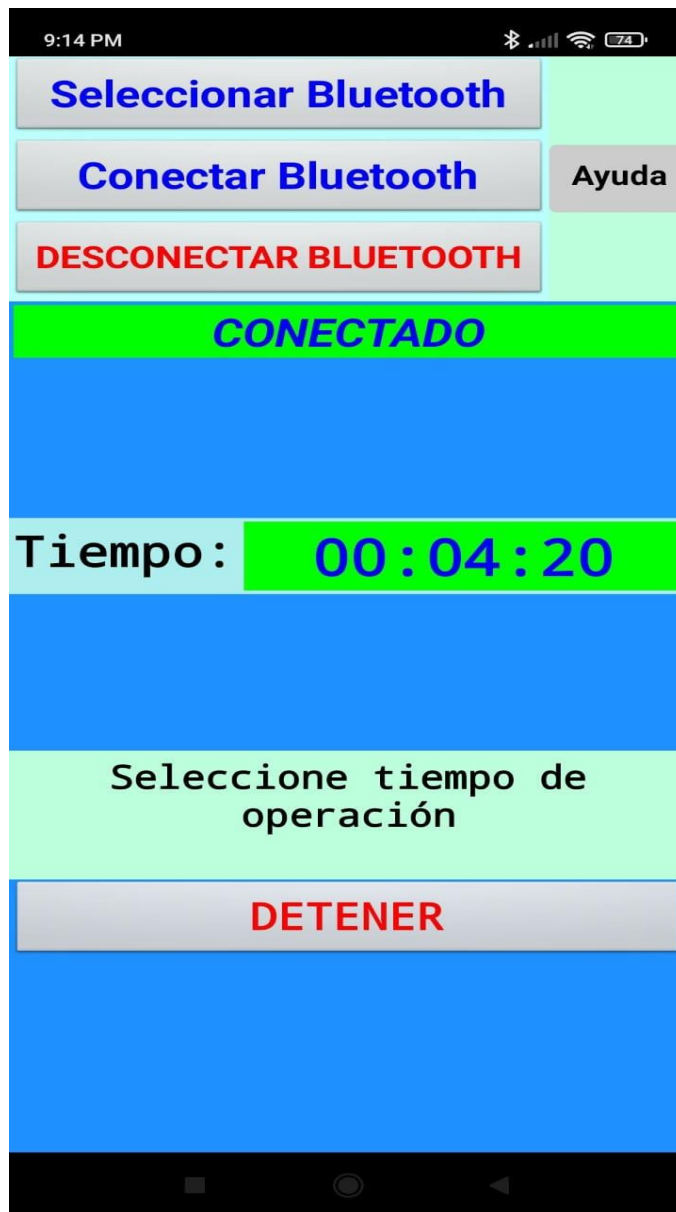


Figura 18. Aplicación móvil operando y cronometro tomando tiempo para 5min.

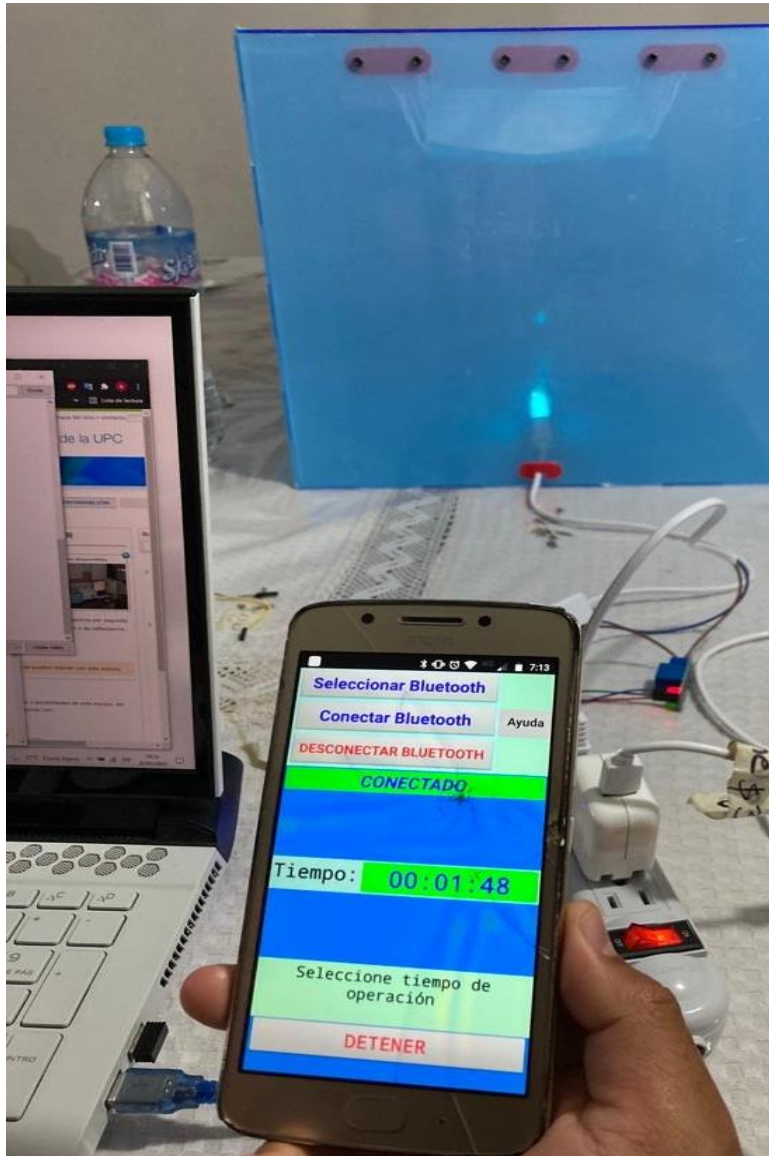


Figura 19. Dispositivo de irradiación en funcionamiento.

6.4.4 Análisis de resultados

Una vez terminadas las 10 pruebas y teniendo las fotos de ambas mascarillas antes de irradiar, a 3 minutos de irradiación y a 5 minutos de irradiación se tiene un total de 30 imágenes.

Imágenes de las 5 mascarillas quirúrgicas a continuación:

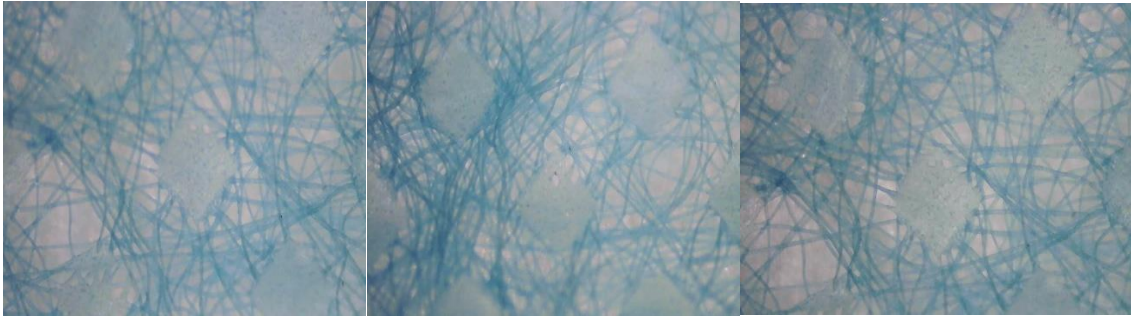


Figura 20. Muestra 1, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.

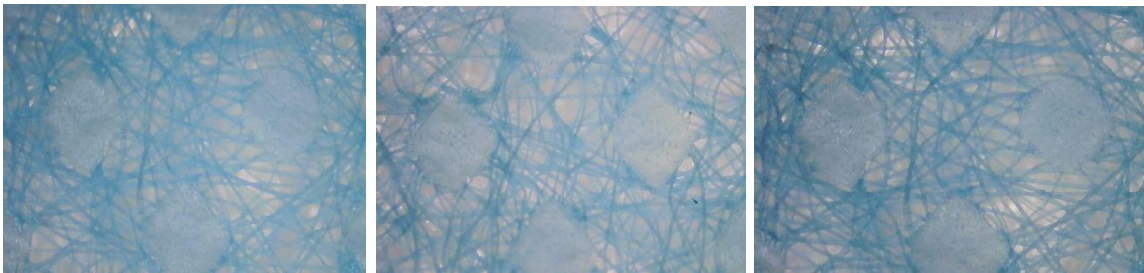


Figura 21. Muestra 2, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.

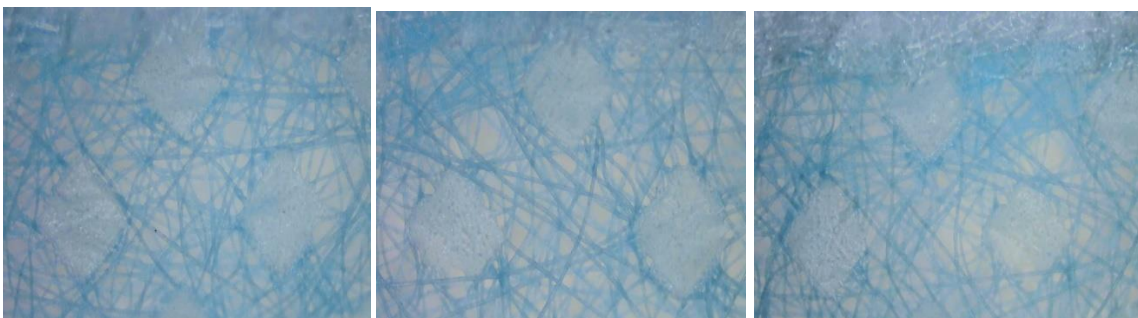


Figura 22. Muestra 3, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.

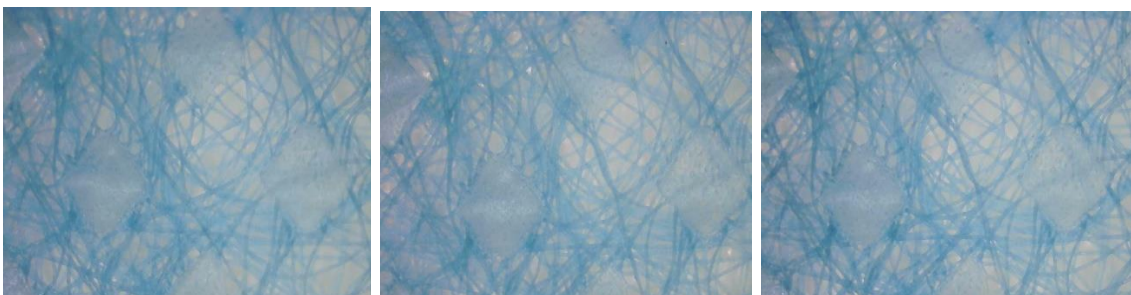


Figura 23. Muestra 4, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.

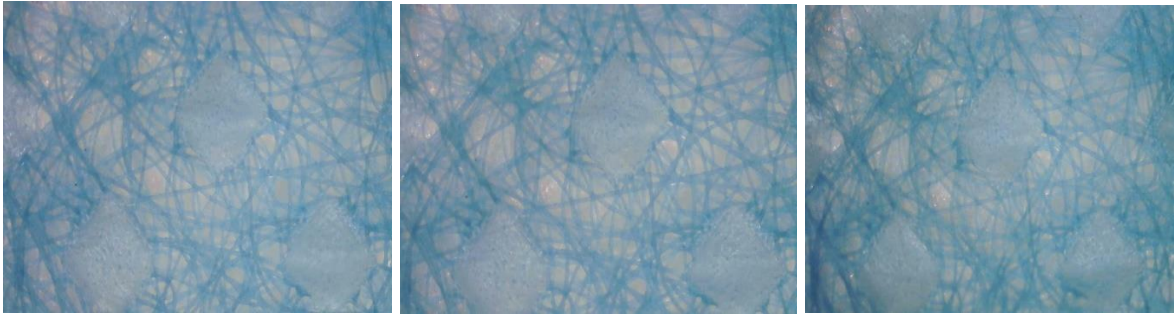


Figura 24. Muestra 5, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.

Imágenes de las 5 mascarillas Kn95 a continuación:

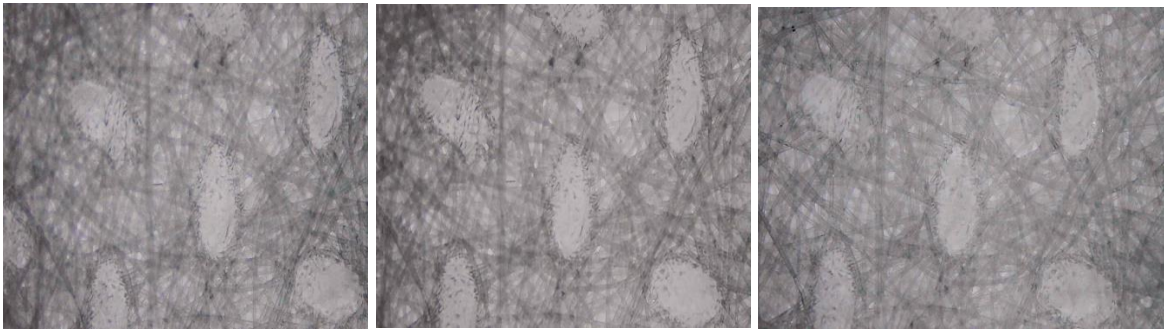


Figura 25. Muestra 1, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.



Figura 26. Muestra 2, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.

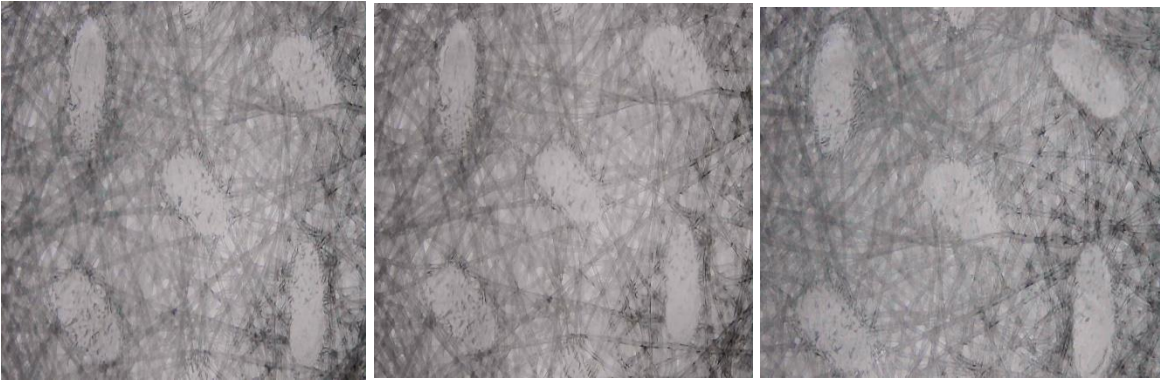


Figura 27. Muestra 3, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.

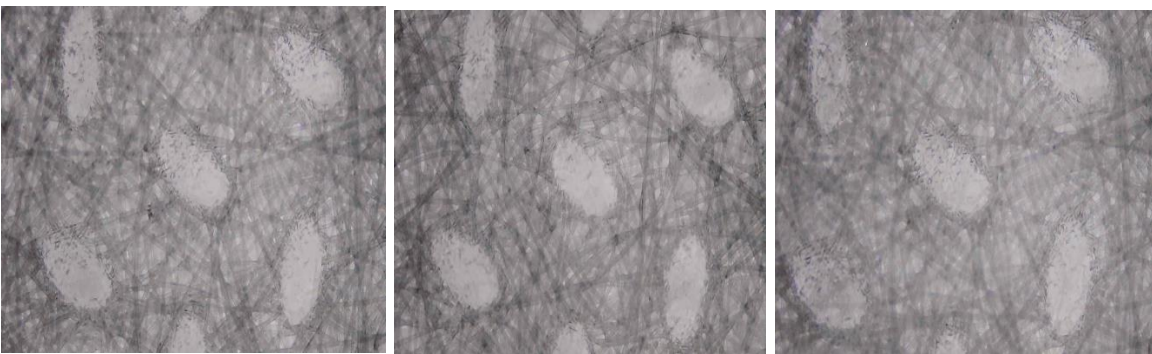


Figura 28. Muestra 4, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.

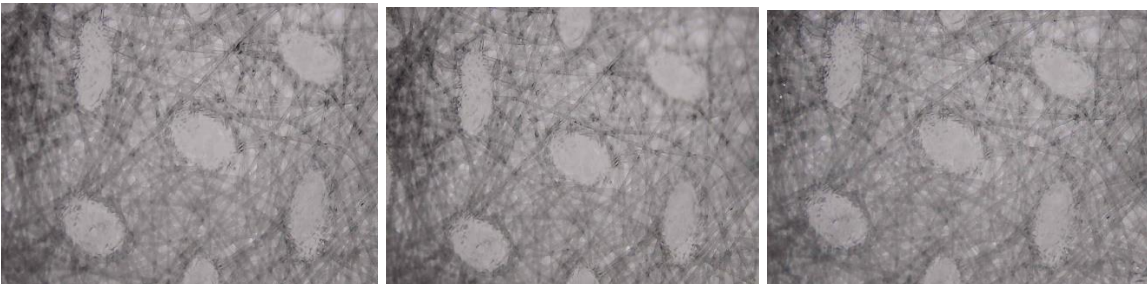


Figura 29. Muestra 5, Control de izquierda a derecha primera imagen, a 3min de izquierda a derecha segunda imagen y a 5 min de izquierda a derecha tercera imagen.

Visualmente no se observan anomalías en la integridad del material de las mascarillas, Sin embargo, para determinar el posible impacto integral de la radiación UVC en el material de las mascarillas, es necesario utilizar algún método de microscopía con la finalidad de hacer visibles detalles que a simple vista no se perciben.

Métricas de similitud

Utilizando la función de OpenCV **compareHist** podemos obtener un parámetro numérico que exprese qué tan bien coinciden dos histogramas entre sí.

- Para comparar dos histogramas (H_1 y H_2) y obtener ($d(H_1, H_2)$), para expresar qué tan bien coinciden ambos histogramas, utilizaremos la métrica de correlación (**CV_COMP_CORREL**)

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum_I (H_1(I) - \overline{H_1})(H_2(I) - \overline{H_2})}{\sqrt{\sum_I (H_1(I) - \overline{H_1})^2 \sum_I (H_2(I) - \overline{H_2})^2}} \quad (2)$$

Donde:

$$\overline{H_k} = \frac{1}{N} \sum_J H_k(J) \quad (3)$$

Y N es un número total de bins de histograma.

El programa utilizado para obtener la correlación viene en la documentación de OpenCV (OpenCV, 2022).

¿Qué hace este programa?

- Carga una imagen base y 2 imágenes de prueba para comparar con ella.
- Convierte las imágenes a formato HSV
- Calcula el histograma H-S para todas las imágenes y las normaliza para compararlas.
- Compare el histograma de la imagen base con respecto a los 2 histogramas de prueba y con el mismo histograma de la imagen base.
- Mostrar los parámetros numéricos de coincidencia obtenidos.

```
hist_base = cv.calcHist([hsv_base], channels, None, histSize, ranges, accumulate=False)
cv.normalize(hist_base, hist_base, alpha=0, beta=1, norm_type=cv.NORM_MINMAX)

hist_half_down = cv.calcHist([hsv_half_down], channels, None, histSize, ranges, accumulate=False)
cv.normalize(hist_half_down, hist_half_down, alpha=0, beta=1, norm_type=cv.NORM_MINMAX)

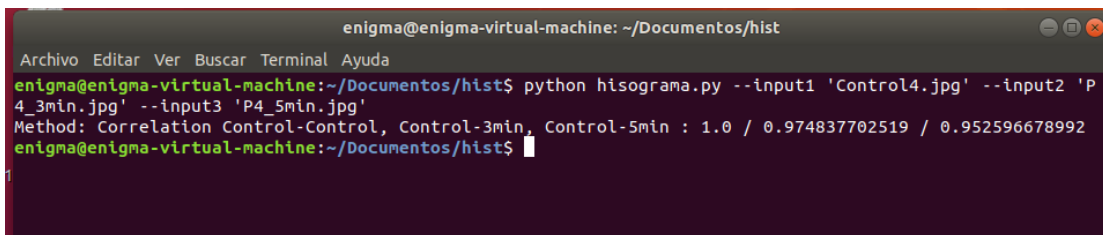
hist_test1 = cv.calcHist([hsv_test1], channels, None, histSize, ranges, accumulate=False)
cv.normalize(hist_test1, hist_test1, alpha=0, beta=1, norm_type=cv.NORM_MINMAX)

hist_test2 = cv.calcHist([hsv_test2], channels, None, histSize, ranges, accumulate=False)
cv.normalize(hist_test2, hist_test2, alpha=0, beta=1, norm_type=cv.NORM_MINMAX)
```

Figura 30. Cálculo de los histogramas para la imagen base y las 2 imágenes de prueba.

Una vez copiado el programa y ejecutado obtenemos las correlaciones de las 30 imágenes.

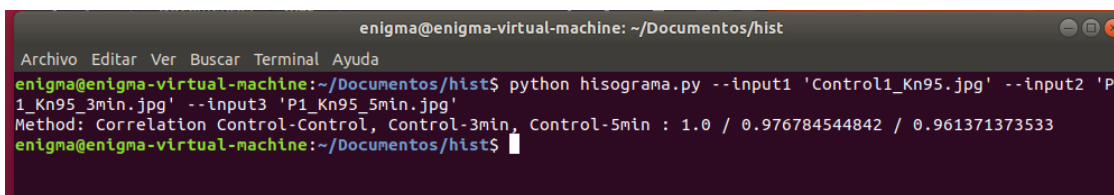
A continuación, se observa las correlaciones de la prueba 4 mascarilla quirúrgica, en la terminal se imprime la correlación control-control que obviamente es 1, después correlación control-3min de 0.9748 y correlación control-5min de 0.9526. El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a $+1$. Mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, de acuerdo con su propia definición estadística, más fuerte será la relación entre las variables. Para la correlación, un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Dado que los resultados obtenidos están entre 0.5 y 1, entran dentro de la categoría de correlaciones “Fuertes”; es decir cercanas a 1, para esta prueba tenemos buenos resultados de coincidencia. Además, el resultado positivo indica que la relación también es positiva, lo cuál es congruente con la expectativa de que no haya cambios importantes durante la toma de imágenes que formen puntos de luz u oscuridad diferentes en cada observación.



```
enigma@enigma-virtual-machine: ~/Documentos/hist
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
enigma@enigma-virtual-machine:~/Documentos/hist$ python hisograma.py --input1 'Control4.jpg' --input2 'P4_3min.jpg' --input3 'P4_5min.jpg'
Method: Correlation Control-Control, Control-3min, Control-5min : 1.0 / 0.974837702519 / 0.952596678992
enigma@enigma-virtual-machine:~/Documentos/hist$
```

Figura 31. Correlaciones de la prueba 4 mascarilla quirúrgica.

De la misma manera se obtuvieron las correlaciones de las mascarillas Kn95, a continuación, se muestra la impresión en terminal para la prueba 1.



```
enigma@enigma-virtual-machine: ~/Documentos/hist
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
enigma@enigma-virtual-machine:~/Documentos/hist$ python hisograma.py --input1 'Control1_Kn95.jpg' --input2 'P1_Kn95_3min.jpg' --input3 'P1_Kn95_5min.jpg'
Method: Correlation Control-Control, Control-3min, Control-5min : 1.0 / 0.976784544842 / 0.961371373533
enigma@enigma-virtual-machine:~/Documentos/hist$
```

Figura 32. Correlaciones de la prueba 1 mascarilla Kn95.

Como se observa las correlaciones de la prueba 1 Kn95 a 3min son de .98 y a 5min 0.96; para esta prueba se tienen nuevamente correlaciones fuertes. Así se obtuvieron las 30 correlaciones y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6. Tabla de 30 correlaciones de las 30 imágenes del experimento 1.

		Método de correlación.	
		Quirúrgica	
Prueba	Control-Control	Control-3min	Control-5min
1	1.0	0.90	0.80
2	1.0	0.79	0.92
3	1.0	0.95	0.92
4	1.0	0.97	0.95
5	1.0	0.97	0.65
inician Mascarillas Kn95			
1	1.0	0.98	0.96
2	1.0	0.98	0.86
3	1.0	0.97	0.78
4	1.0	1.00	1.00
5	1.0	1.00	0.99

Como se puede observar para el caso de las mascarillas quirúrgicas se tiene una correlación de 0.79 y 0.65, para la prueba 2 a 3 min y 5 a 5 min respectivamente; esto se debe a condiciones de iluminación al momento de obtener las fotos, estas condiciones de iluminación se platican en la prueba que se hizo en la documentación de OpenCV mencionada; donde explican cómo afecta y se obtiene correlaciones nulas prácticamente.

Además, un factor que pudo afectar que el programa no reconociera como casi idéntica las imágenes, es que las mascarillas quirúrgicas son más sensibles al tacto y estar manipulando su posición en el microscopio hace variar el área de interés, en este caso “obtener nuevamente la imagen en la misma posición que antes de irradiar”, lo que puede derivar a que el programa interprete que son imágenes diferentes.

Como se observa en la siguiente imagen la manipulación de las mascarillas quirúrgicas es más difícil a diferencia de las mascarillas Kn95 que son más gruesas en su estructura. Este fue uno de los principales retos del experimento 1.



Figura 33. Comparativa de manipulación de mascarilla quirúrgica y Kn95 para obtener fotografías.

Como se mencionó las mascarillas Kn95 fueron más fáciles de trabajar, y como se observa en la tabla de correlaciones se obtuvieron muy buenos resultados, tal es el caso de la prueba 4 Kn95, que las correlaciones son de 1, lo que se entiende que se trata de la misma imagen y no se vio afectada por la radiación UVC. También el caso de la prueba 5 Kn95 que prácticamente las correlaciones son 1.

Ahora bien, para interpretar estos dos conjuntos de datos (mascarillas quirúrgicas y K95) como uno solo, se recurre a un método estadístico.

6.4 Experimento 2. Análisis de diámetro de las fibras

6.4.1 Selección de muestras

Para observar el efecto la irradiación UVC a 254nm, se seleccionaron 3 mascarillas quirúrgicas y 3 mascarillas KN95 fabricadas bajo el estándar chino GB2626-2019.



Figura 34. Mascarillas Kn95 y Quirúrgicas, experimento 2.

Nuevamente todas las mascarillas son nuevas, se enumeran para este experimento del 1 al 3 las mascarillas quirúrgicas y del 1 al 3 las mascarillas Kn95, para tener la referencia de prueba.

6.4.2 Observación en microscopio antes de irradiación.

Para el análisis de diámetro de las fibras, se usaron 3 mascarillas de cada tipo y se observaron a 2000x de ampliación antes y después de irradiar.

A diferencia del experimento anterior, las fotografías tomadas pueden ser de cualquier parte de la mascarilla ya que ahora solo importa observar las fibras de cada mascarilla y detectar un posible cambio en su diámetro.

Se tomaron diferentes fotos para al momento de analizar, elegir las de mejor calidad, no perder de vista que el microscopio es genérico y por tanto la calidad de las imágenes no son como las que te entrega un microscopio electrónico (SEM).

