

---

# Valoración de la transmisión de iluminación en materiales de Endoscopia

## *Assessment of light transmission in Endoscopy materials*

---

Trabajo de Fin de Grado

Departamento de Obstetricia y Ginecología, Servicio de Obstetricia y Ginecología del Hospital  
Universitario Nuestra Señora de la Candelaria

Autora: Carlota Sofía Sangüesa Trujillo

Director: Dr. Armando Molina Betancor

Co-directora: Doctora en Informática Silvia Alayón Miranda

Convocatorio de Junio de 2022



## RESUMEN Y PALABRAS CLAVES

Poder observar el interior del cuerpo humano sin realizar antes grandes incisiones, un sueño inmemorial de la Medicina, ha sido posible con el desarrollo de la Endoscopia. La introducción de una lente en el interior de una cavidad cerrada sería inútil sin la iluminación adecuada, y el desarrollo de fibra de vidrio brinda esta capacidad de manera inocua a través de la transmisión de la Luz Fría.

Esta Luz Fría, filtrada de frecuencias infrarrojas, es obtenida de un generador periférico y transmitida mediante un cable de fibra óptica hasta la lente.

La fibra óptica, material delicado, pierde sus propiedades transmisoras por pequeñas fracturas en su cubierta, torsión, golpe o ciclos de calentamiento en el uso o esterilización. El material de endoscopia sufre deterioro progresivo con el uso, hasta poner en peligro el éxito del procedimiento.

En materiales de gran grosor, como lentes de 10mm de laparoscopia o endoscopios digestivos gruesos, este deterioro es evidente, pero en lentes de 1-4mm (histeroscopios, cistoscopios, artroscopios, toracoscopios) las consecuencias pueden ser dramáticas.

Este proyecto analiza las bases teóricas y técnicas de una herramienta que permita al facultativo monitorizar este deterioro e identificar la causa del problema (óptica, fibra del endoscopio, cable de luz fría, generador...) cuando no se obtiene una imagen óptima, mediante el uso de la cámara de un teléfono móvil para medir la luminosidad de la lente o el cable, obteniendo un punto de corte válido, y culmina desarrollando una aplicación web que realice la determinación en la misma sala de exploración.

**Palabras claves:** endoscopio, teléfono móvil, aplicación, fibra óptica, luminosidad, degradación

## ABSTRACT AND KEYWORDS

Being able to observe the inside of the human body without first performing large incisions, an immemorial dream of Medicine, became possible with the development of Endoscopy. The insertion of a lens into a closed cavity would be useless without adequate illumination, and fibreglass development harmlessly provides this capability through the transmittance of Cold Light.

This Cold Light, filtered from infrared frequencies, is generated by a peripheral generator and transmitted via a fibre optic cable to the optical instrument.

Optical fibre, a fragile material, loses its transmitting properties due to slight fractures in its cladding by twisting, impacts or heating cycles in usage or sterilization. Endoscopy equipment gradually deteriorates with use, to the point of endangering the procedure's success.

For thick materials, such as 10mm lenses for laparoscopy or large digestive endoscopes, the deterioration is evident, but in lenses of 1-4 mm (hysteroscopes, cystoscopes, arthroscopes, thoroscopes), the consequences can be tragic.

This project analyzes the theoretical and technical bases of an instrument that allows the professional to monitor this deterioration and identify the origin of the problem (optics, endoscope fibre, cold light cable, generator) when an optimal image is not obtained through the use of a mobile phone camera to measure the brightness of the lens or the cable, getting a valid brightness cut-off point, and culminates in the development of a web application that executes the determination in the actual examination room.

**Keywords:** endoscope, mobile phone, application, fiber optics, luminosity, degradation

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
ORÍGENES DE LA ENDOSCOPIA.....	7
<i>La fibra de vidrio</i> .....	8
<i>Generalidades de las fibras ópticas</i> .....	9
<i>Cladding</i> .....	10
ENDOSCOPIO.....	10
<b>HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	<b>15</b>
UBICACIÓN .....	15
SOPORTE .....	15
CÁMARAS .....	17
PROGRAMA INFORMÁTICO.....	17
ANÁLISIS COMPARATIVO.....	20
TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS PARA EL DESARROLLO DE LA WEB/APP.....	21
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>23</b>
COMPARACIÓN DATOS CABLE EN BUEN ESTADO CON CABLES EN PEOR ESTADO .....