A continuación, se muestran algunas fotografías tomadas a las mascarillas Quirúrgicas y Kn95 antes de irradiar.

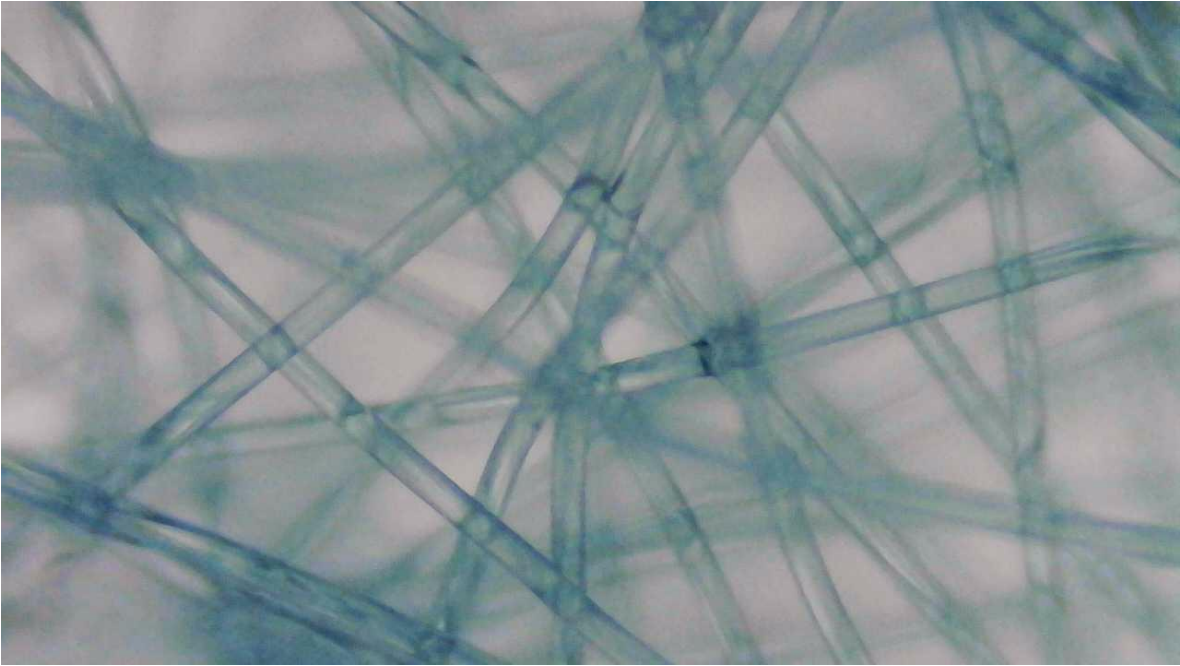


Figura 35. Fibras de prueba 1 mascarilla quirúrgica a 2000x antes de irradiar.

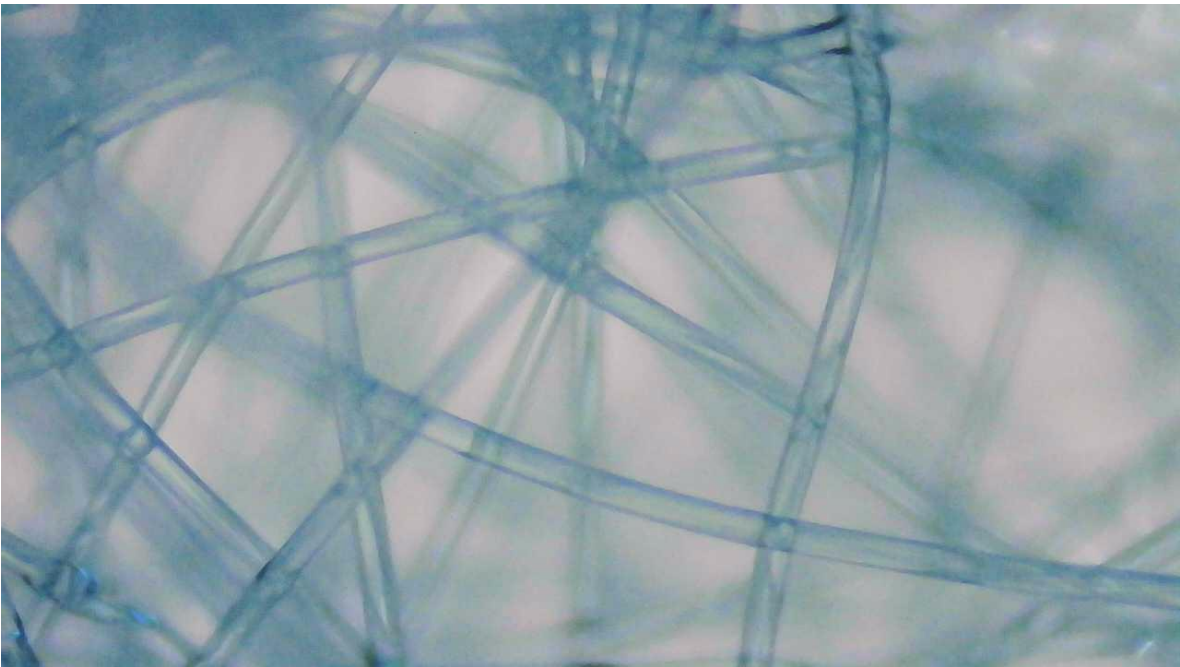


Figura 36. Fibras de prueba 2 mascarilla quirúrgica a 2000x antes de irradiar,

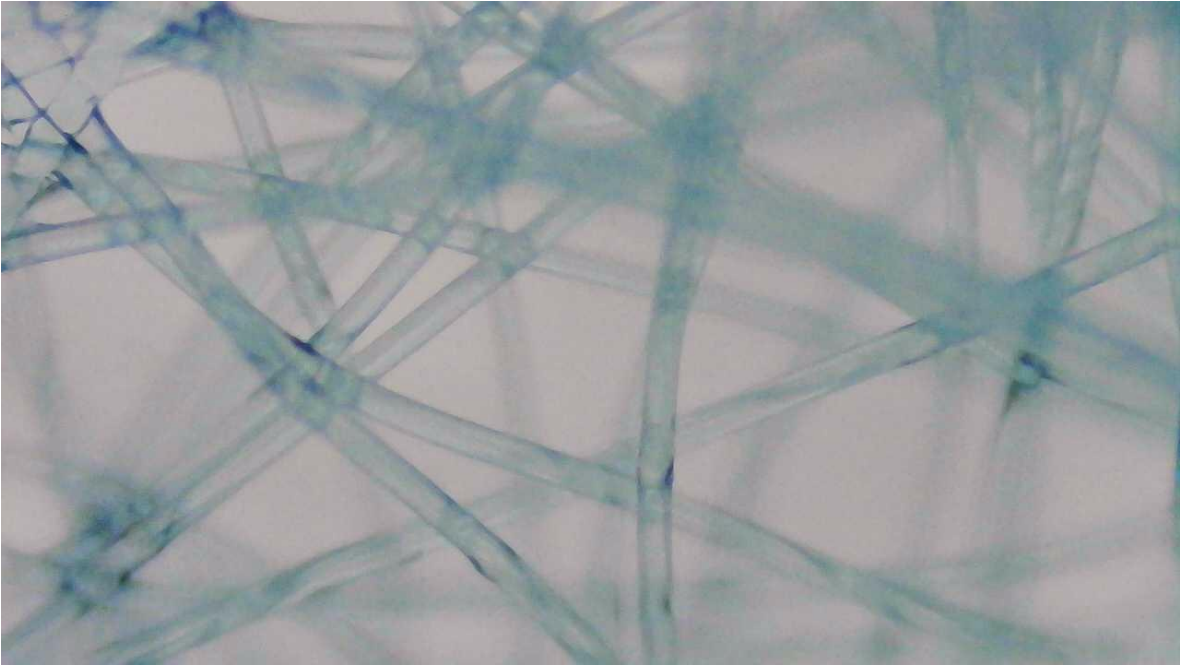


Figura 37. Fibras de prueba 3 mascarilla quirúrgica a 2000x antes de irradiar.

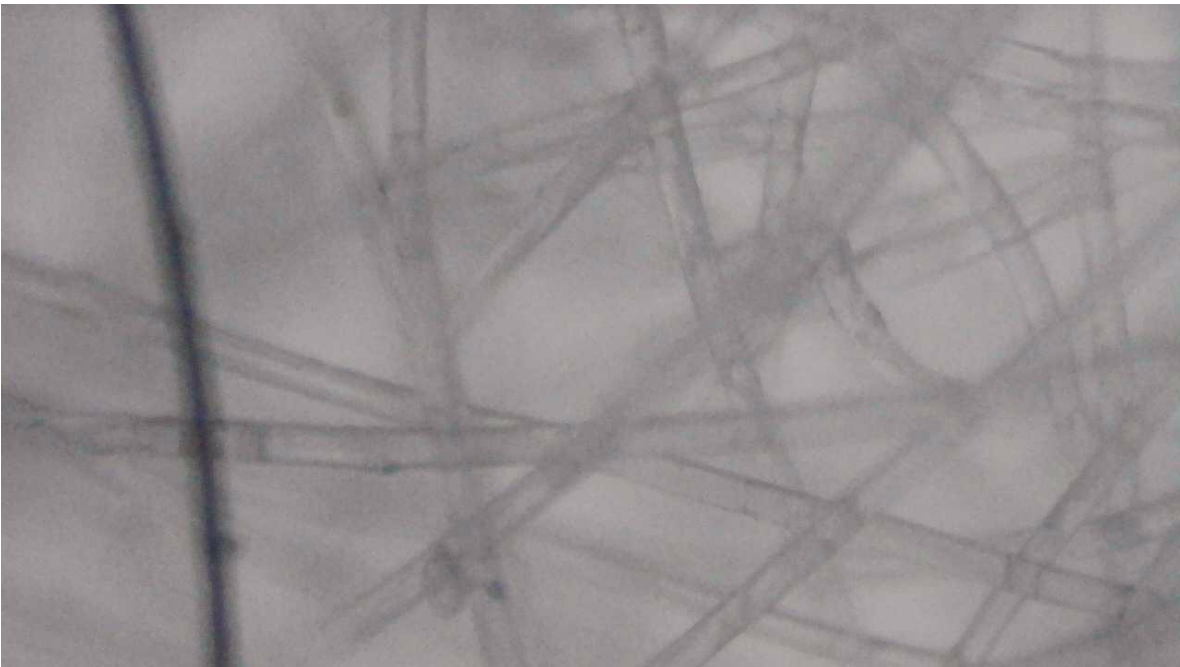


Figura 38. Fibras de prueba 1 mascarilla Kn95 a 2000x antes de irradiar.

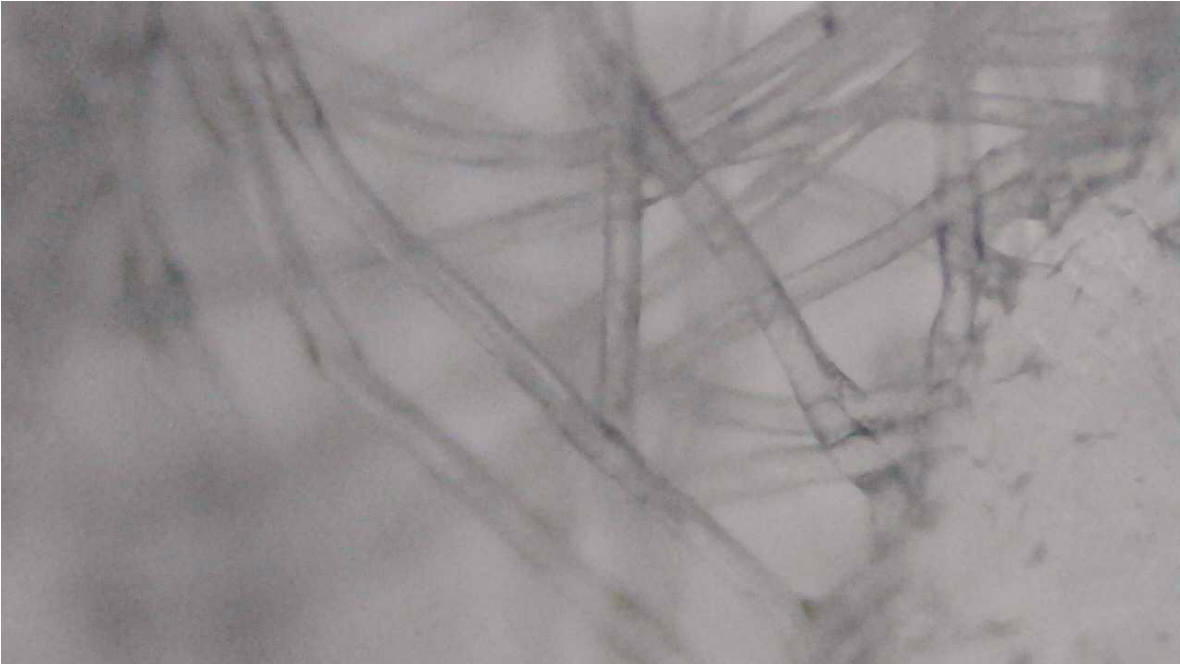


Figura 39. Fibras de prueba 2 mascarilla Kn95 a 2000x antes de irradiar.

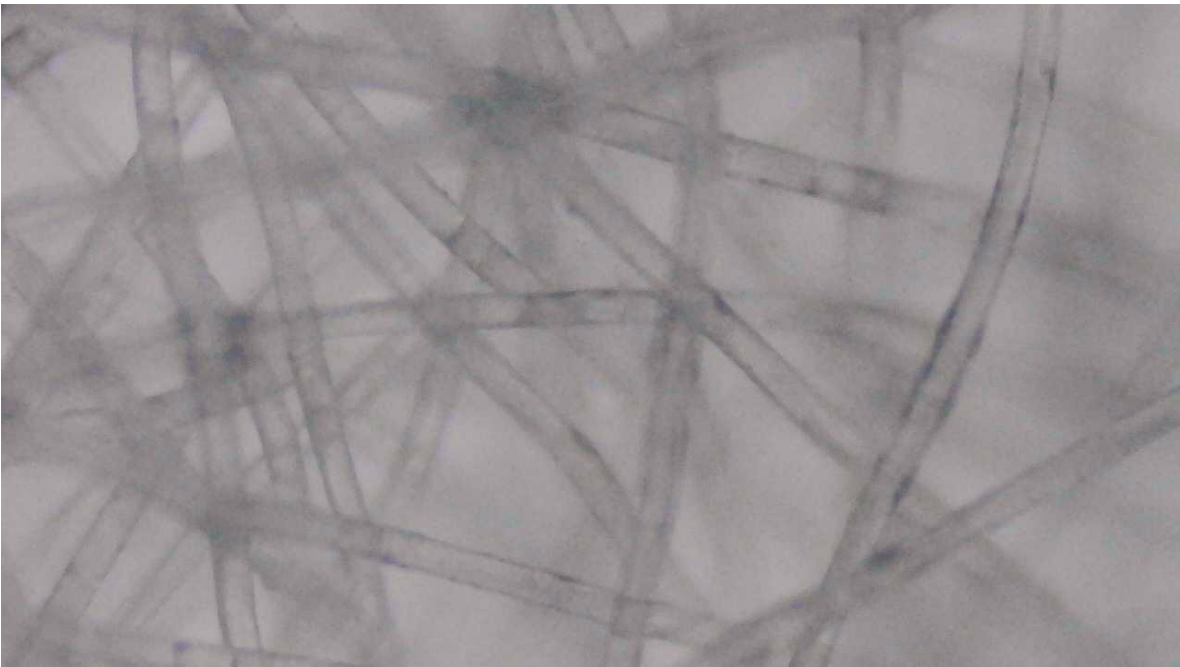


Figura 40. Fibras de prueba 3 mascarilla Kn95 a 2000x antes de irradiar.

6.4.3 Irradiación y Observación en microscopio después de irradiación.

Cada muestra se expuso durante 3 minutos, se observó a 2000x y después se expuso durante 5 minutos, luego se observó nuevamente. Todas las muestras se procesaron de la misma forma.

La colocación de muestras para irradiar se muestra en la siguiente imagen

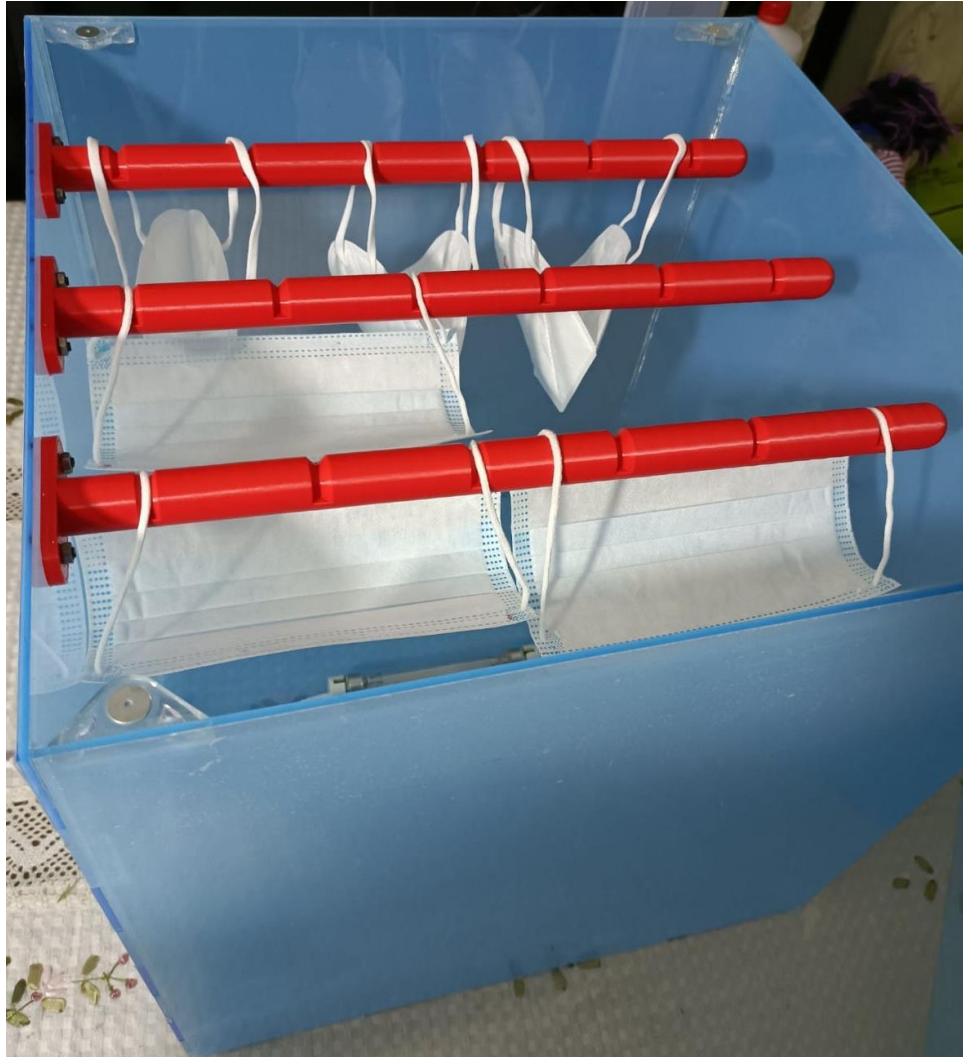


Figura 41. Colocación de mascarillas quirúrgicas y Kn95 antes de irradiar.



Figura 42. Irradiando mascarillas quirúrgicas y Kn95.

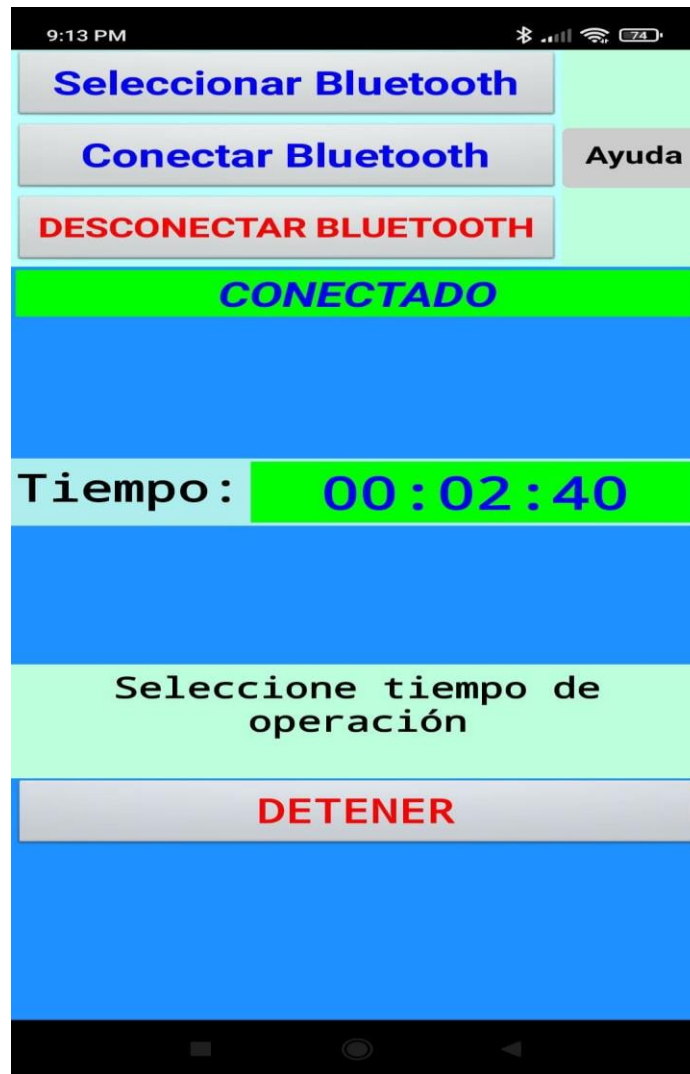


Figura 43. Aplicación móvil a punto de terminar ciclo de 3min.

Una vez irradiadas las mascarillas a 3min y 5min, se tomaron varias fotos de cada mascarilla para su análisis. A continuación, se muestran algunas imágenes de cada prueba y de cada tiempo.

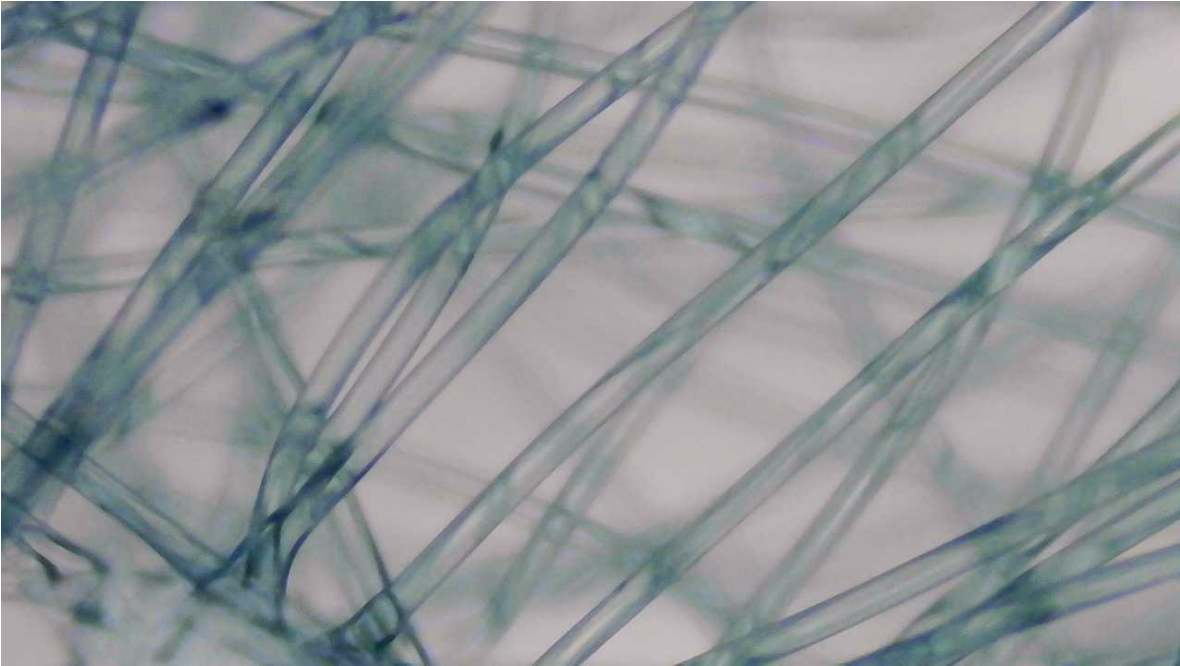


Figura 44. Fibras de prueba 1 mascarilla quirúrgica a 3min de irradiación.

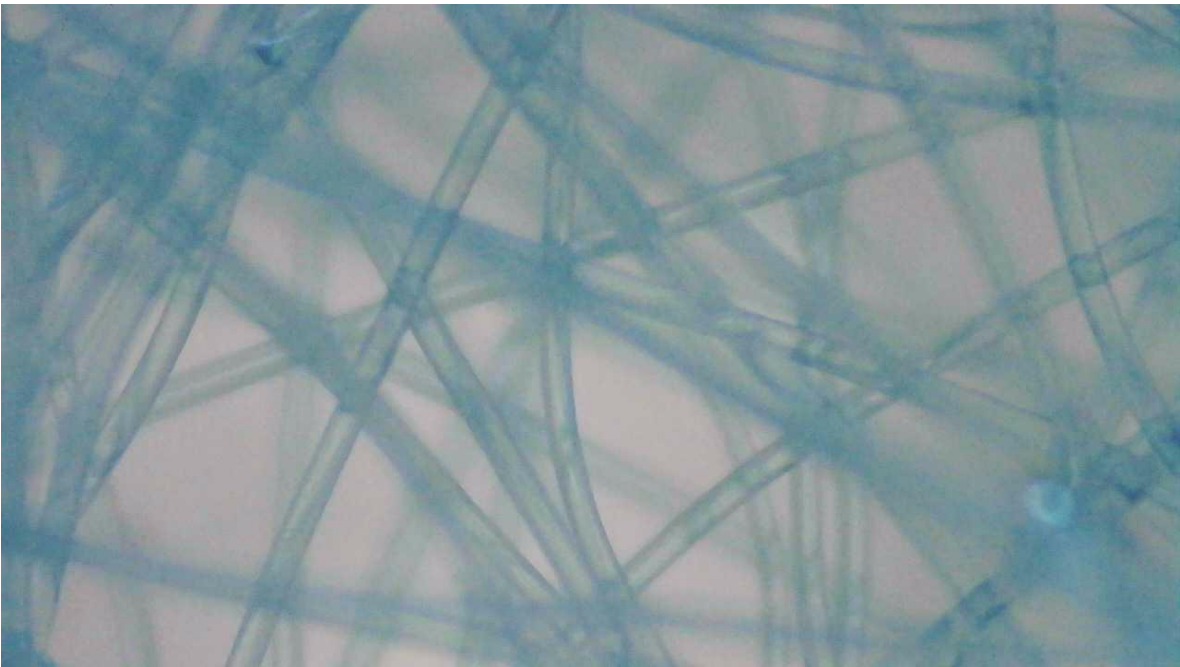


Figura 45. Fibras de prueba 1 mascarilla quirúrgica a 5min de irradiación.

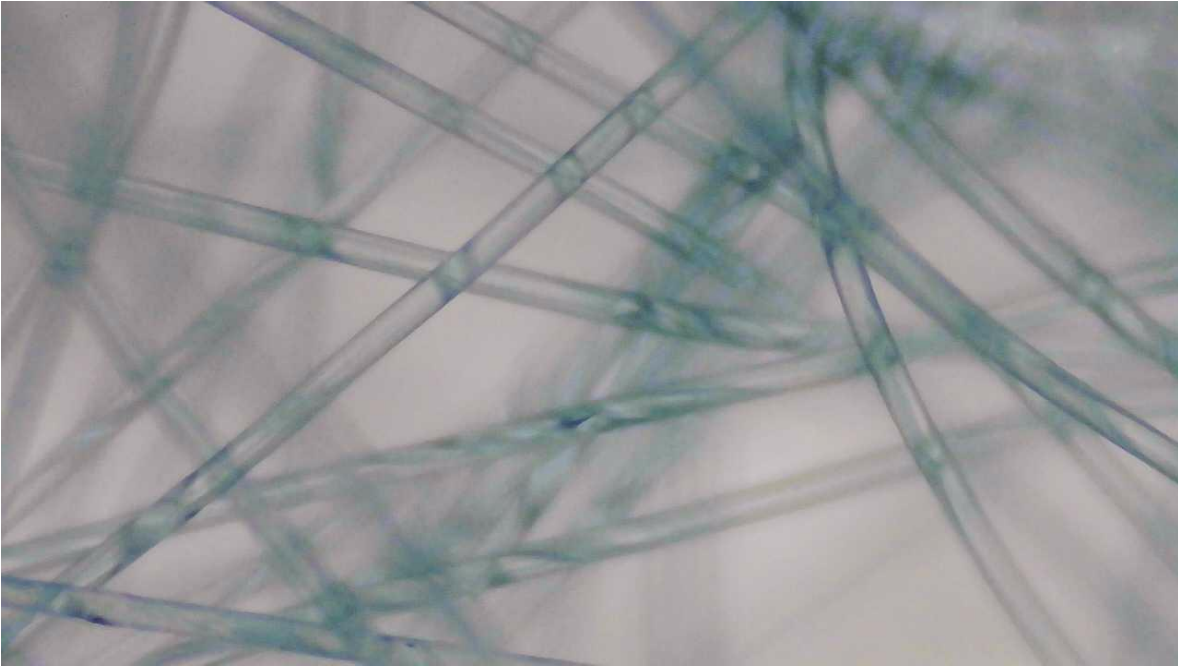


Figura 46. Fibras de prueba 2 mascarilla quirúrgica a 3min de irradiación.

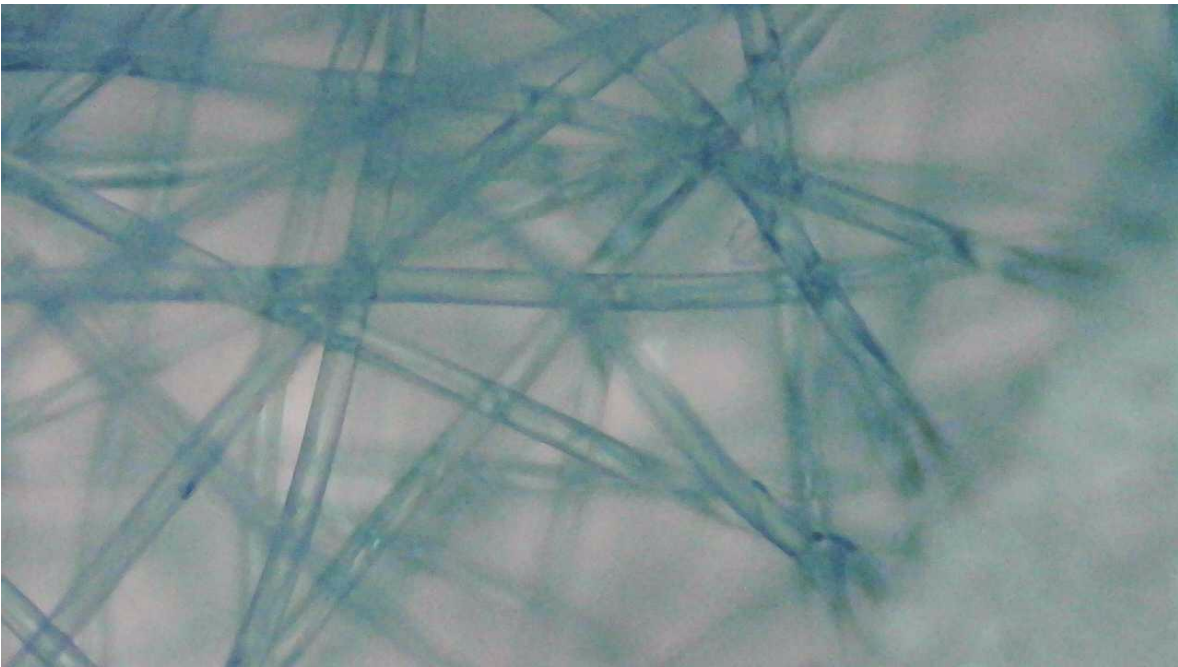


Figura 47. Fibras de prueba 2 mascarilla quirúrgica a 5min de irradiación.

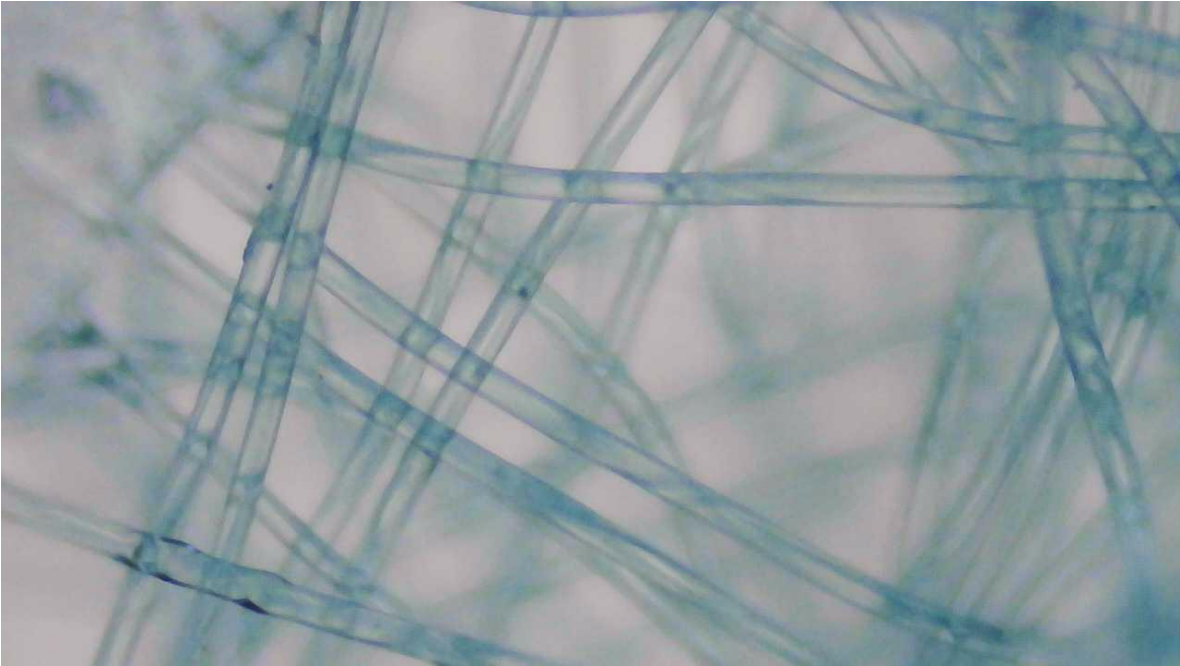


Figura 48. Fibras de prueba 3 mascarilla quirúrgica a 3min de irradiación.

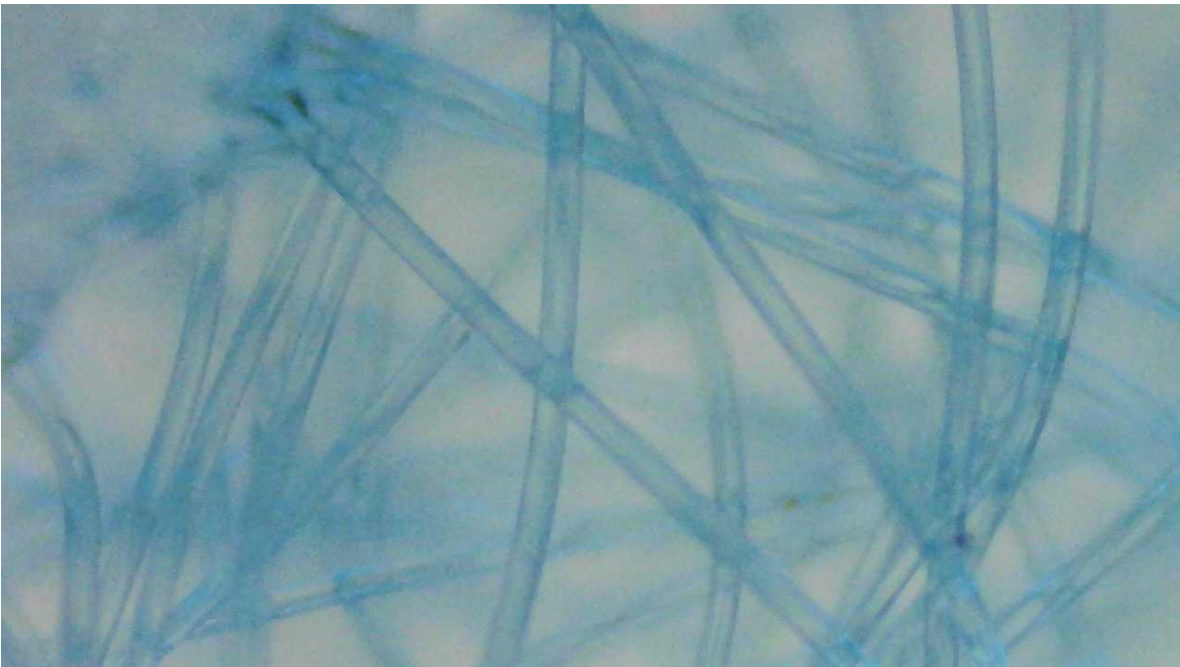


Figura 49. Fibras de prueba 3 mascarilla quirúrgica a 5min de irradiación.

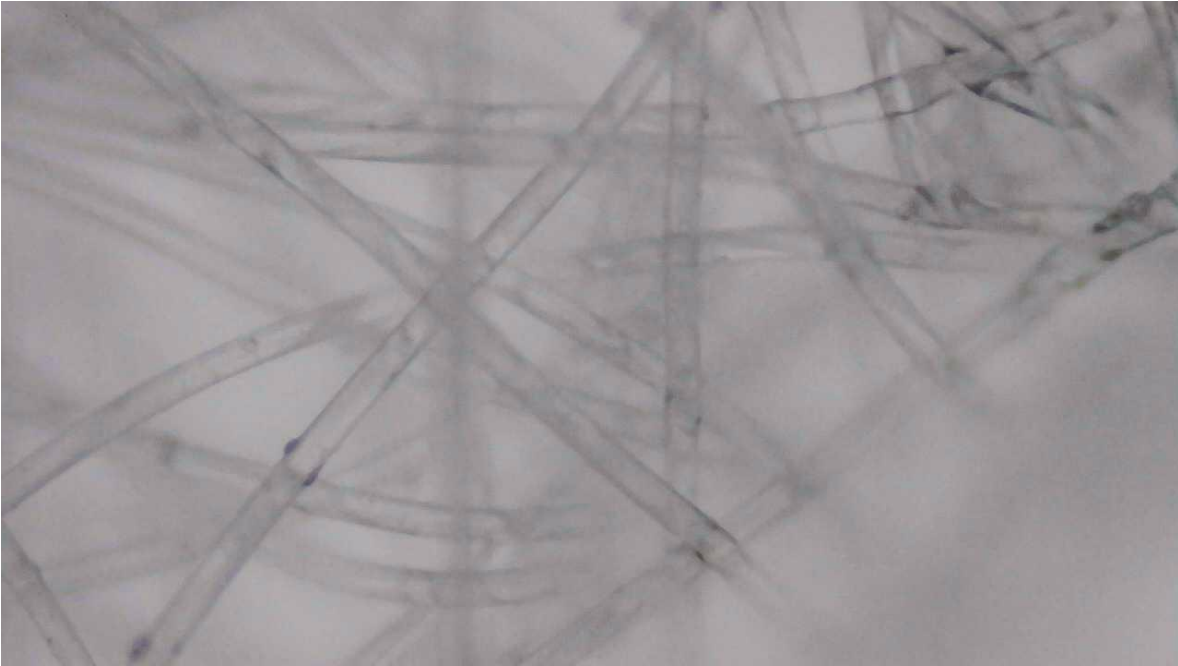


Figura 50. Fibras de prueba 1 mascarilla Kn95 a 3min de irradiación.

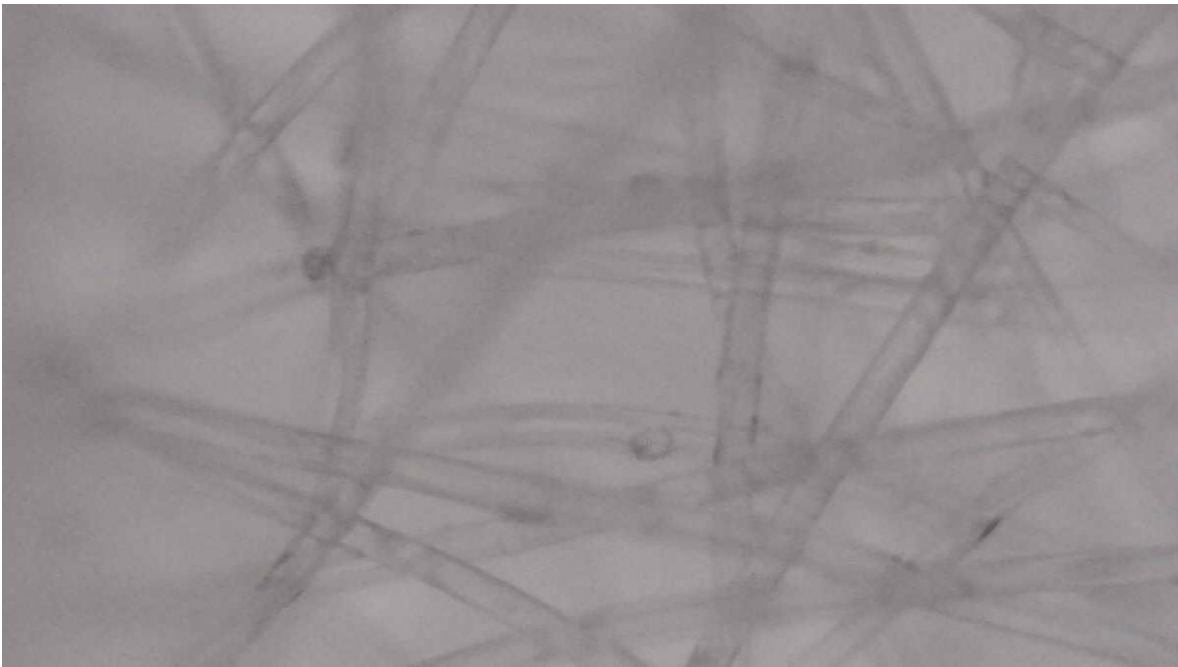


Figura 51. Fibras de prueba 1 mascarilla Kn95 a 5min de irradiación.

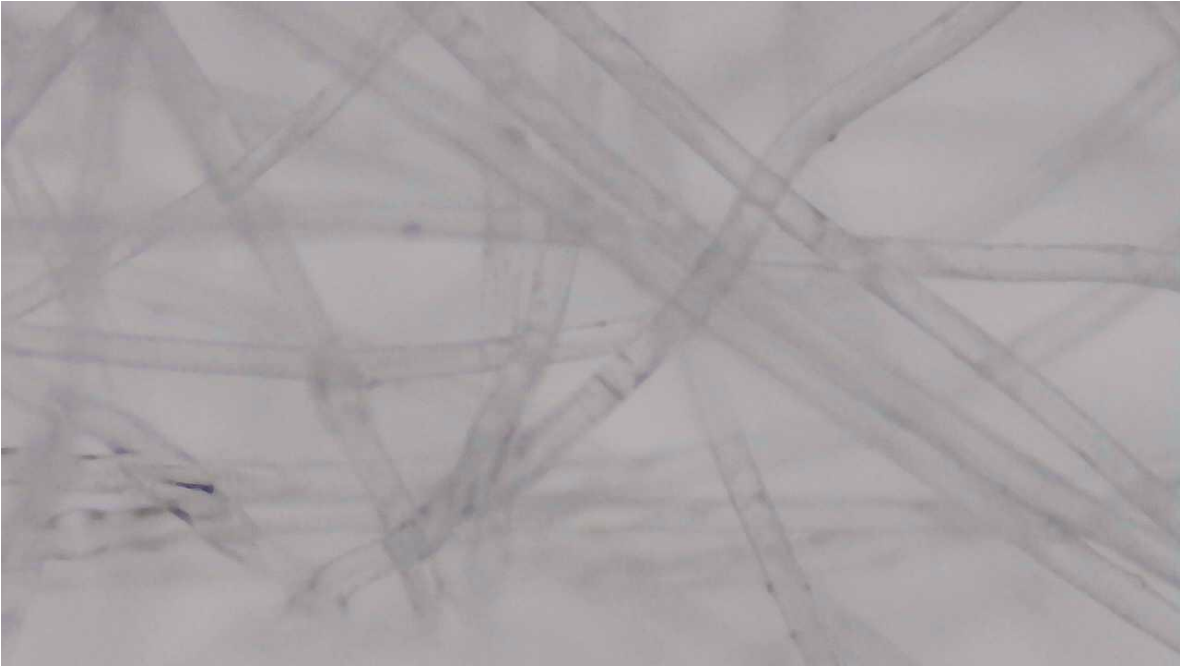


Figura 52. Fibras de prueba 2 mascarilla Kn95 a 3min de irradiación.

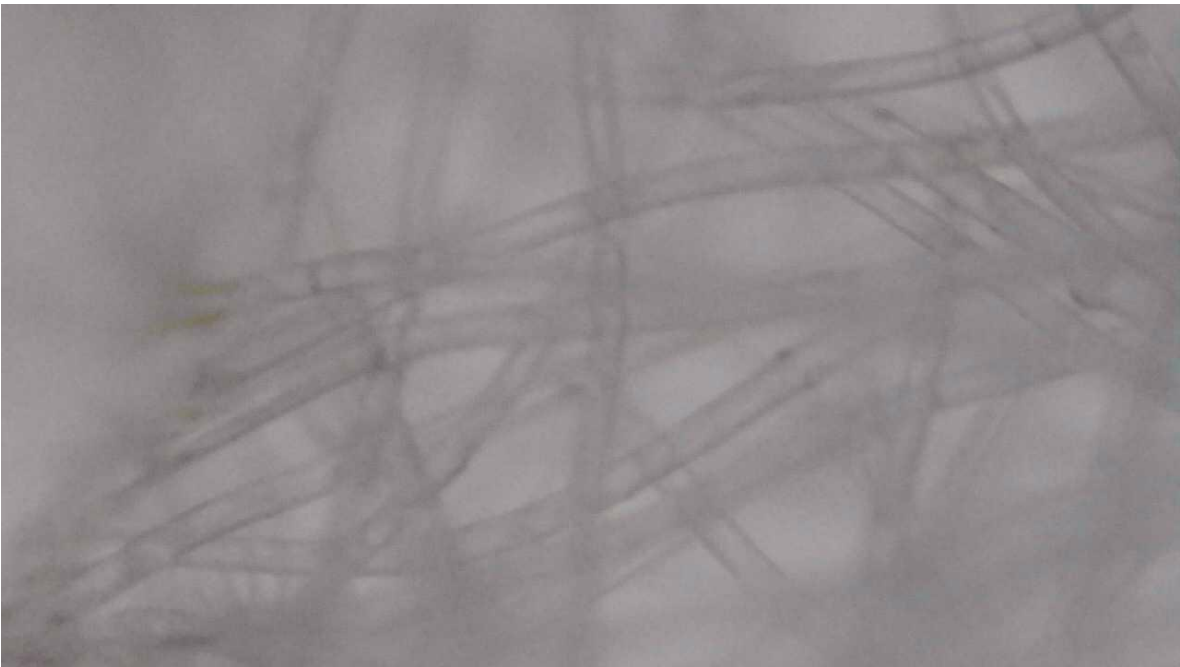


Figura 53. Fibras de prueba 2 mascarilla Kn95 a 5min de irradiación.

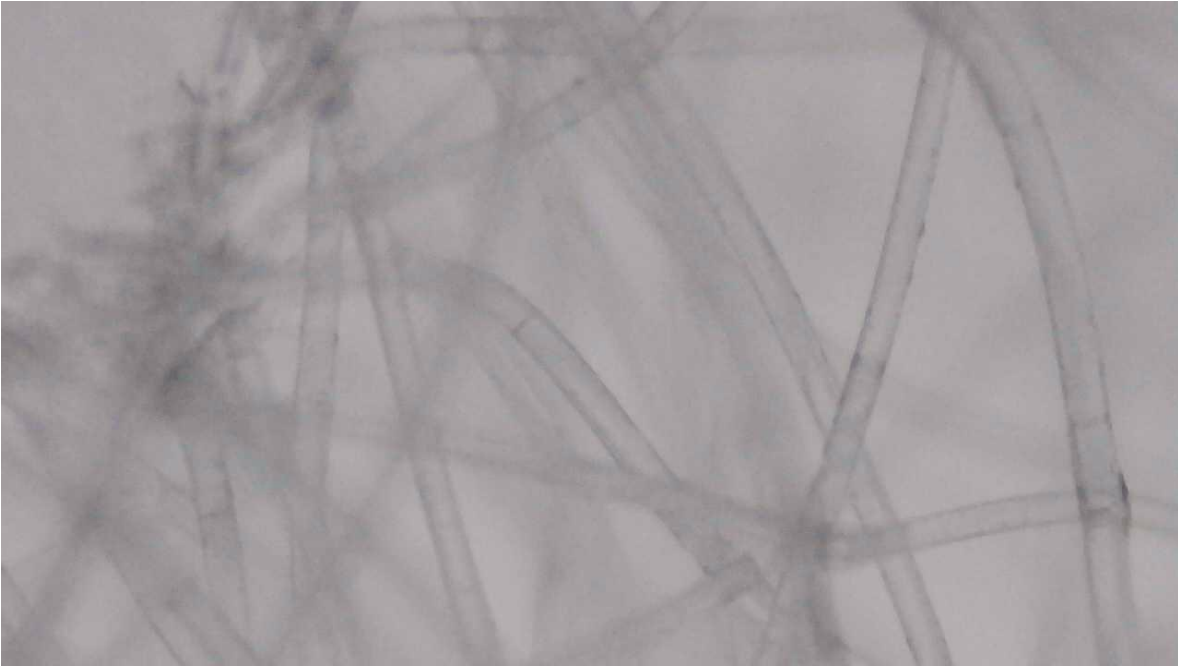


Figura 54. Fibras de prueba 3 mascarilla Kn95 a 3min de irradiación.

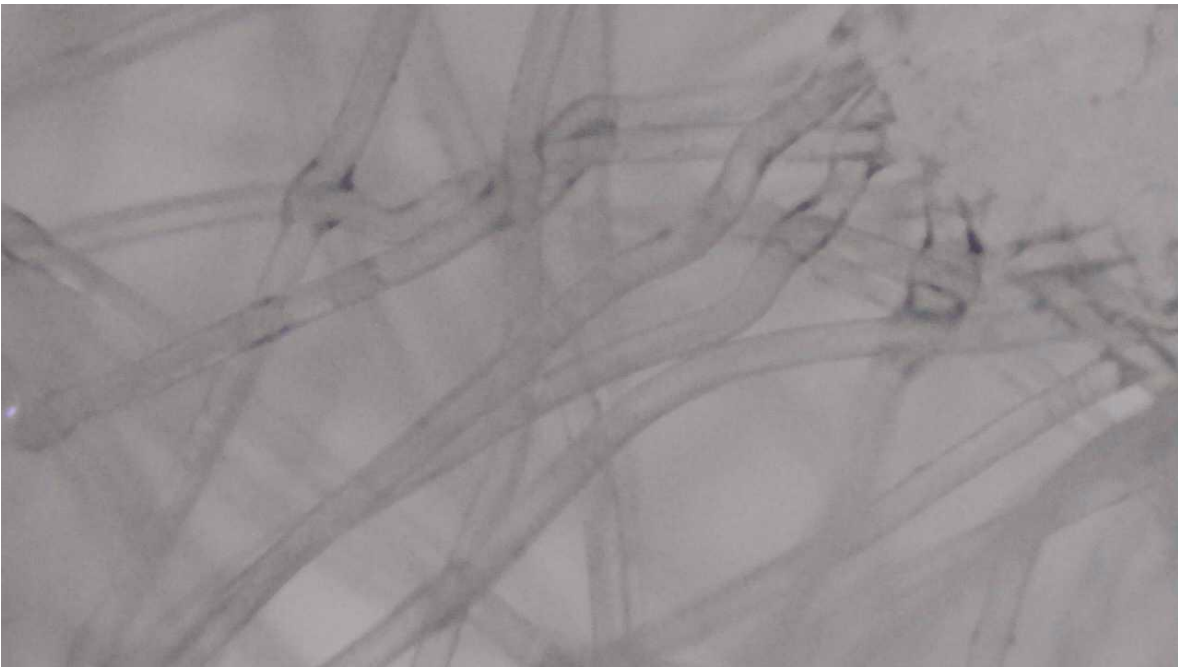


Figura 55. Fibras de prueba 3 mascarilla Kn95 a 5min de irradiación.

Como se observa tenemos las imágenes de las fibras a 2000x, ya con ambos tiempos de irradiación; la calidad de las imágenes no es tan buena como se espera, esto es debido al proceso de calibración al cual se tomaron las fotografías, que consiste en utilizar una reglilla para obtener medidas en mm para este caso y no en pixeles, ya que no es correcto dar la medición de un diámetro en pixeles; lo

adecuado es hacer mediciones en mm o micras, que son las medidas más comunes en microscopía. Sin embargo, estas imágenes nos permiten analizar el diámetro aproximado de las fibras, e interpretar si hubo un cambio de diámetro en su longitud al ser irradiadas las mascarillas.

6.4.4 Análisis de resultados

Mascarillas quirúrgicas

Con ayuda de ImageJ, un programa de procesamiento de imagen digital (de dominio público) se llevó a cabo el análisis de diámetro de las fibras. Y para ello primero se calibró la imagen, para obtener las medidas en mm y no en pixeles.

La calibración se realizó con un calibrador para microscopio óptico; se seleccionó la distancia por medio de una “línea recta”, por tanto, la conversión en ImageJ es de 279.0018 pixeles a 0.3mm, como se muestra en la siguiente imagen.

Al seleccionar “Global” es posible utilizar esta calibración en todas las imágenes

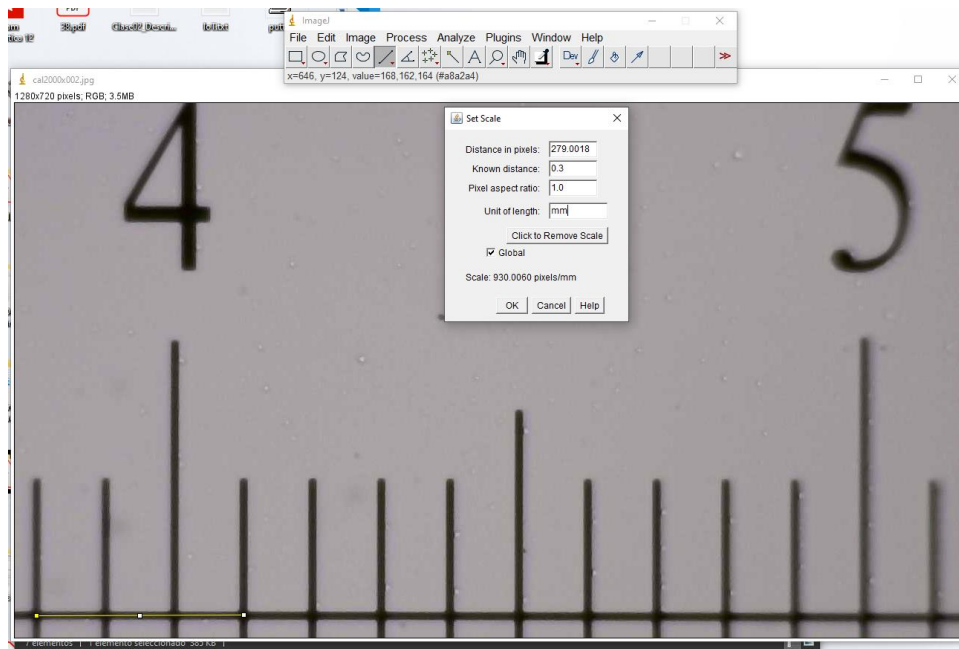


Figura 56. Calibración para mascarillas quirúrgicas.

Se analizaron 3 fibras de cada proceso (antes de irradiar, 3min y 5min), realizando 5 mediciones de cada fibra, es decir se tienen 15 mediciones de diámetro antes de irradiar, 15 mediciones de diámetro a 3min y 15 mediciones de diámetro a 5min. Un total de 45 mediciones de diámetro por mascarilla quirúrgica; esto con la finalidad de analizar si hay un cambio en el diámetro de las fibras, tras el proceso de irradiación.

Medición del diámetro de fibras Prueba1 antes de irradiar

Las mediciones se tomaron a 90° con ayuda de la herramienta “Angulo” de ImageJ para obtener medidas perpendiculares del diámetro.

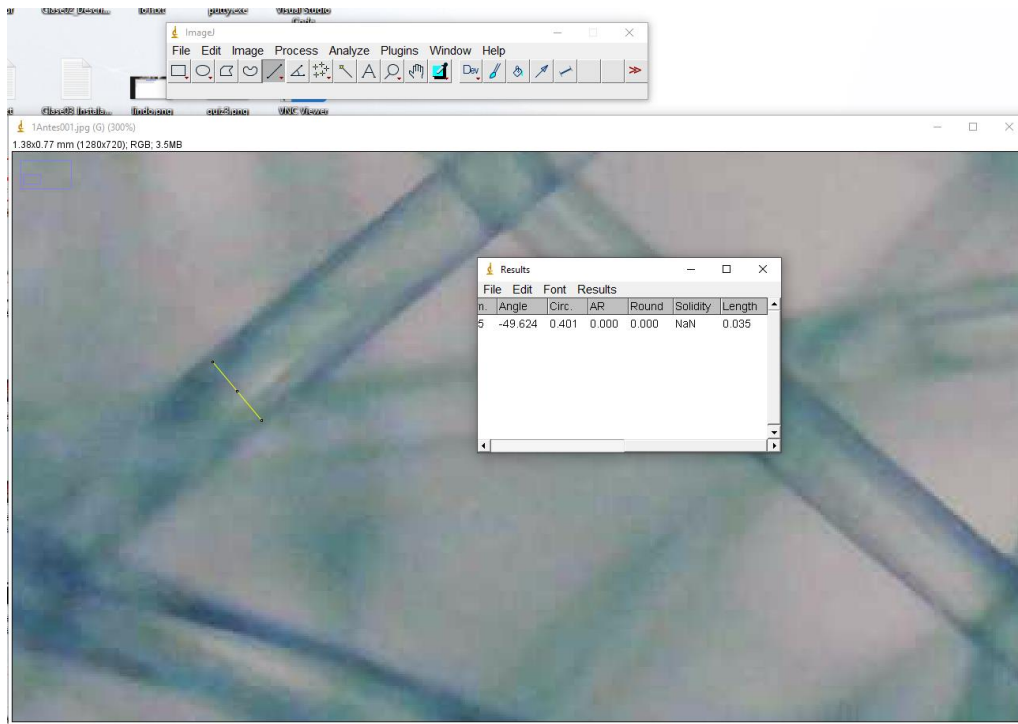


Figura 57. Primer medición de diámetro prueba 1 mascarilla quirúrgica, fibra1.

Después de cada medición se utilizó un marcador para señalar esta medición y evitar medir la misma zona, como se muestra en la siguiente imagen.

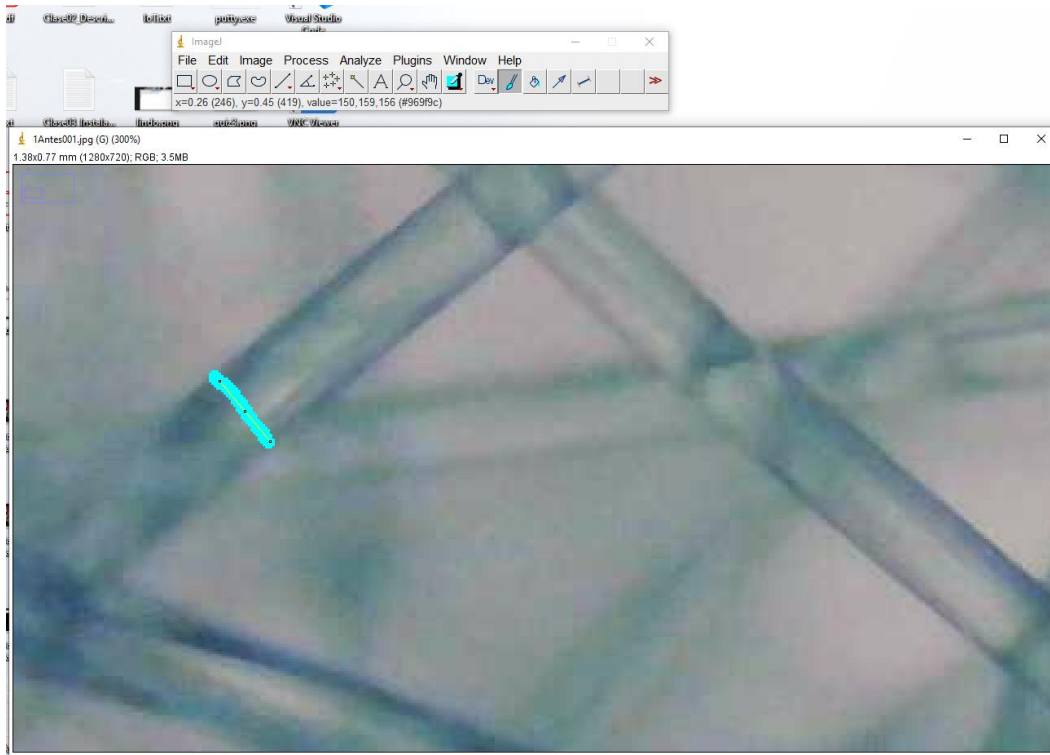


Figura 58. Marcando primera medición prueba 1 mascarilla quirúrgica, fibra 1.

Las mediciones de la fibra 1 se eligieron a marcar en color cyan, a continuación, se muestra la segunda medición de prueba 1 mascarilla quirúrgica.

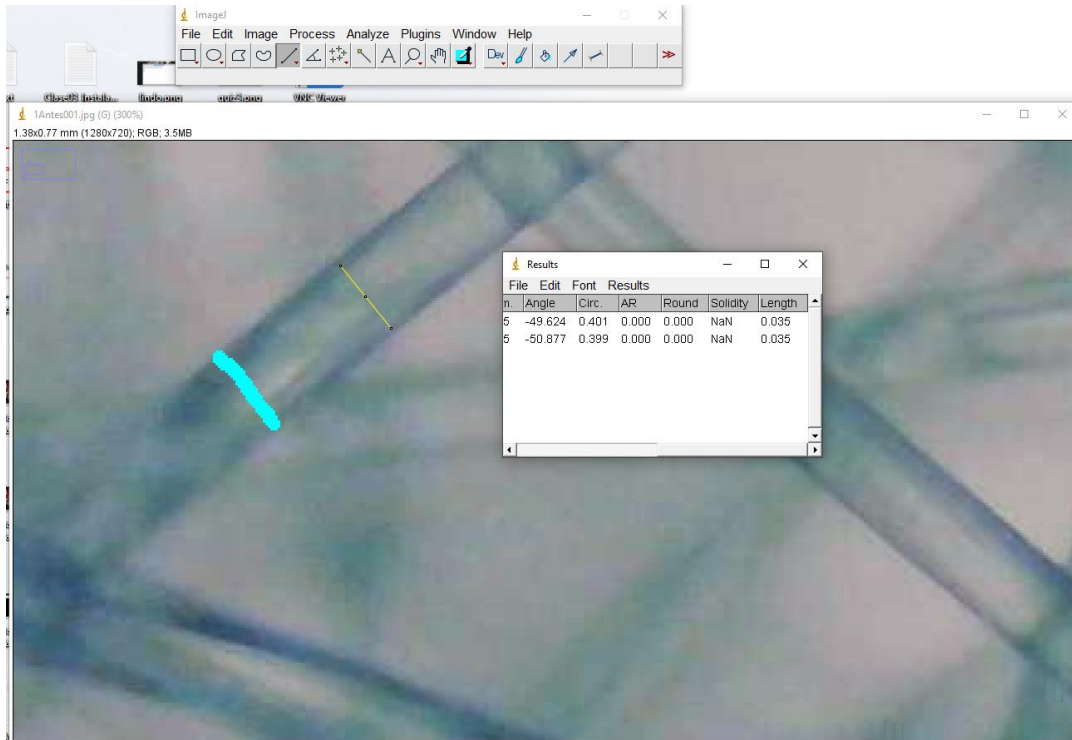


Figura 59. Segunda medición de diámetro prueba 1 mascarilla quirúrgica, fibra 1.

El proceso de medición de diámetro por fibra es el mismo y se completa hasta tener las 5 mediciones de la fibra elegida, para este caso el color de las mediciones es cyan, mismo color que identifica a la fibra 1 de la prueba 1 antes de irradiar y se muestra en la siguiente imagen.

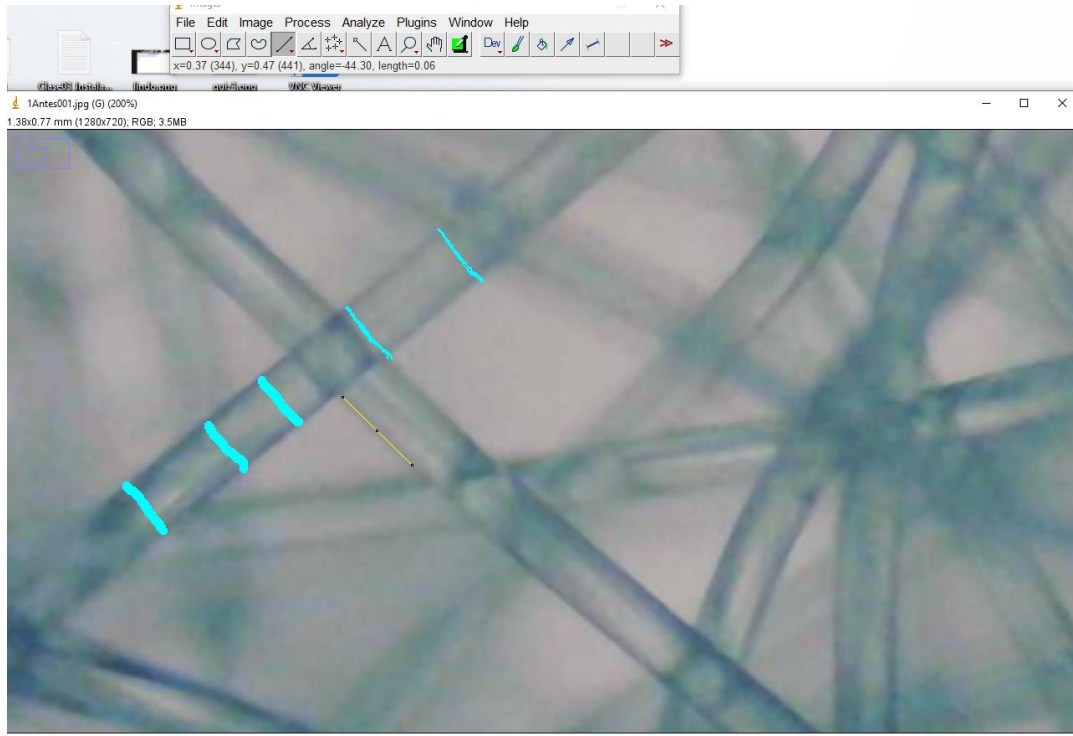


Figura 60. Prueba 1 mascarilla quirúrgica; Fibra 1 color cian y 5 mediciones realizadas.

Las 15 mediciones totales de las 3 fibras elegida antes de irradiar, Prueba 1 mascarilla quirúrgica se muestran en la siguiente imagen.

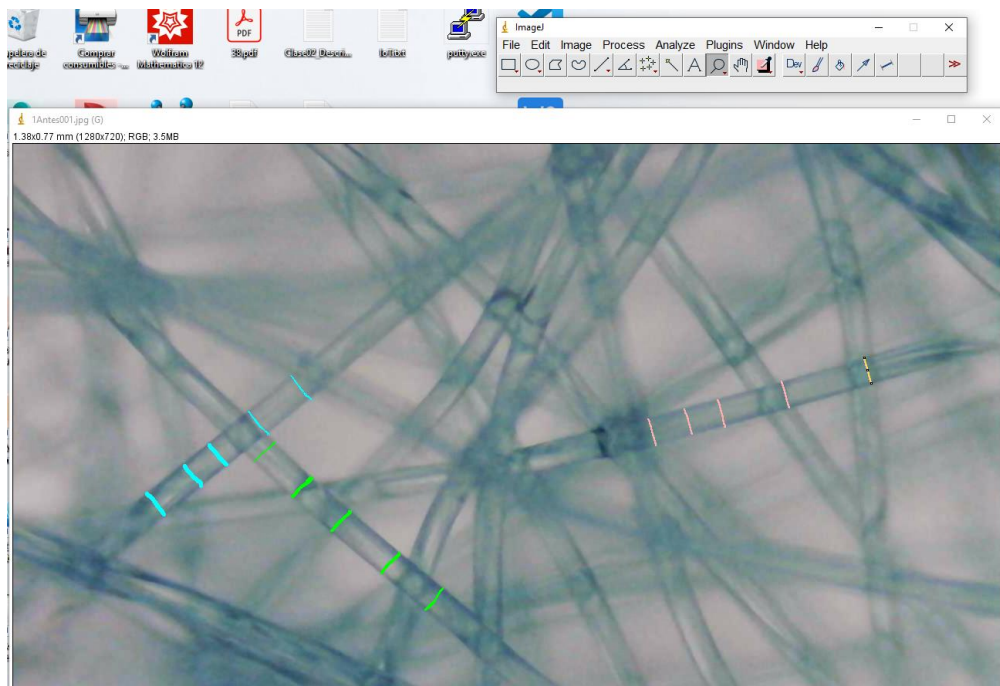


Figura 61. Prueba 1, Fibra 1 en Cian, fibra 2 en verde y fibra 3 en rosa, 15 mediciones antes de irradiar.

Medición del diámetro de fibras Prueba1 a 3min de irradiación

Una vez realizadas las mediciones antes de irradiar se realizaron a 3min de irradiación, repitiendo el mismo proceso de medición se tienen las 15 mediciones.

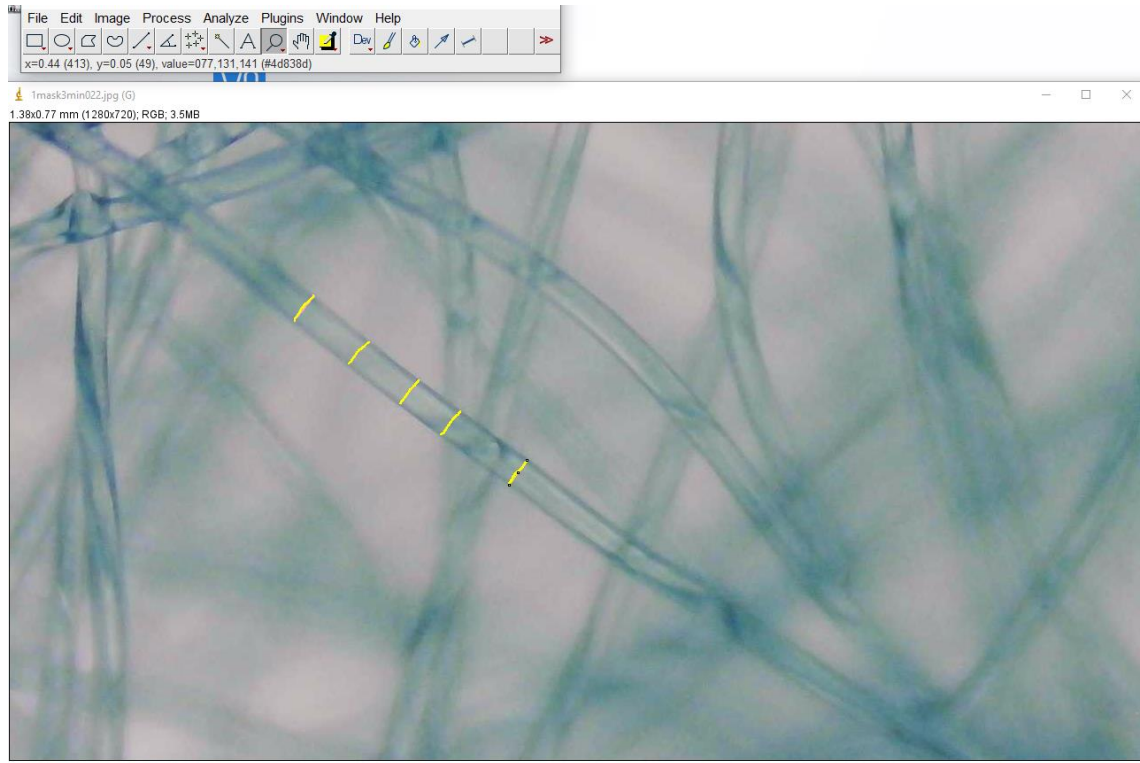


Figura 62. Mediciones de Fibra 1 en color amarillo, prueba 1 a 3 min.

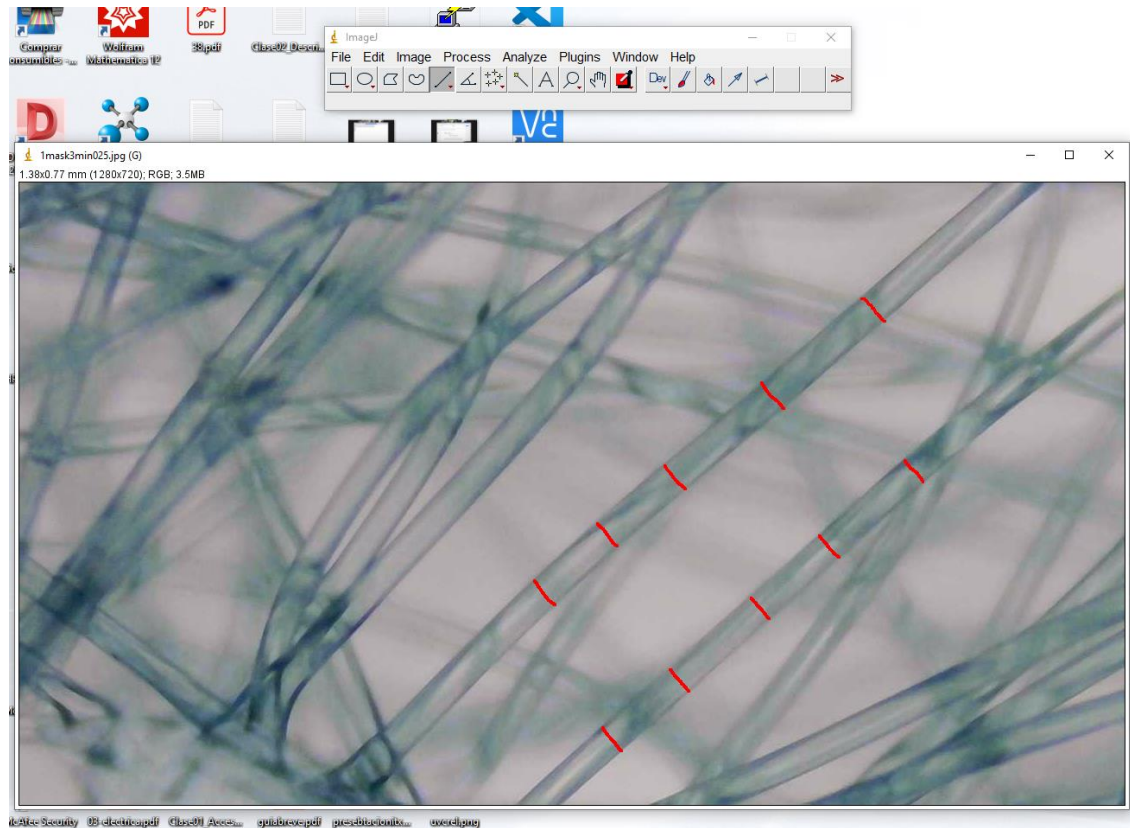


Figura 63. Fibras 2 y 3 de izquierda a derecha respectivamente ambas en color rojo, prueba 1 a 3 min.

Medición del diámetro de fibras Prueba1 a 5min de irradiación

Una vez realizadas las mediciones a 3min de irradiación, se repite el proceso para obtener 15 mediciones a 5 minutos de irradiación de la prueba 1 mascarilla quirúrgica.

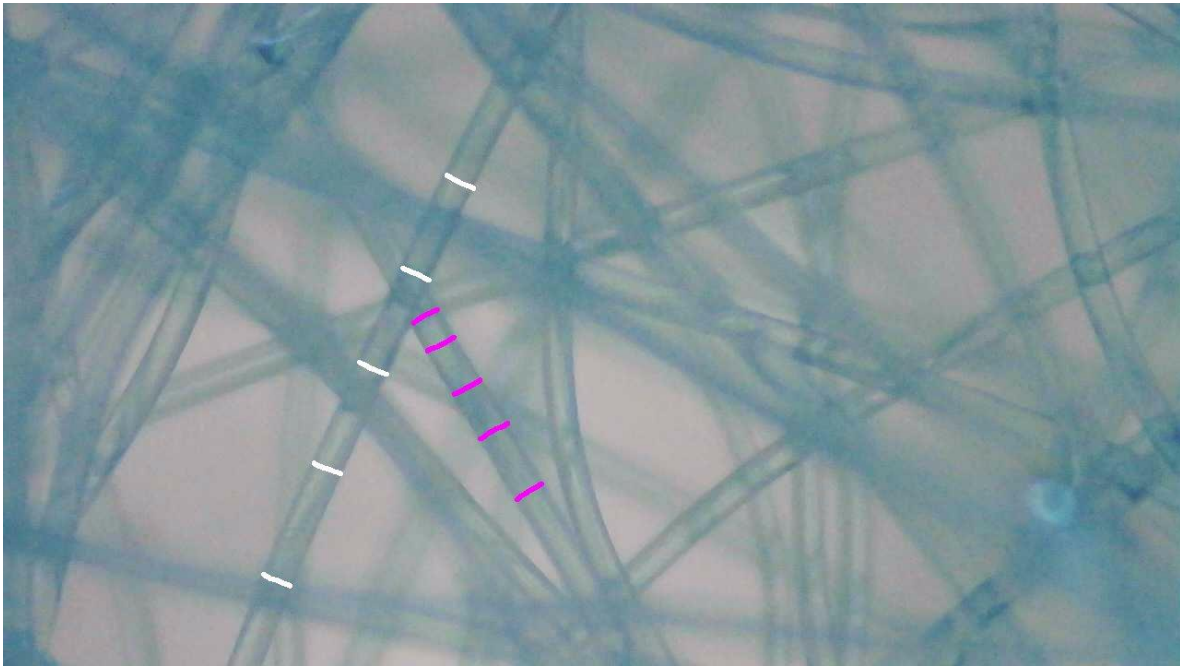


Figura 64. Mediciones de fibra 1 en blanco y fibra 2 en magenta a 5min de irradiación Prueba 1

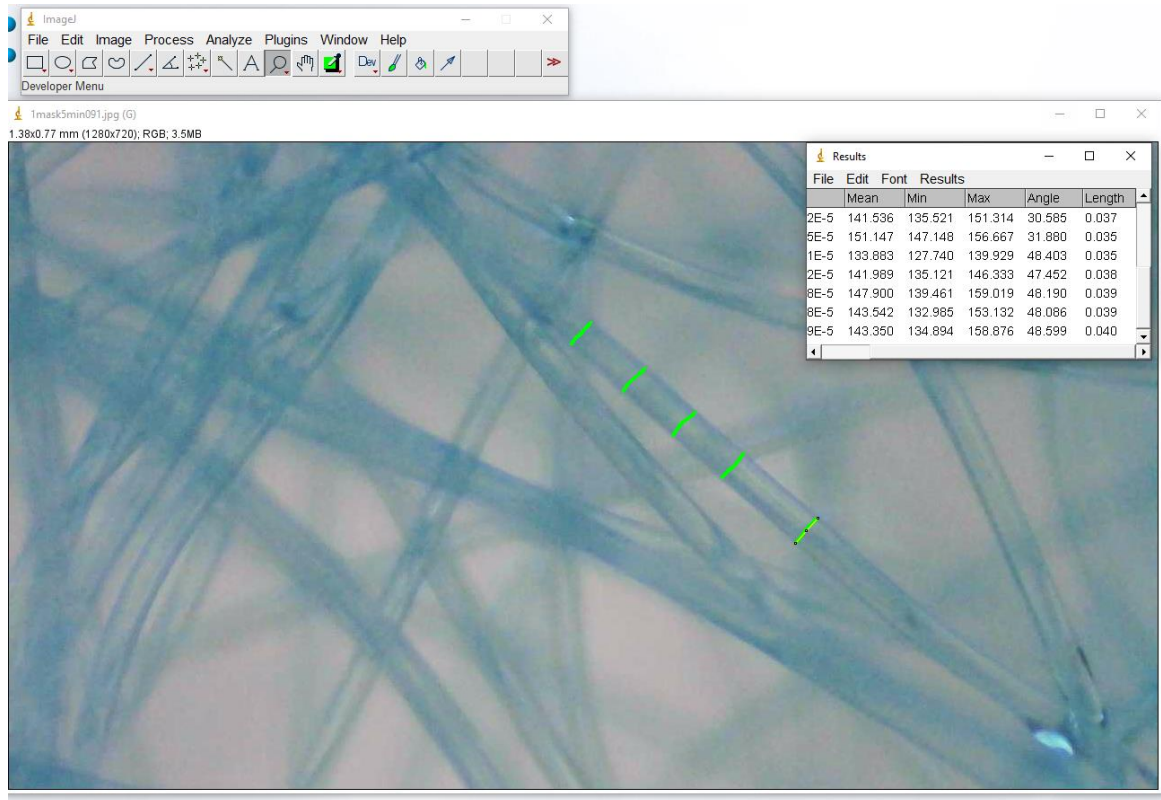


Figura 65. Mediciones fibra 3 en color verde a 5min de irradiación, Prueba 1 mascarilla quirúrgica

Hasta el momento se muestran un total de 45 mediciones tomadas de las Prueba 1 mascarilla quirúrgica, 15 antes de irradiar, 15 a 3min de irradiación y 15 a 5min de irradiación.

El proceso para obtener estas 45 mediciones para la prueba 2 y prueba 3 mascarillas quirúrgicas es el mismo descrito con anterioridad.

Medición del diámetro de fibras Prueba 2 antes de irradiar

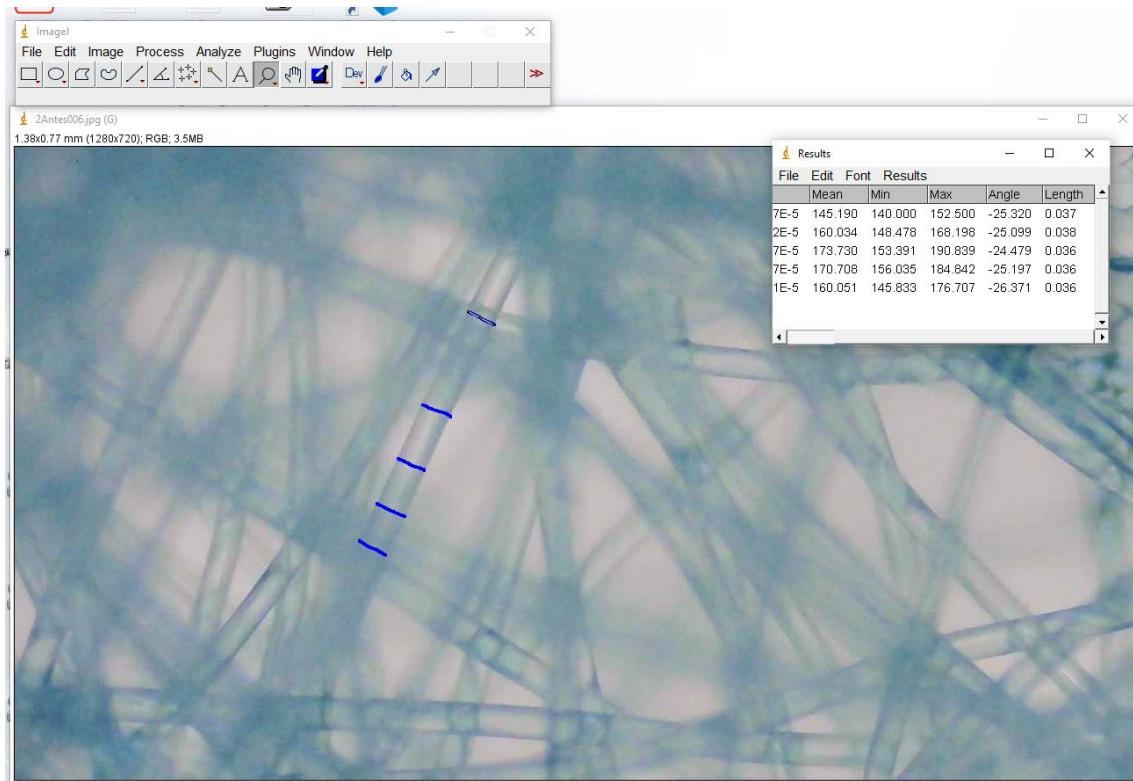


Figura 66. Tomando 5 mediciones antes de irradiar prueba 2 fibra 1 en color azul.

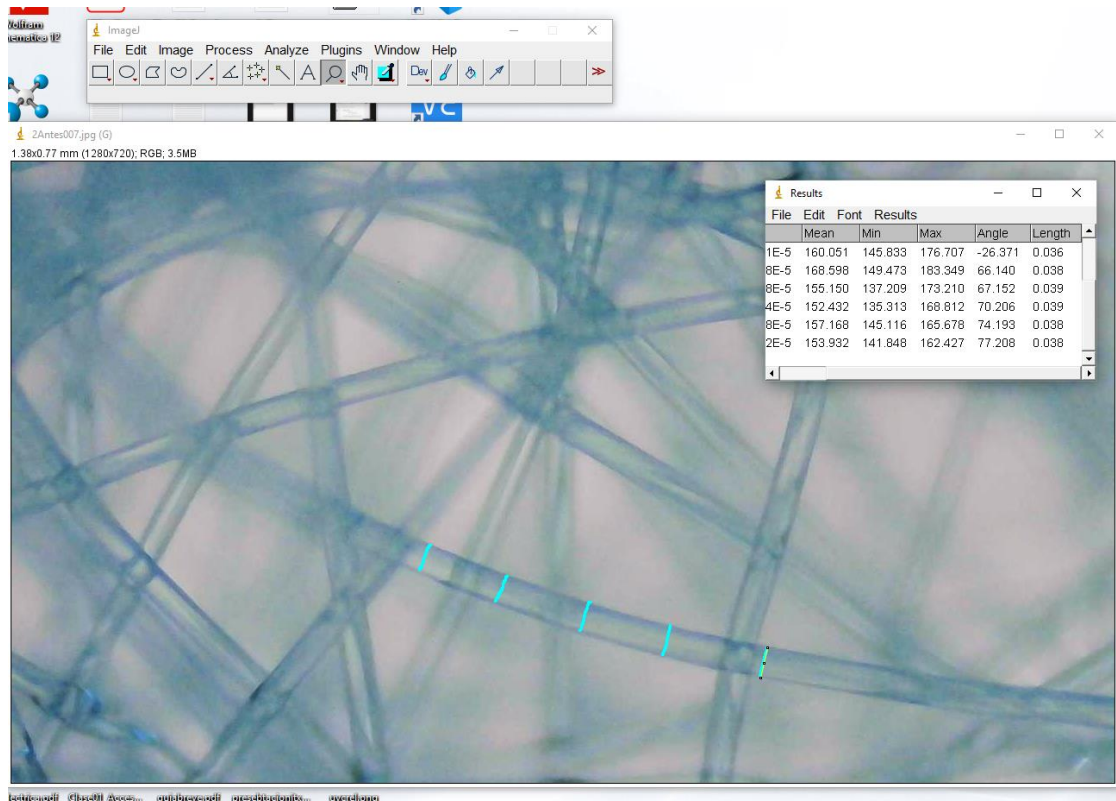


Figura 67. Tomando 5 mediciones antes de irradiar prueba 2 fibra 2

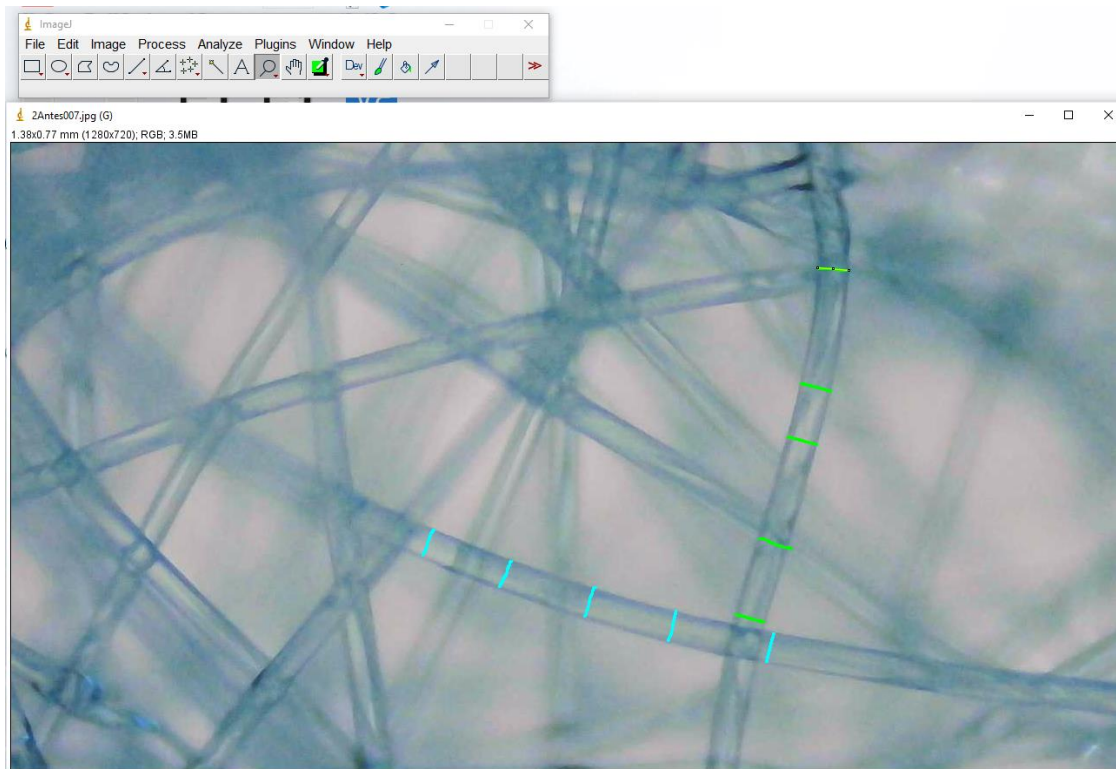


Figura 68. Mediciones de fibra 2(Cyan) y fibra 3(verde), prueba 2 antes de irradiar.

Medición del diámetro de fibras Prueba 2 a 3min de irradiación

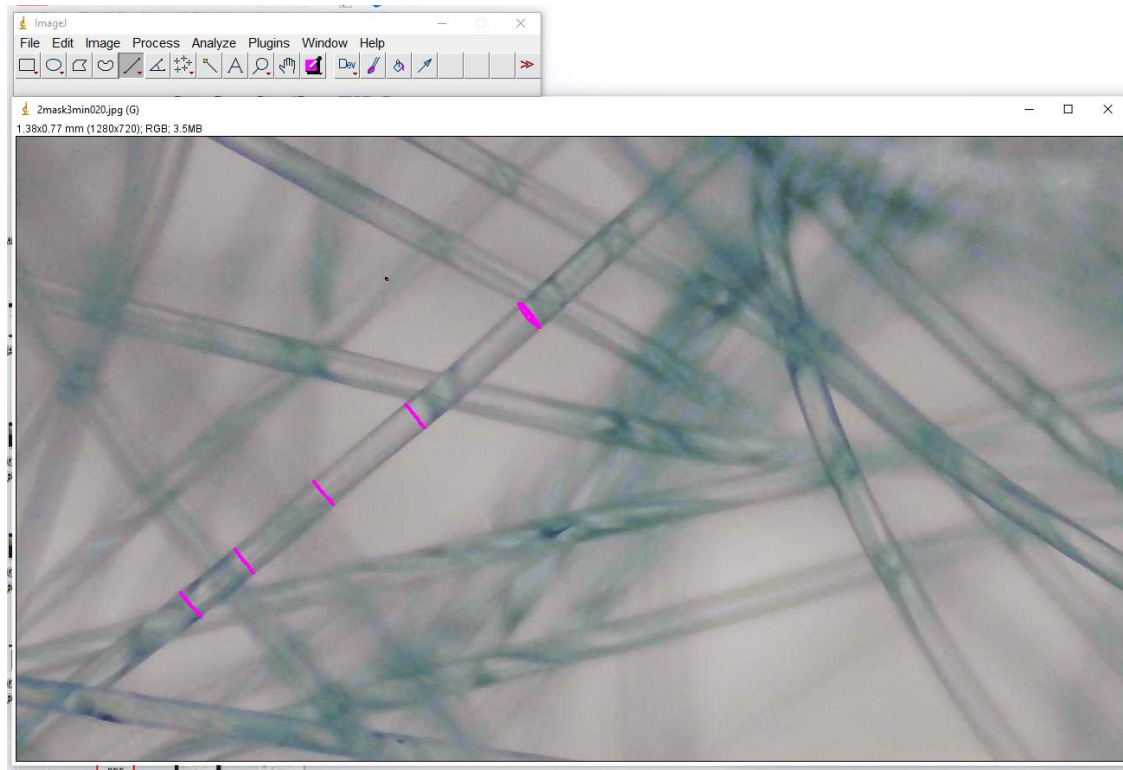


Figura 69. Mediciones de fibra 1, prueba 2 a 3 minutos de irradiación.

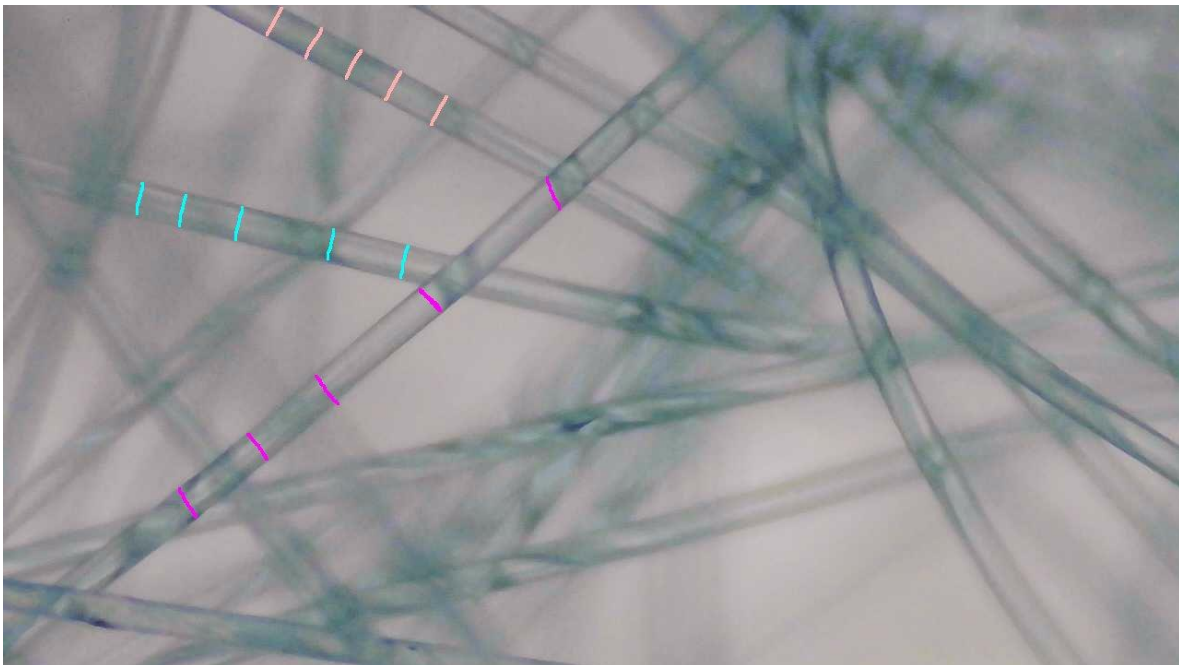


Figura 70. Mediciones de fibra 1(Magenta), fibra 2(Cyan) y fibra 3(Rosa) prueba 2 a 3 minutos

Medición del diámetro de fibras Prueba 2 a 5min de irradiación

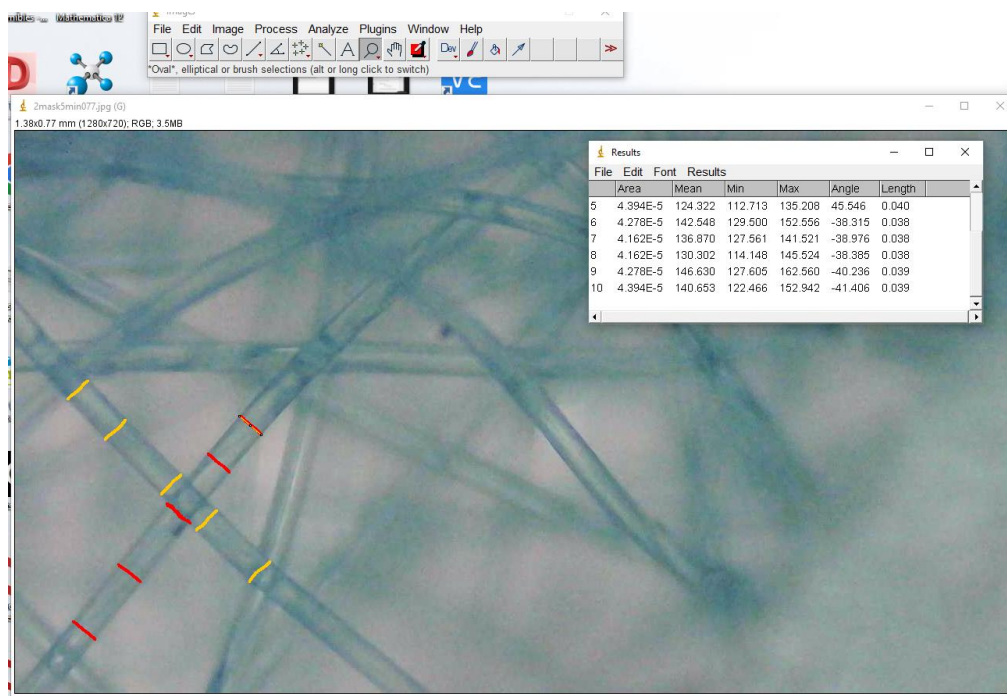


Figura 71. Mediciones de fibra 1(roja) y fibra 2(Naranja), prueba 2 a 5 minutos

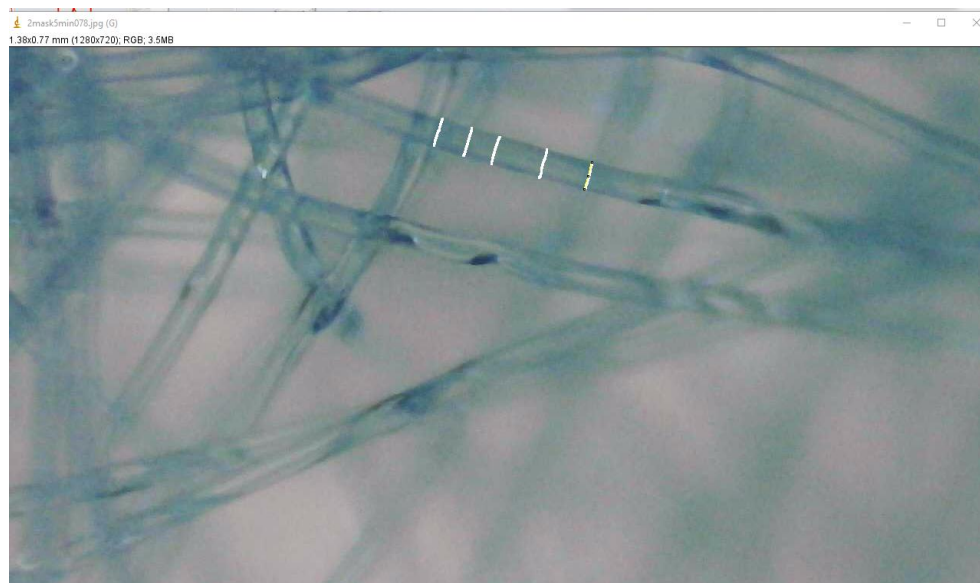


Figura 72. Mediciones de fibra 3, prueba 2 a 5 minutos

Medición del diámetro de fibras Prueba 3 antes de irradiar

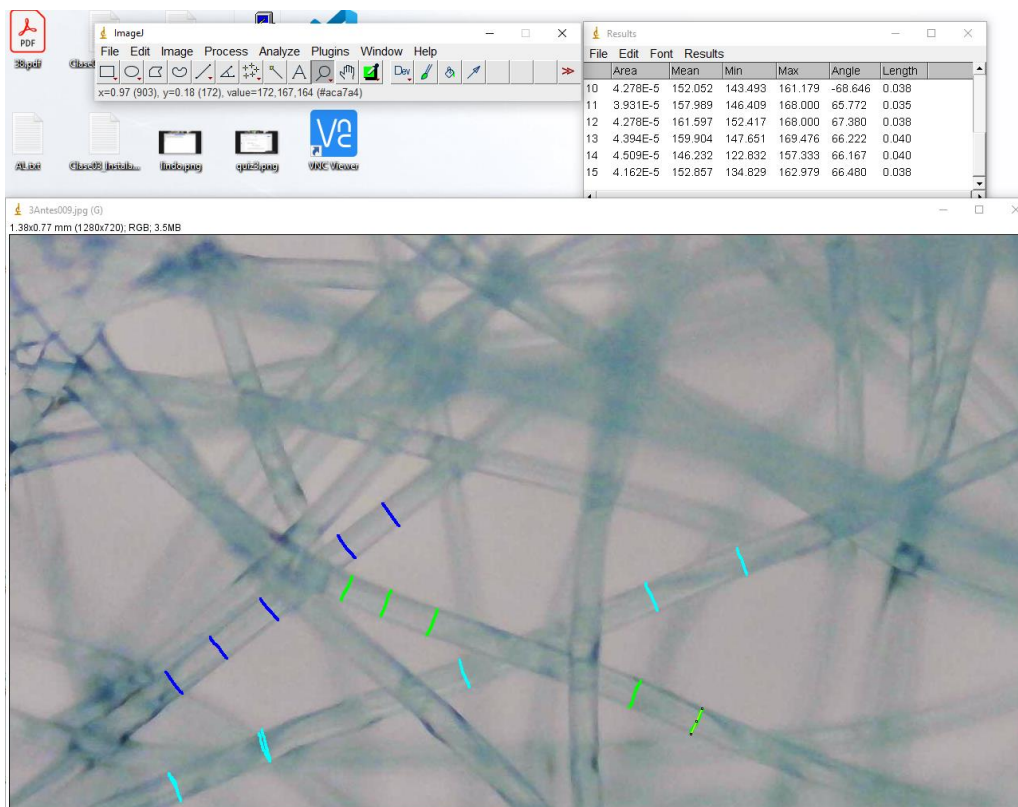


Figura 73. Mediciones de Fibras 1(azul), fibra 2(cyan) y fibra 3(verde), prueba 3 antes de irradiar.

Medición del diámetro de fibras Prueba 3 a 3min de irradiación

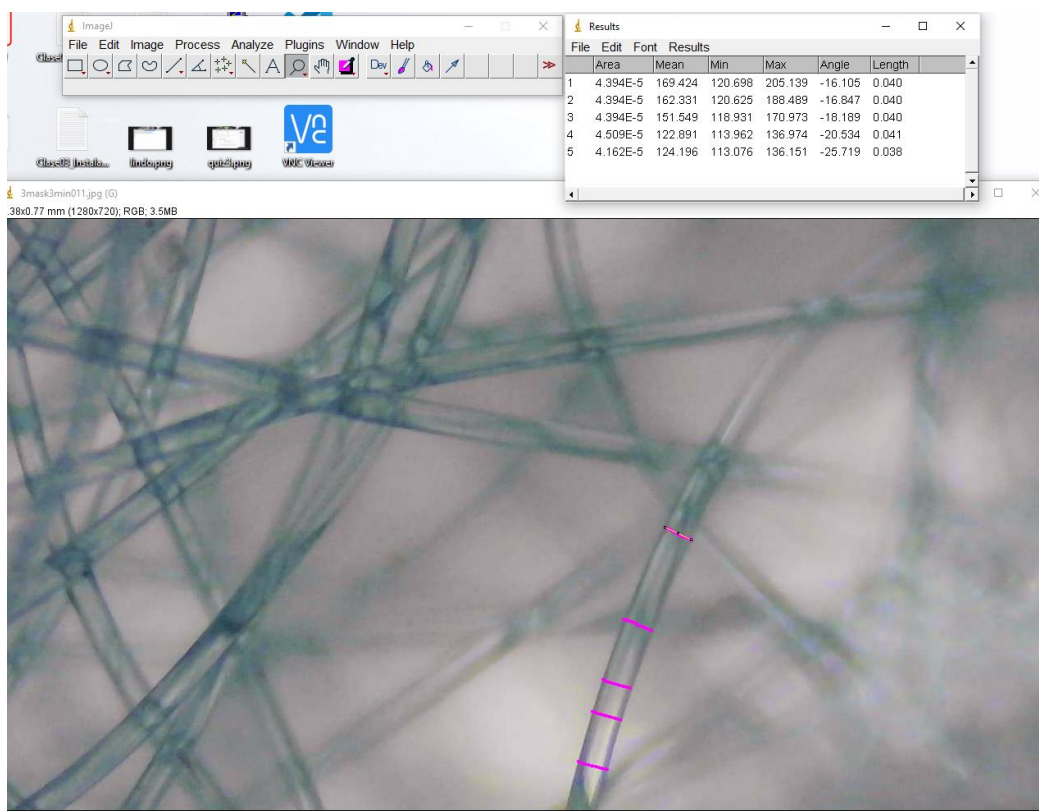


Figura 74. Mediciones fibra 1, prueba 3 a 3 minutos.

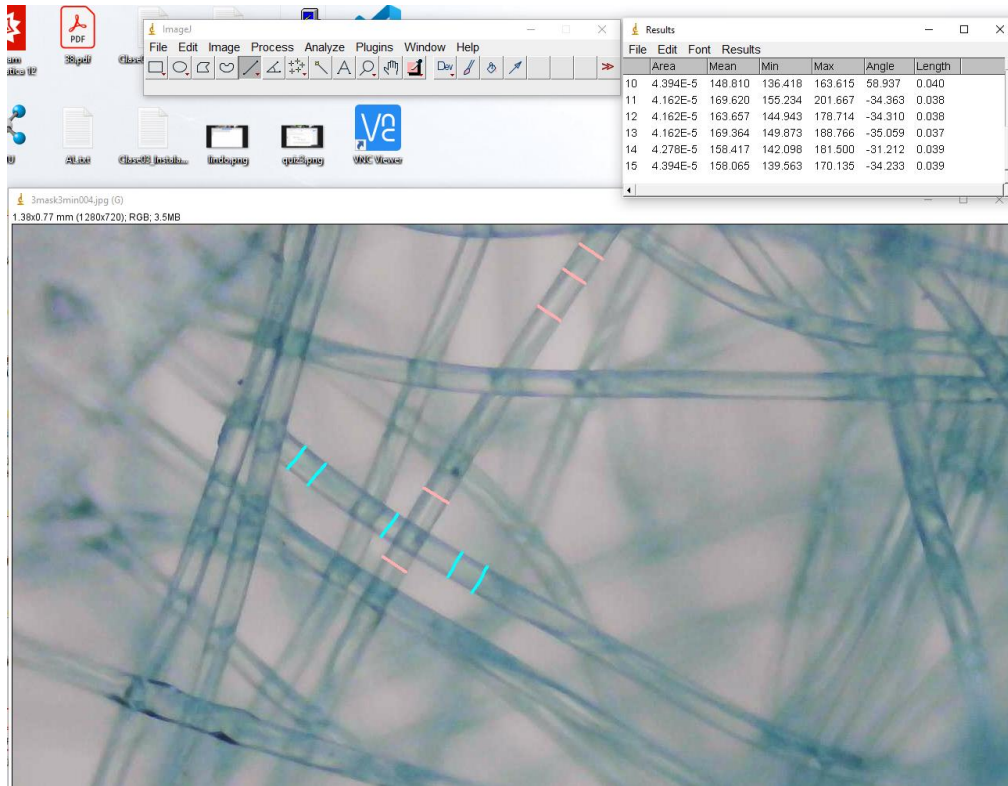


Figura 75. Mediciones fibra 2(Cyan) y fibra 3(rosa), prueba 3 a 3 minutos.

Medición del diámetro de fibras Prueba 3 a 5min de irradiación:

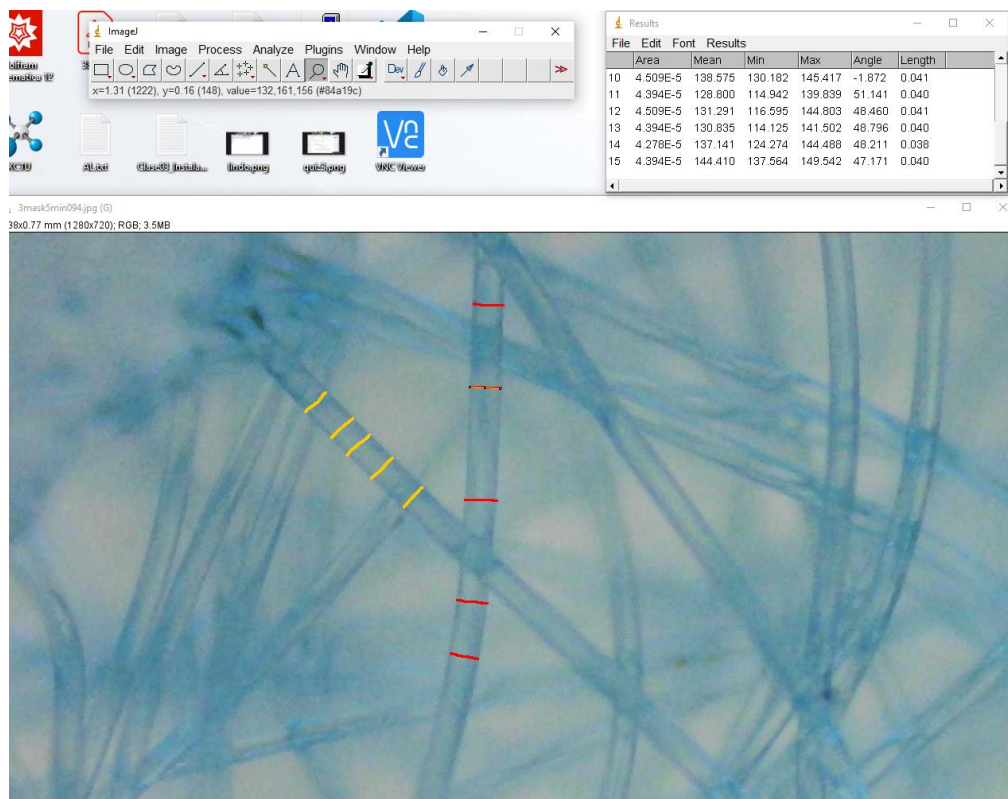


Figura 76. Mediciones fibra 1(Naranja) y fibra 2(Roja), prueba 3 a 5 minutos.

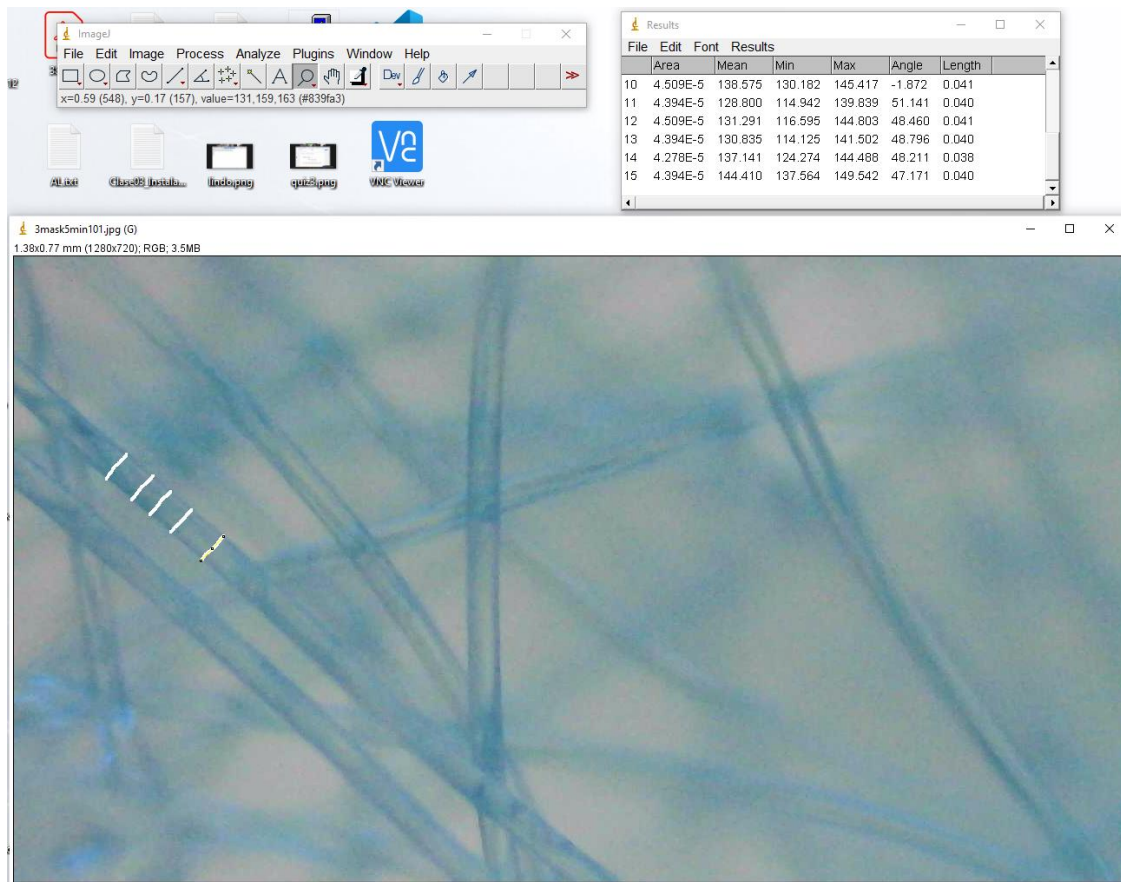


Figura 77. Mediciones fibra 3, prueba 3 a 5 minutos.

Para el caso de las mascarillas quirúrgicas se analizó la relación entre los grupos de mediciones con un análisis de varianza de un solo factor. Con lo que se determinó que no existe diferencia significativa en las mediciones antes de la irradiación y después de 3 minutos de tratamiento.

Tabla 7. Mediciones de diámetro en fibras de mascarillas quirúrgicas

Antes	3min	5min
0.035	0.035	0.033
0.035	0.035	0.034
0.035	0.035	0.034
0.036	0.035	0.034
0.036	0.036	0.034
0.036	0.036	0.035
0.036	0.037	0.035
0.036	0.037	0.035

0.036	0.037	0.035
0.036	0.037	0.037
0.036	0.037	0.037
0.036	0.037	0.037
0.036	0.037	0.038
0.036	0.038	0.038
0.037	0.038	0.038
0.037	0.038	0.038
0.037	0.038	0.038
0.037	0.038	0.038
0.037	0.038	0.038
0.038	0.038	0.039
0.038	0.038	0.039
0.038	0.038	0.039
0.038	0.039	0.039
0.038	0.039	0.039
0.038	0.039	0.039
0.038	0.039	0.039
0.038	0.039	0.039
0.038	0.039	0.04
0.038	0.039	0.04
0.038	0.039	0.04
0.038	0.039	0.04
0.038	0.039	0.04
0.038	0.04	0.04
0.038	0.04	0.04
0.038	0.04	0.04
0.038	0.04	0.04
0.038	0.04	0.04
0.038	0.04	0.04
0.038	0.04	0.04
0.039	0.04	0.04
0.039	0.04	0.04
0.039	0.04	0.04
0.039	0.04	0.04
0.039	0.04	0.041
0.04	0.04	0.041
0.04	0.04	0.041
0.04	0.04	0.041
0.04	0.041	0.041

El análisis de varianza (ANOVA) de un factor es un método estadístico para examinar las diferencias en las medias de tres o más grupos. Cuando se comparan

las medias de tres o más grupos, puede indicar si al menos un par de medias es significativamente diferente. También requiere que la variable dependiente esté distribuida de manera normal en cada uno de los grupos y que la variabilidad dentro de cada grupo sea similar en todos los grupos.

Usualmente, los resultados del ANOVA se muestran en una tabla que incluye:

- Fuente: las fuentes de variación incluyendo el factor examinado, el error y el total.
- GL: grados de libertad de cada fuente de variación.
- Suma de cuadrados: la suma de los cuadrados (SC) de cada fuente de variación junto con el total de todas las fuentes.
- Media de los cuadrados: la suma de los cuadrados dividida por los correspondientes grados de libertad asociados.
- Razón F: la media de los cuadrados del factor (lote) dividida por la media de los cuadrados del error.
- Prob > F: el valor p.

Si la razón F que se ha calculado excede el valor crítico esperado para F, asumiendo que el valor p sea lo suficientemente pequeño, rechazaría la hipótesis nula de que las medias son iguales, o bien, que no hay cambio en el diámetro de las fibras luego de los tratamientos. En este caso, el valor p es la probabilidad de observar un valor mayor que la razón F cuando en realidad la hipótesis nula es verdadera.

Tabla 8. Análisis de varianza de mediciones al diámetro de fibras en mascarillas quirúrgicas

RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
antes	45	1.687	0.037488889	1.93737E-06		
3min	45	1.725	0.038333333	2.63636E-06		
5min	45	1.724	0.038311111	5.26465E-06		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.08444E-05	2	1.04222E-05	3.178028747	0.044874508	5.516792187
Dentro de los grupos	0.000432889	132	3.27946E-06			
Total	0.000453733	134				

Al realizar la prueba sobre los datos de cada tratamiento, vemos que el valor F es menor al esperado, por lo tanto, se demuestra que no hay diferencia significativa entre los tratamientos.

Mascarillas Kn95

Nuevamente se utilizó ImageJ para el análisis de diámetro de fibras para mascarillas Kn95. Y para ello primero se calibró la imagen, para obtener las medidas en mm y no en píxeles.

La calibración se realizó utilizando el mismo calibrador para microscopio óptico, utilizado en las mascarillas quirúrgicas; se seleccionó la distancia por medio de una "línea recta", por tanto, la conversión en ImageJ es de 319.0063píxeles a 0.2mm, como se muestra en la siguiente imagen.

Al seleccionar "Global" es posible utilizar esta calibración en todas las imágenes

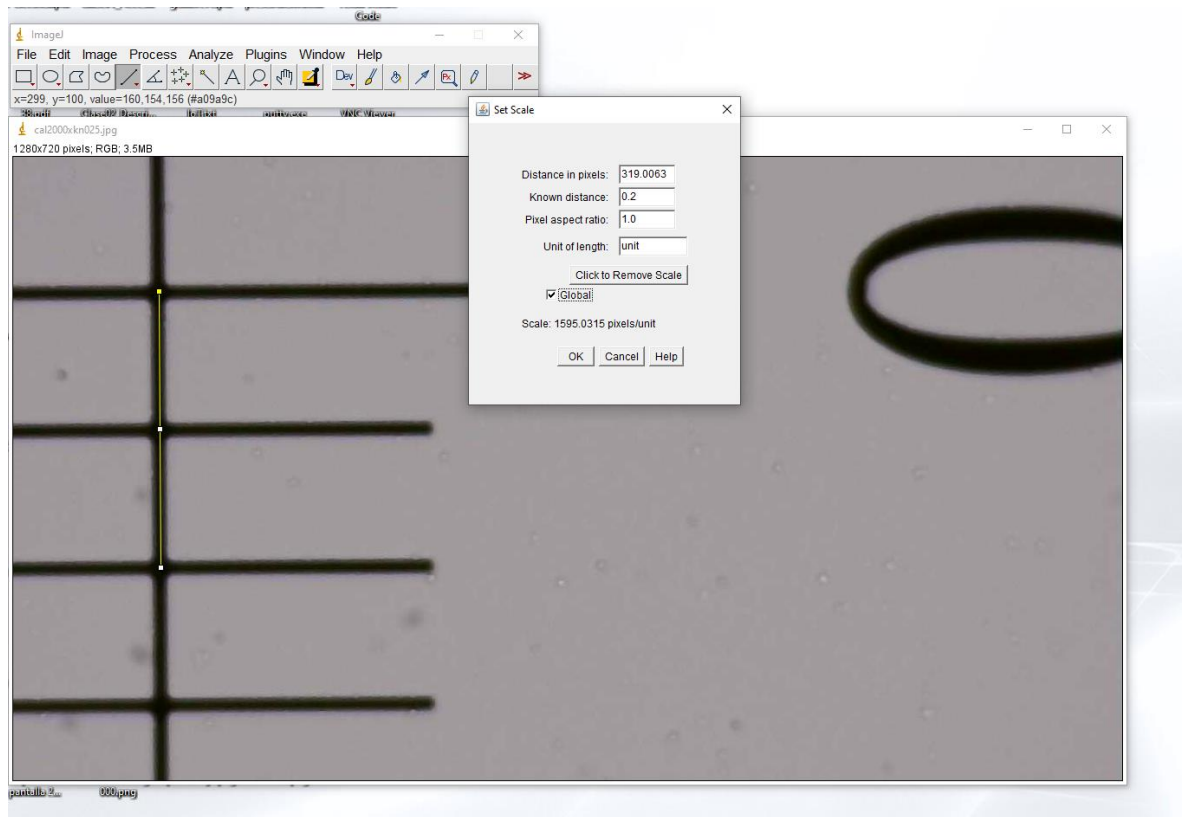


Figura 78. Calibración de imágenes Kn95 en mm.

Se analizaron 3 fibras de cada proceso (antes de irradiar, 3min y 5min), realizando 5 mediciones de cada fibra, es decir se tienen 15 mediciones de diámetro antes de irradiar, 15 mediciones de diámetro a 3min y 15 mediciones de diámetro a 5min. Un total de 45 mediciones de diámetro por mascarilla Kn95; esto con la finalidad de analizar si hay un cambio en el diámetro de las fibras, tras el proceso de irradiación.

Medición del diámetro de fibras Prueba1 antes de irradiar

Las mediciones se tomaron a 90° con ayuda de la herramienta “Angulo” de ImageJ para obtener medidas perpendiculares del diámetro.

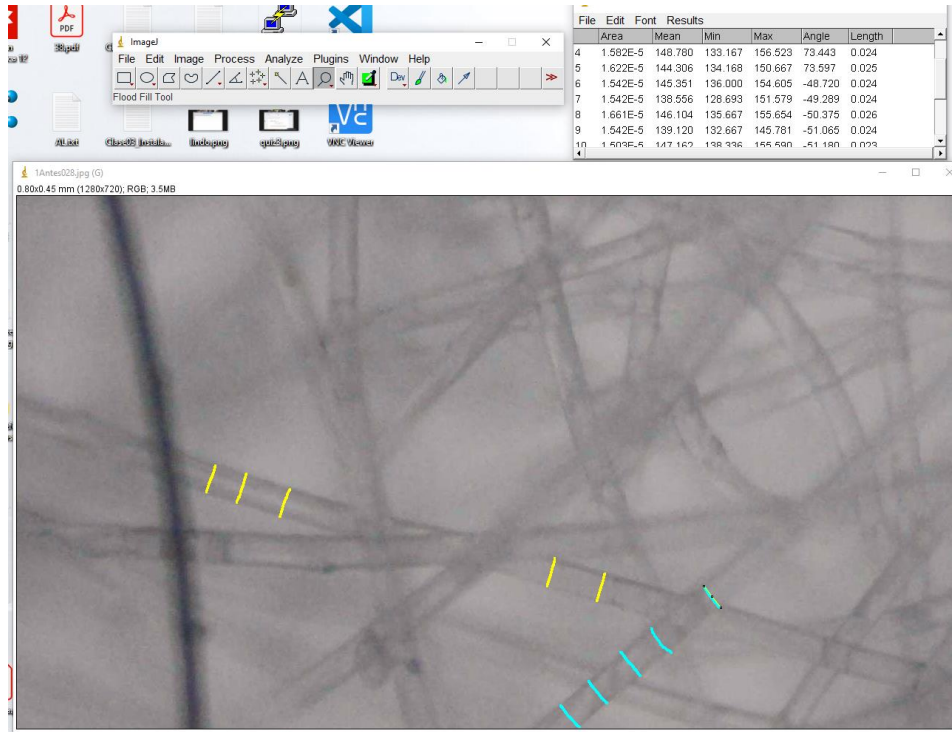


Figura 79. Mediciones fibra 1(Amarillo) y fibra 2(Cyan), prueba 1 Kn95 antes de irradiar.

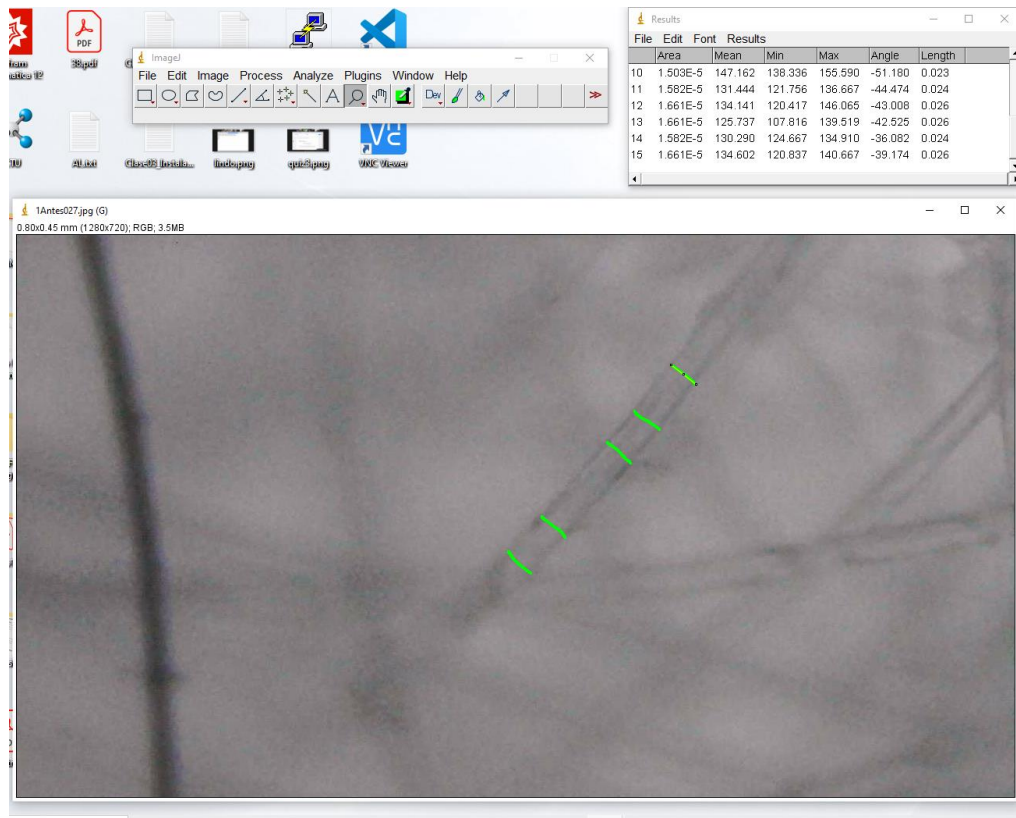


Figura 80. Mediciones fibra 3, prueba 1 Kn95 antes de irradiar.

Como se observa para las 5 mediciones de la fibra 1 se utilizo el color amarillo, para las 5 mediciones de la fibra 2 se utilizó el color cyan y para las 5 mediciones de la fibra 3 el color verde. Una vez teniendo las 5 mediciones de las 3 fibras seleccionadas, se repite el mismo procedimiento para obtener las mediciones de diámetro a 3 min y a 5 min.

Medición del diámetro de fibras Prueba1 a 3min de irradiación.

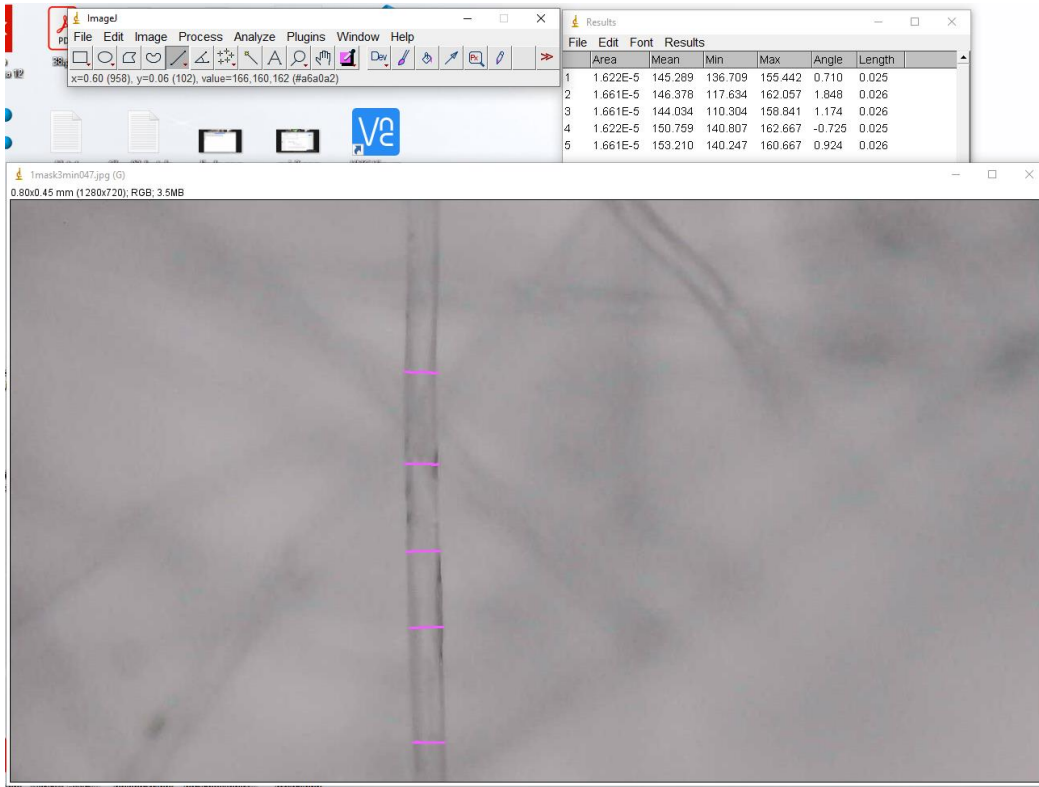


Figura 81. Mediciones fibra 1 en color magenta, prueba 1 Kn95 a 3 minutos.

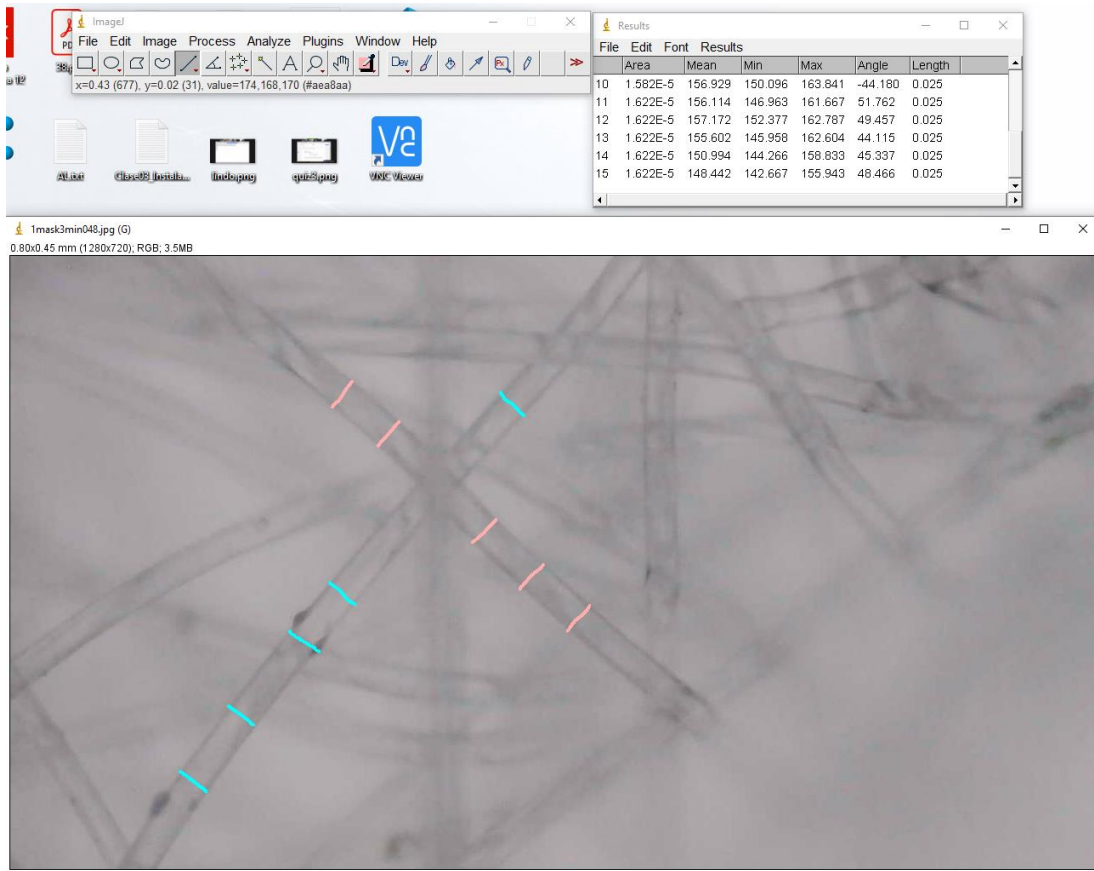


Figura 82. Mediciones fibra 2(Cyan) y fibra 3(Rosa), prueba 1 Kn95 a 3 min de irradiación.

Medición del diámetro de fibras Prueba1 a 5min de irradiación.

Una vez realizadas las mediciones a 3min de irradiación, se repite el proceso para obtener 15 mediciones a 5 minutos de irradiación de la prueba 1 mascarilla Kn95.

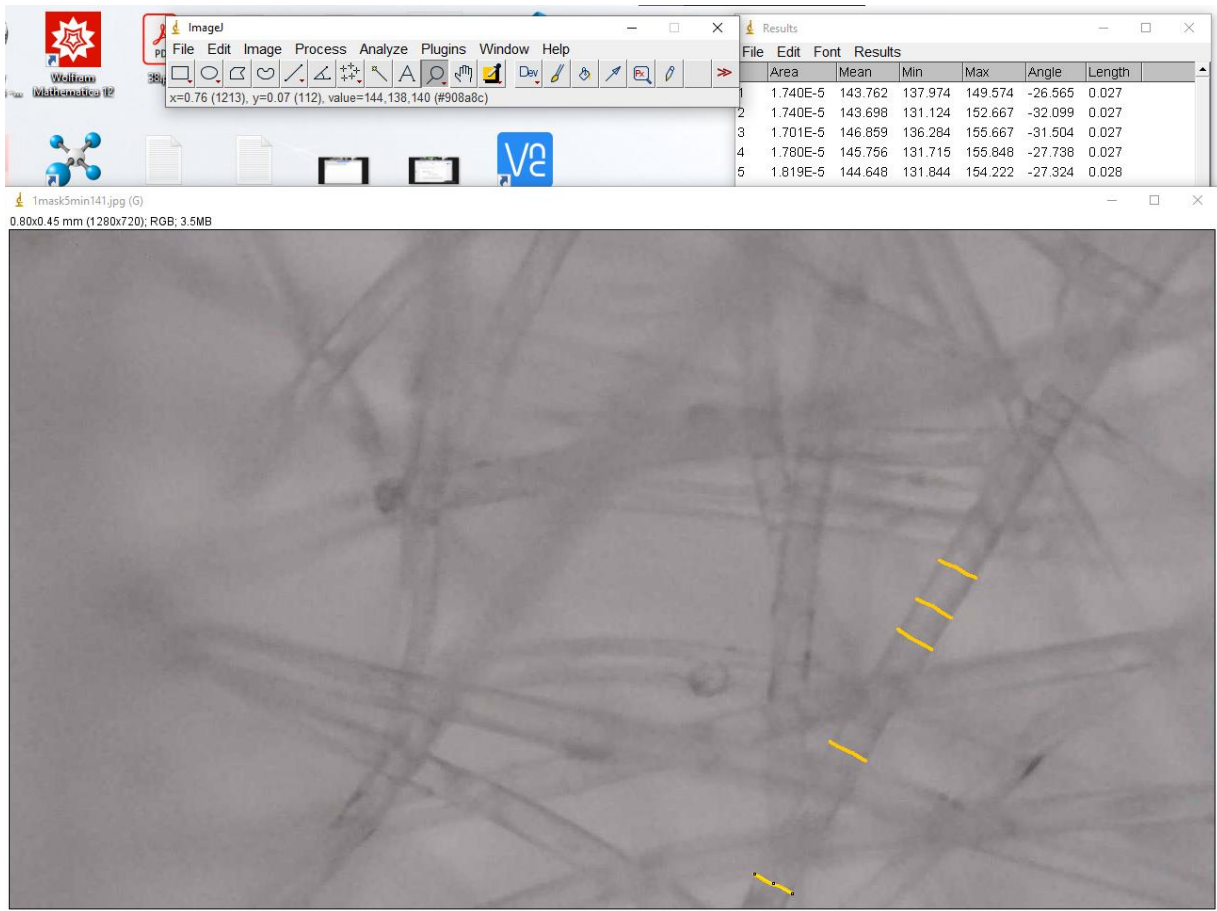


Figura 83. Mediciones fibra 1, prueba 1 Kn95 a 5 min de irradiación.

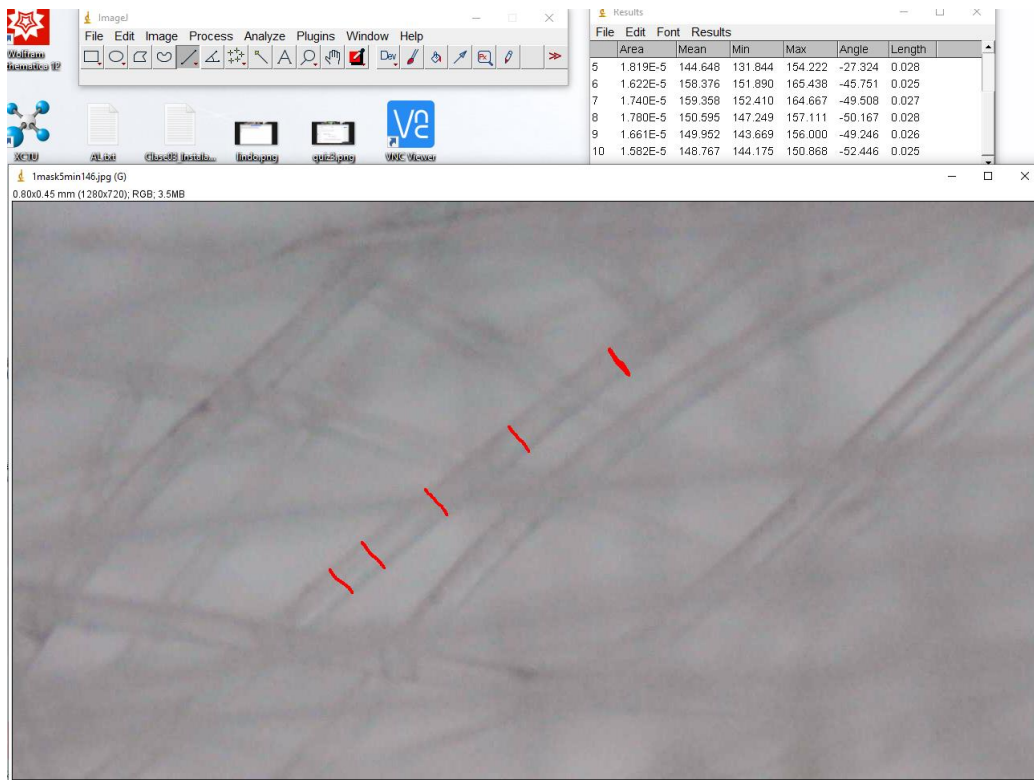


Figura 84. Mediciones fibra 2, prueba 1 Kn95 a 5 min de irradiación.

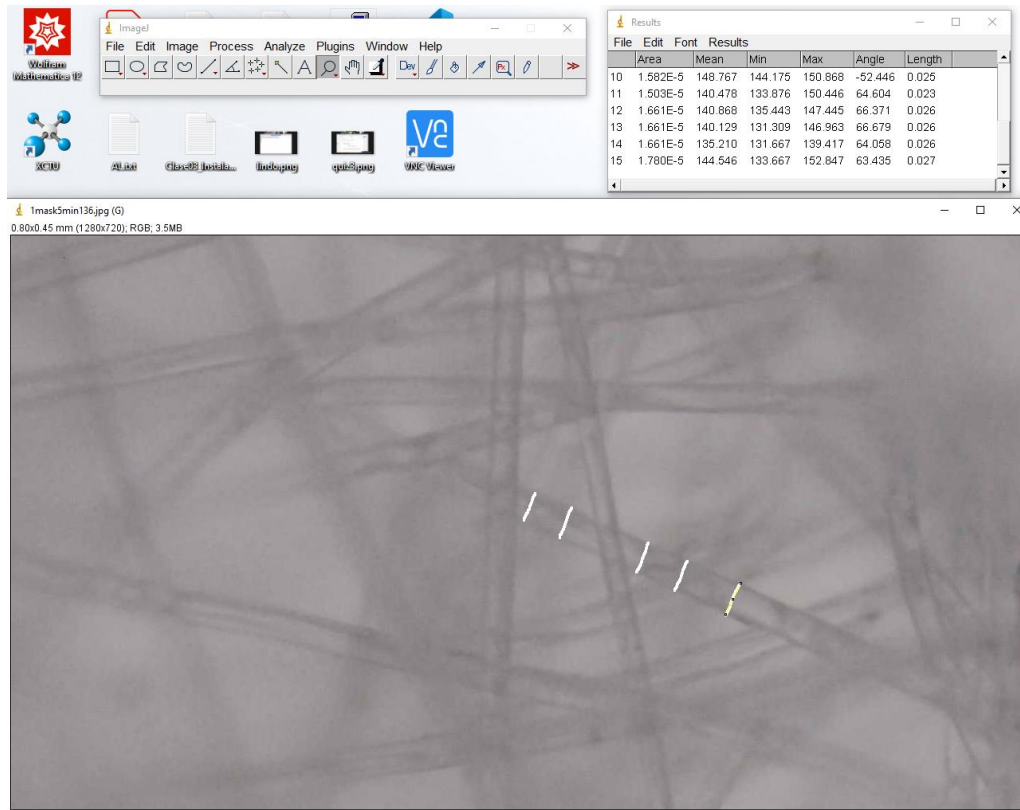


Figura 85. Mediciones fibra 3, prueba 1Kn95 a 5 min de irradiación.

Hasta el momento se muestran un total de 45 mediciones tomadas de las Prueba 1 mascarilla Kn95, 15 antes de irradiar, 15 a 3min de irradiación y 15 a 5min de irradiación.

El proceso para obtener estas 45 mediciones para la prueba 2 y prueba 3 mascarillas Kn95 es el mismo descrito anteriormente.

Medición del diámetro de fibras Prueba 2 antes de irradiar.

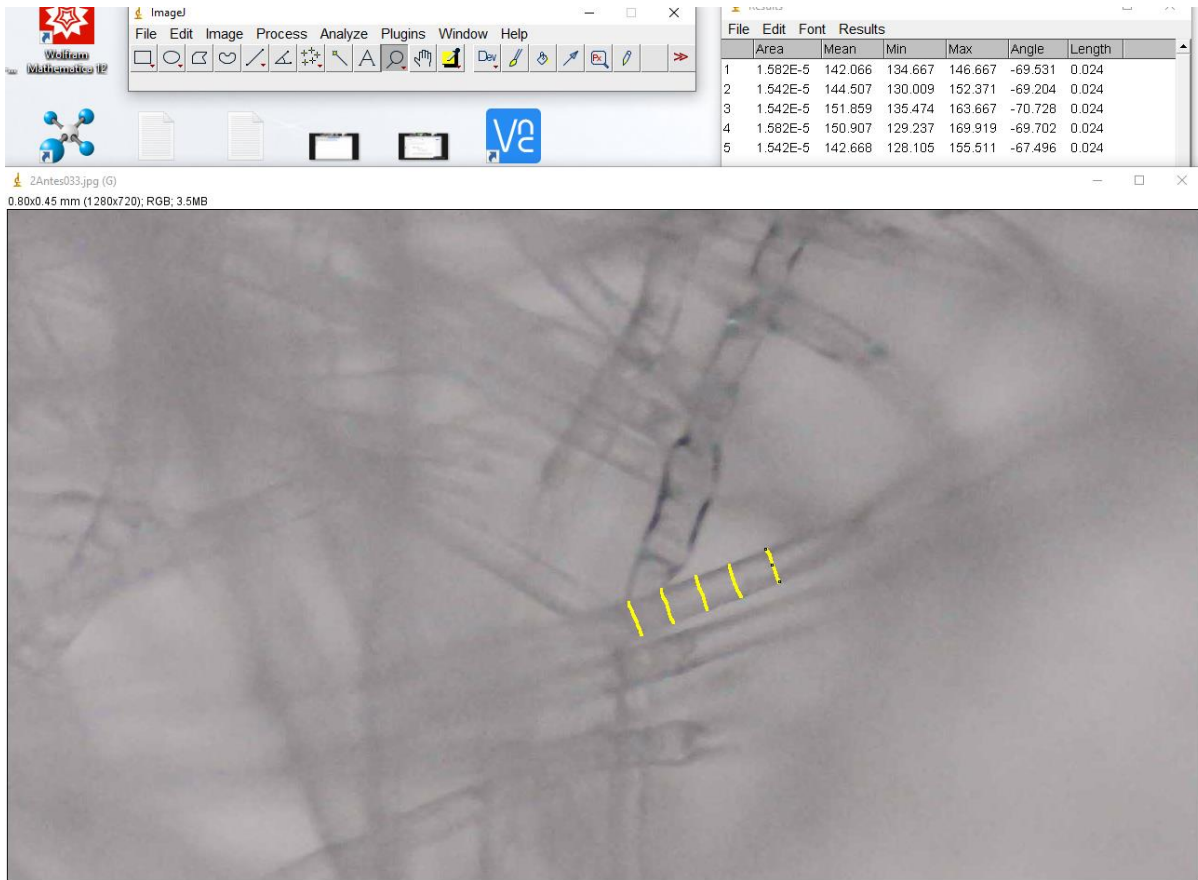


Figura 86. Mediciones fibra 1, prueba 2 Kn95 antes de irradiar.

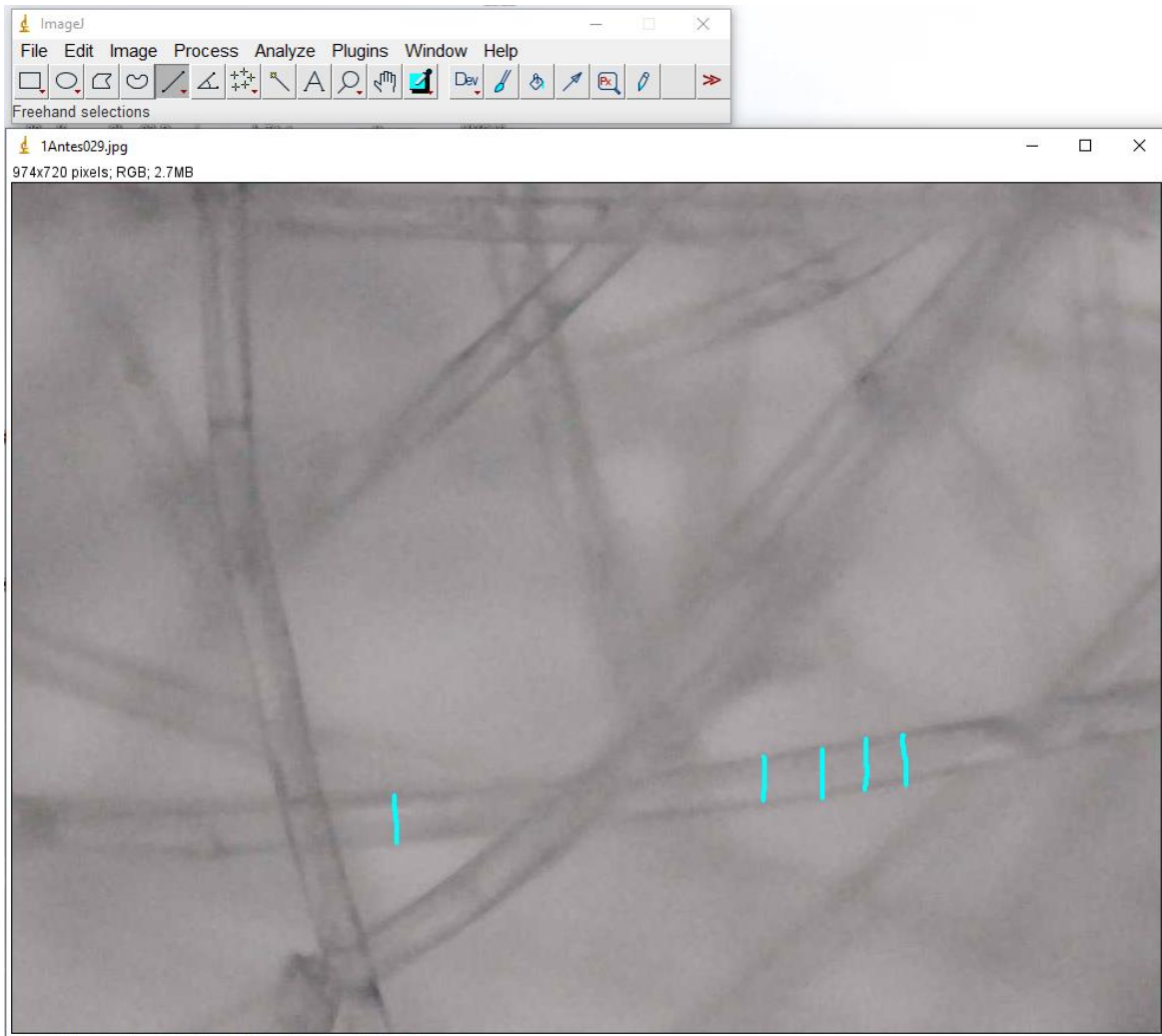


Figura 87. Mediciones fibra 2, prueba 2 Kn95 antes de irradiar.

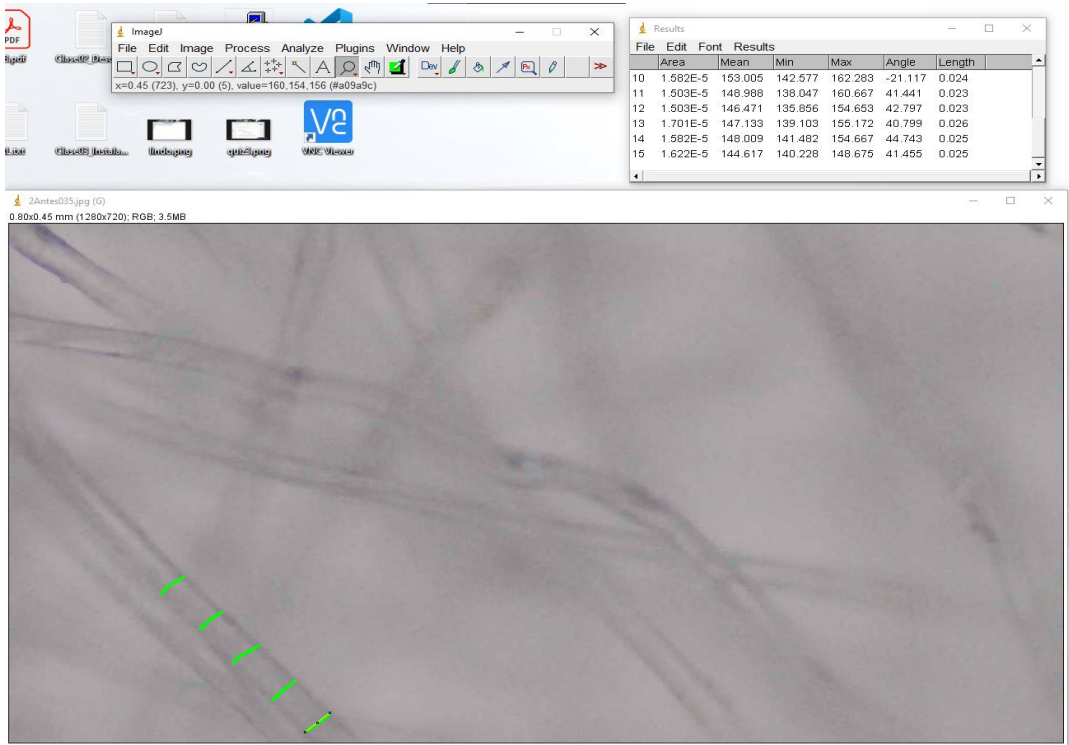


Figura 88. Mediciones fibra 3, prueba 2 Kn95 antes de irradiar.

Medición del diámetro de fibras Prueba 2 a 3min de irradiación.

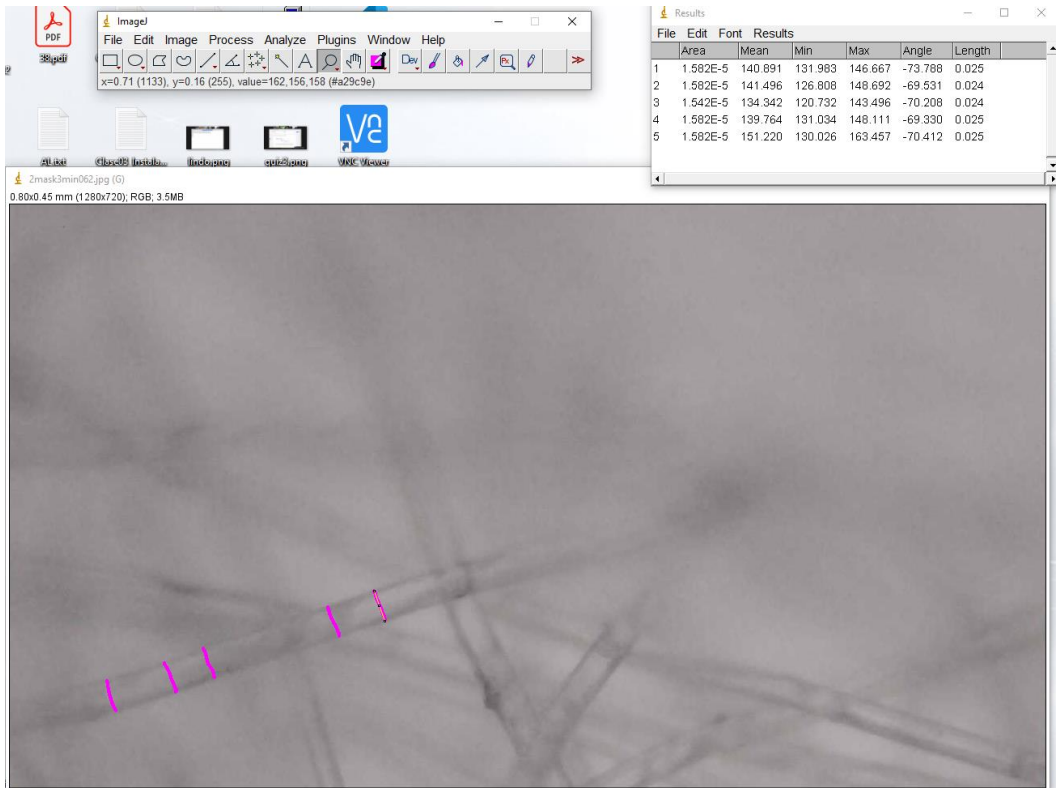


Figura 89. Mediciones fibra 1, prueba 2 Kn95 a 3 min de irradiación.

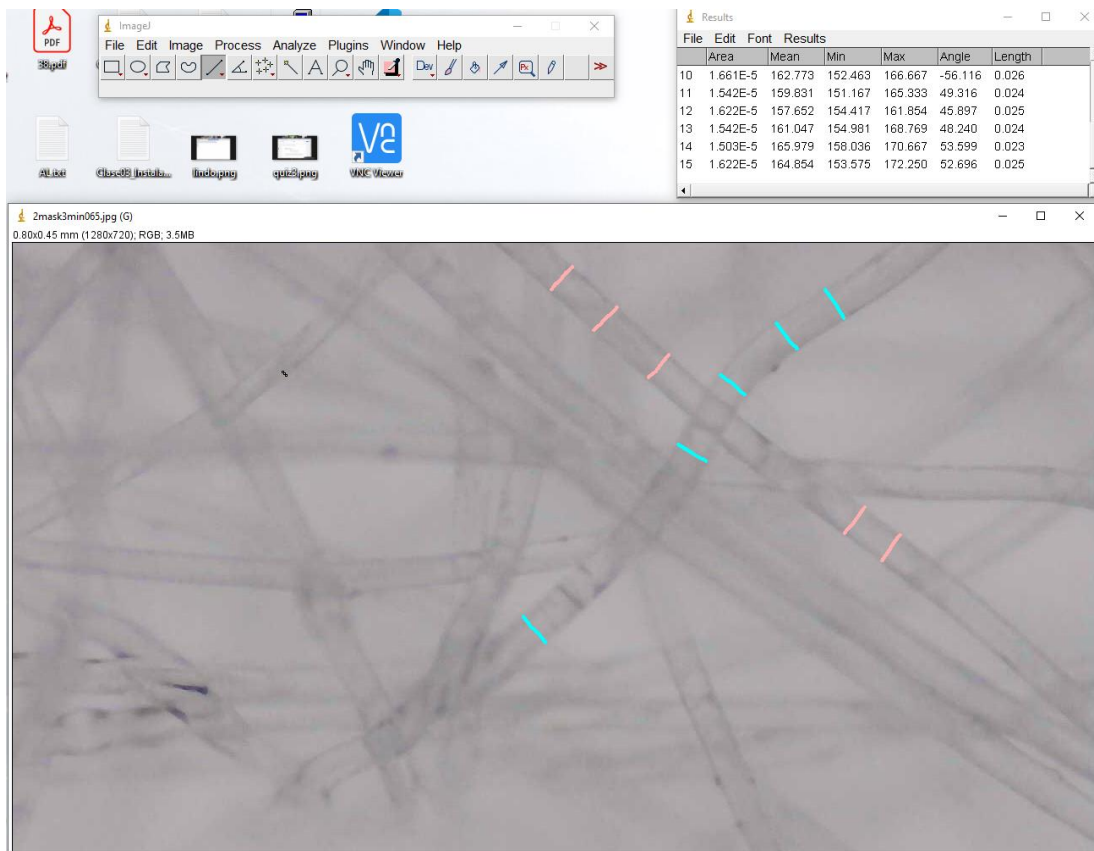


Figura 90. Mediciones fibra 2(Cyan) y fibra 3(Rosa), prueba 2 Kn95 a 3 min de irradiación.

Medición del diámetro de fibras Prueba 2 a 5min de irradiación.

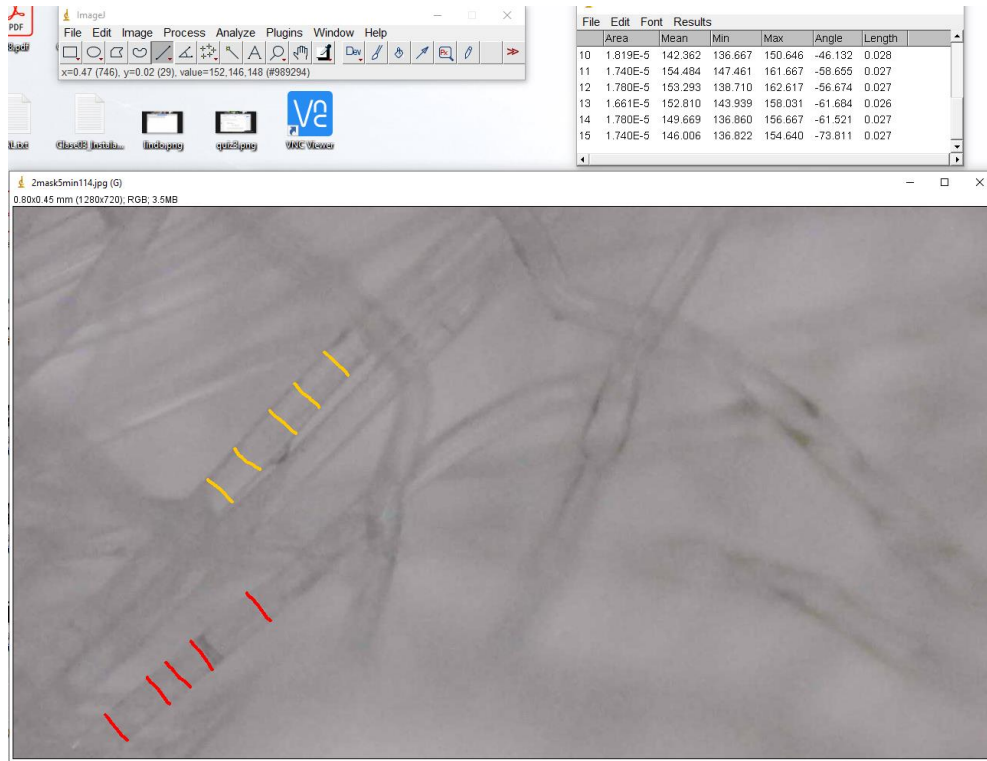


Figura 91. Mediciones fibra 1(Amarillo) y fibra 2(Rojo), prueba 2 Kn95 a 5 min de irradiación.

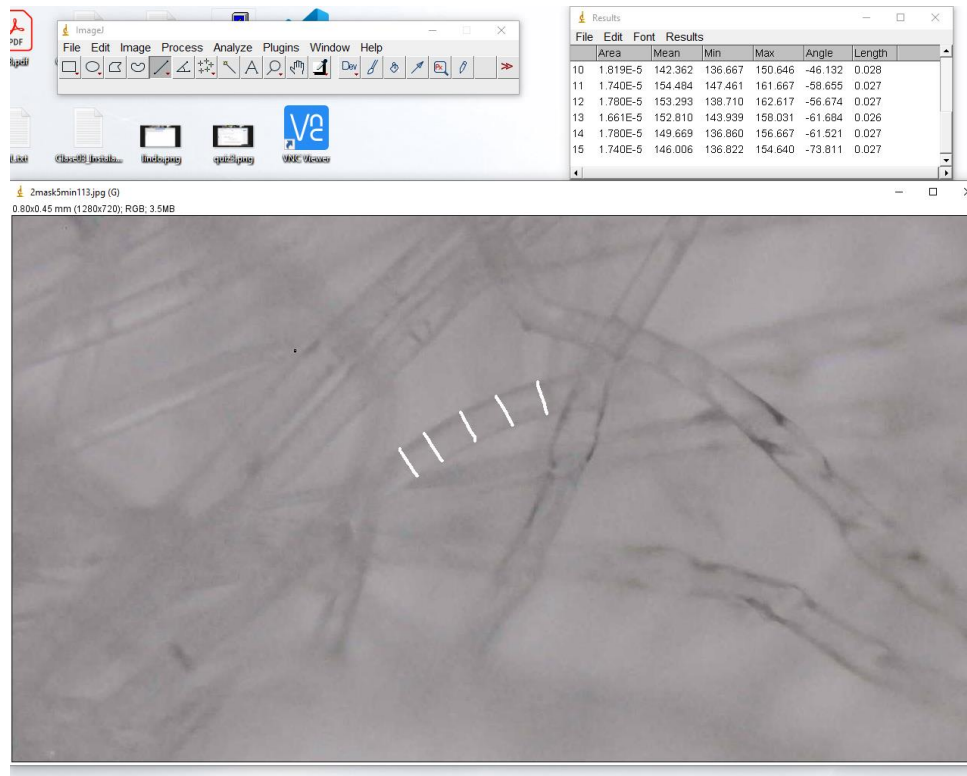


Figura 92. Mediciones fibra 3, prueba 2 Kn95 a 5 min de irradiación.

Medición del diámetro de fibras Prueba 3 antes de irradiar.

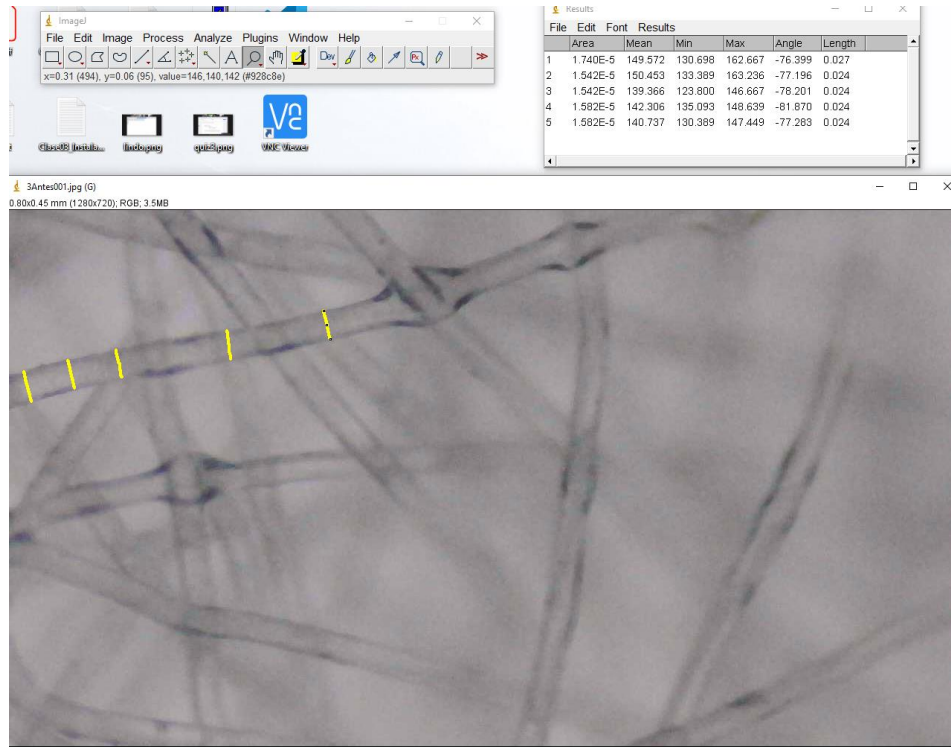


Figura 93. Mediciones fibra 1, prueba 3 Kn95 antes de irradiación.

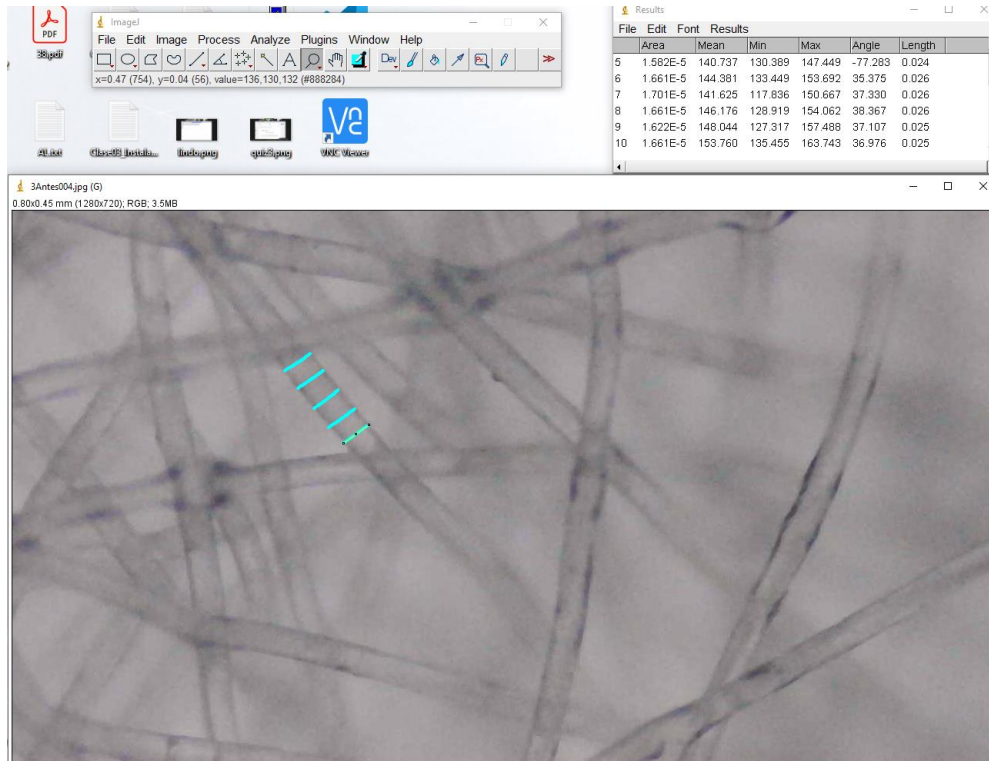


Figura 94. Mediciones fibra 2, prueba 3 Kn95 antes de irradiación.

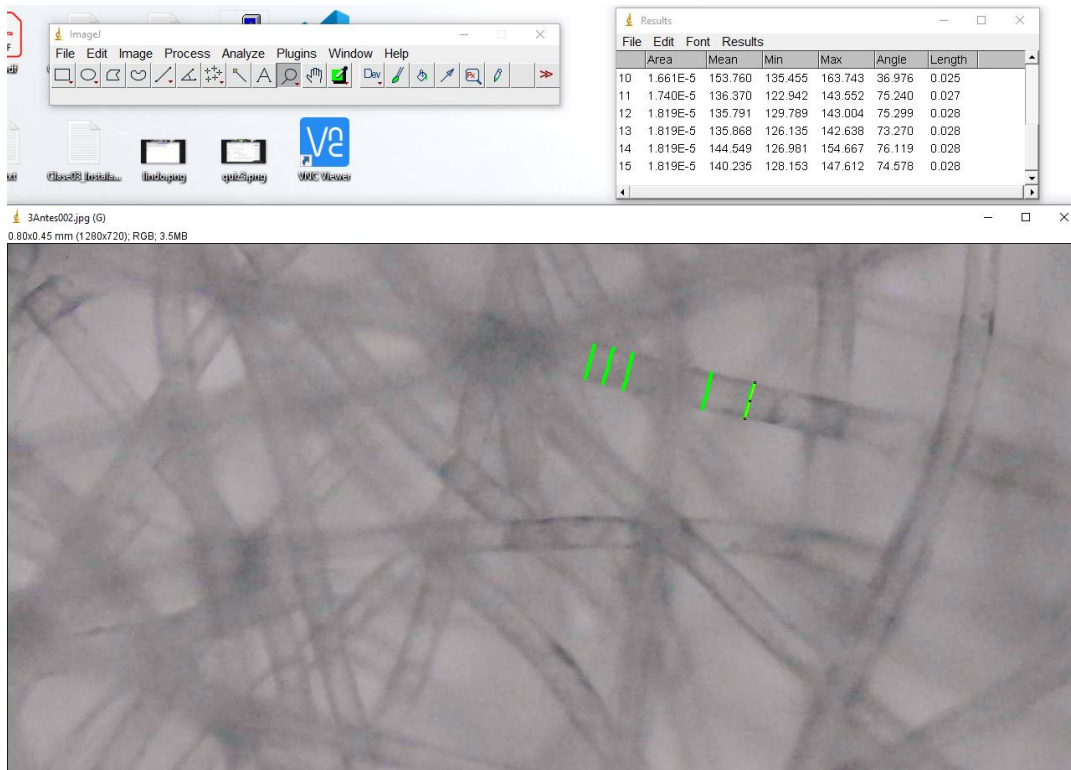


Figura 95. Mediciones fibra 3, prueba 3 Kn95 antes de irradiación.

Medición del diámetro de fibras Prueba 3 a 3min de irradiación.

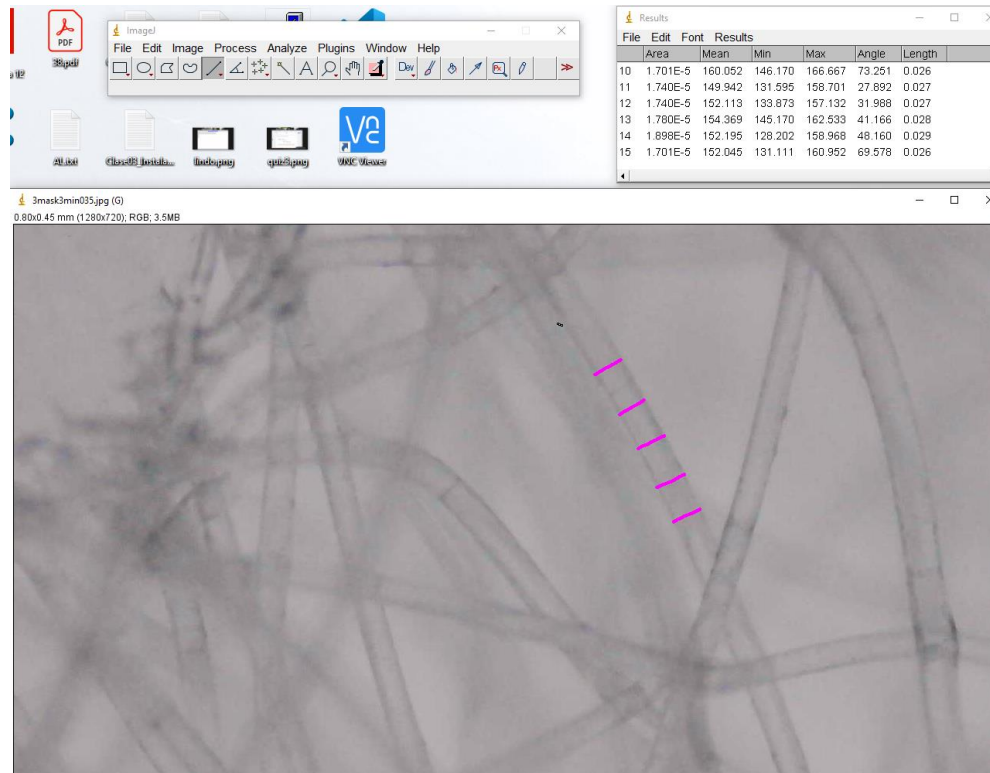


Figura 96. Mediciones fibra 1, prueba 3 Kn95 a 3 min de irradiación.

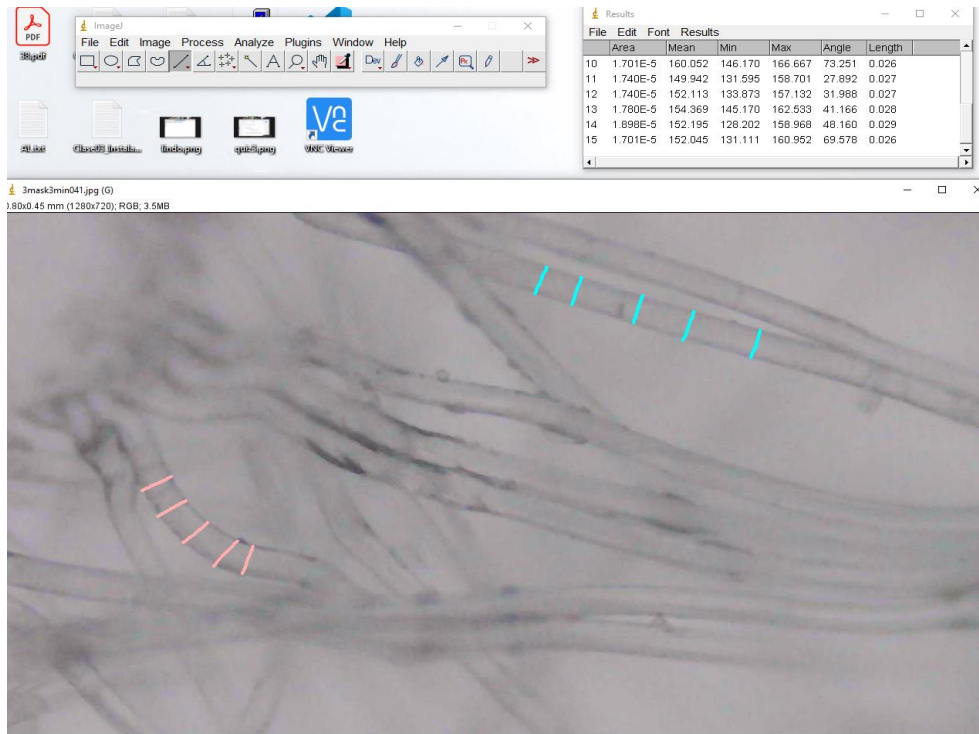


Figura 97. Mediciones fibra 2(Cyan) y fibra 3(Rosa), prueba 3 Kn95 a 3 min de irradiación.

Medición del diámetro de fibras Prueba 3 a 5min de irradiación.

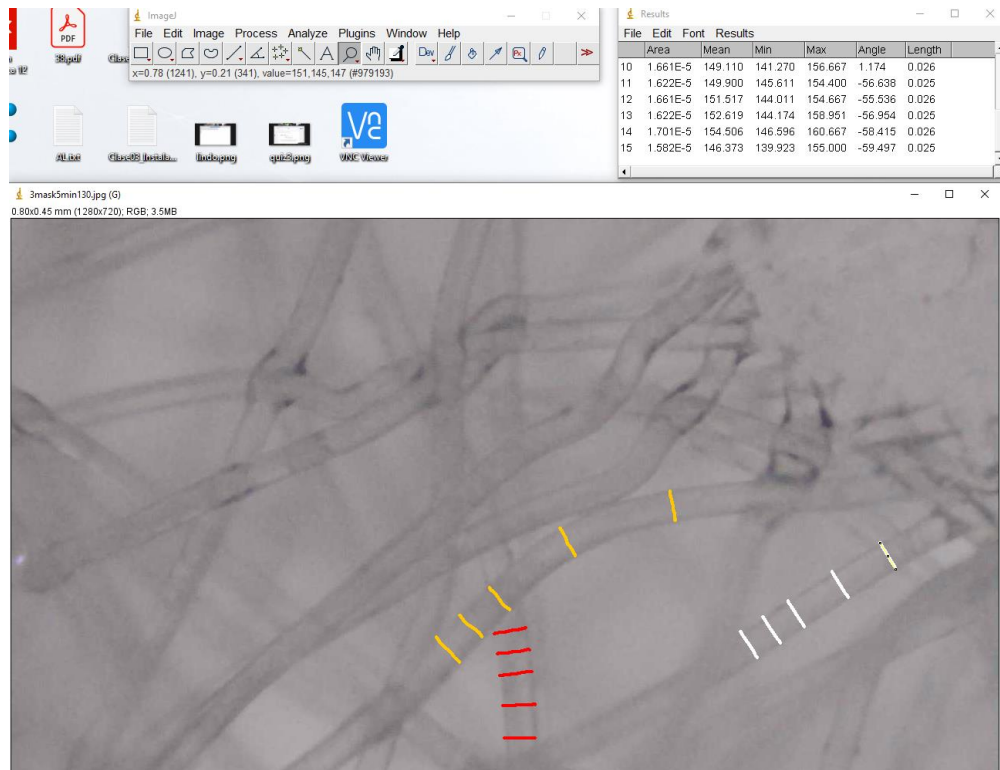


Figura 98. Mediciones fibra 1(Naranja), fibra 2(Roja) y fibra 3 (Blanca), prueba 3 Kn95 a 5 min de irradiación.

Se realizaron análisis de varianza para determinar la similitud entre los tratamientos con lo cual se obtuvo un $F=2.33$ para mascarillas kn95 y $F=3.17$ para mascarillas quirúrgicas, con un valor crítico de $F=3.06$ y $F=5.51$ respectivamente. Por lo que, usando un $\alpha=0.05$, se concluye que no hay diferencia significativa en diámetro de las fibras en la capa externa de las mascarillas usando los tratamientos de 3 y 5 minutos.

Tabla 9. Mediciones del diámetro de fibras en mascarillas kn95

Antes	3min	5min
0.023	0.023	0.023
0.023	0.024	0.024
0.023	0.024	0.024
0.023	0.024	0.024
0.023	0.024	0.024
0.024	0.024	0.024
0.024	0.024	0.024
0.024	0.024	0.024
0.024	0.024	0.024
0.024	0.024	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.025
0.024	0.025	0.026
0.024	0.025	0.026
0.024	0.025	0.026
0.024	0.025	0.026
0.025	0.025	0.026
0.025	0.025	0.026
0.025	0.025	0.026
0.025	0.025	0.026
0.025	0.025	0.026
0.025	0.025	0.026
0.025	0.025	0.026
0.026	0.025	0.026
0.026	0.026	0.026

0.026	0.026	0.026
0.026	0.026	0.026
0.026	0.026	0.024
0.026	0.026	0.024
0.026	0.026	0.027
0.026	0.026	0.027
0.026	0.026	0.027
0.026	0.026	0.027
0.027	0.026	0.027
0.027	0.027	0.027
0.027	0.027	0.027
0.028	0.027	0.028
0.028	0.027	0.028
0.028	0.028	0.028
0.028	0.029	0.028

Nuevamente se realizó una prueba de análisis de varianza para determinar si existe diferencia significativa en el diámetro de las fibras luego de cada tratamiento. Con base en el resultado se demostró que no existe diferencia significativa en el diámetro de las fibras luego de los diferentes tratamientos. En lo que concierne al experimento 2, el tratamiento de esterilización a 3 y 5 minutos, con el dispositivo diseñado, no afecta las fibras de la capa externa de mascarillas kn95 ni quirúrgicas.

Tabla 10. Análisis de varianza para medidas de diámetro de las fibras realizado en mascarillas kn95

RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
antes	45	1.126	0.025022222	2.1586E-06		
3min	45	1.139	0.025311111	1.3556E-06		
5min	45	1.153	0.025622222	1.6949E-06		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	8.1037E-06	2	4.05185E-06	2.33352724	0.100940718	3.064760677
Dentro de los grupos	0.0002292	132	1.73636E-06			
Total	0.000237304	134				

7. Conclusiones

De acuerdo con los experimentos de análisis por selección de área, las mascarillas quirúrgicas tuvieron correlaciones promedio control-3min de 0.9186 y correlación control-5min de 0.8487. Para las mascarillas KN95 las correlaciones promedio son control-3min 0.9830 y control-5min 0.9178.

En el análisis de diámetro de las fibras no se encontró diferencia significativa entre todos los tratamientos. Por lo que el análisis estadístico demuestra que las fibras tienen en promedio el mismo diámetro antes del tratamiento, a los 3 minutos y a los 5 minutos de tratamiento.

La dosis aplicada de radiación UVC a 254nm no tiene impacto en la integridad del material de la capa externa de las mascarillas, ya que no se encontró evidencia visual de formación de aglomerados poliméricos, ni en un área determinada, ni en las fibras individuales.

La radiación UVC es un método conveniente para el tratamiento de esterilización de mascarillas, que a diferencia de otros no daña el material, ya que el material no es sometido a altas temperaturas ni humedad. Sin perder la capacidad de inactivar virus y microorganismos.

El uso de una aplicación móvil ayuda a tener un control preciso y facilita la creación de registros en hospitales y empresas para saber cuándo un lote de mascarillas está esterilizado y cuánto tiempo de tratamiento recibió. Así mismo, ayuda para el uso en casa, ya que se puede mantener alejado del dispositivo antes, durante y después de la irradiación, evitando quemaduras y minimizando el riesgo de exposición.

La radiación UVC a 254nm es un método de esterilización de fácil acceso y bajo costo (700 a 3000 pesos mexicanos), pero la mayoría de los productos para uso en casa no cuentan con certificación alguna como FDA o COFEPRIS, por lo que la seguridad del usuario no está garantizada, y existe un alto riesgo de sobreexposición por contacto directo sobre la piel y ojos.

Referencias

Biasin, M. (2021). UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Nature*.

- Bondaroff, T. P. (2020, Dec). *Masks on the Beach: The impact of COVID-19 on Marine Plastic Pollution*. Retrieved from oceansasia.org: <https://oceansasia.org/es/covid-19-facemasks/>
- Buonanno, M. W. (2020). Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. *Nature*.
- California Department of Public Health. (2020). *cdph.ca.gov*. Retrieved from Appendix 4. Ultraviolet (UV) Inactivation Doses and Information about UV Germicidal Irradiation (UVGI) Applications and Safety: <https://www.cdph.ca.gov/Programs/CCDC/DEOD/EAH/IAQ/CDPH%20Document%20Library/Appendix%204%20-%20UVGI.pdf>
- Elsaid, A. M. (2021). A critical review of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems within the context of a global SARS-CoV-2 epidemic. *Process Safety And Environmental Protection*, 155, 230-261.
- Fenin. (2020, Abril 22). *Federación Española de Empresas de Tecnología Sanitaria*. Retrieved from Tipos de mascarillas: <https://www.fenin.es/resources/audiovisual-infografia/681>
- Giuliani-Hoffman, F. (2020, Junio 24). Conservationists warn Covid waste may result in 'more masks than jellyfish' in the sea. *CNN*, pp. <https://edition.cnn.com/2020/06/24/us/plastic-pollution-ocean-covid-waste-trnd/index.html>.
- Herrera, G. A. (2020, Junio 30). *Noticio*. Retrieved from Radiación Ultravioleta (uv) un aliado contra los microorganismos.: <https://www.cio.mx/noticio/articulo.php?se=802584&s=11147&gh=601938>
- Kowalski, W. &. (2020). 2020 COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility. *PurpleSun*.
- Madigan, M. T. (2004). *Brock biología de los microorganismos*. Pearson Education.
- Maguiña Vargas, C. G. (2020). El nuevo Coronavirus y la pandemia del Covid-19. *Revista Médica Herediana*, 125-131.
- Millán Villarroel, D., Romero González, L., Brito, M., & Ramos-Villarroel, A. Y. (2015). Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 454-469.

- OpenCV. (2022, 05). *Histogram Comparison*. Retrieved from Open Source Computer Vision: https://docs.opencv.org/3.4/d8/dc8/tutorial_histogram_comparison.html
- SEFAP. (2020). *Mascarillas: ¿qué tipos existen y qué requisitos deben cumplir?* Retrieved from <https://www.sefap.org/2020/04/27/mascarillas-que-tipos-existen-y-que-requisitos-deben-cumplir/>
- Sociedad Española de Medicina de Urgencias y Emergencias. (2020, 04 23). *¡Pon una mascarilla en tu vida! No es egoísmo, es solidaridad*. Retrieved from <https://www.semes.org/semes-divulgacion/pon-una-mascarilla-en-tu-vida-no-es-egoismo-es-solidaridad/>
- Tortora, G. (2007). *Introducción a la Microbiología*. Ed. Médica Panamericana.
- US EPA. (2016). *Efectos de la radiación UV en la salud*. Retrieved from <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-de-la-radiacion-uv-en-la-salud>
- Vender, A. V. (2018, Abril). *Estructura y Función de la Piel*. Retrieved from Sintesis. Ministerio de Salud de Chile: <https://sintesis.med.uchile.cl/index.php/en/respecialidades/r-dermatologia/103-revision/r-dermatologia/2459-estructura-y-funcion-de-la-piel>
- Yeh, J. (2020, Agosto 14). *Where did 5,500 tonnes of discarded face masks end up?* Retrieved from Greenpeace.org: <https://www.greenpeace.org/international/story/44629/where-did-5500-tonnes-of-discarded-face-masks-end-up/>
- Zhao, Z. (2020). Germicidal Ultraviolet Light Does Not Damage or Impede Performance of N95 Masks Upon Multiple Uses. *Environmental Science & Technology Letters*, 600-605.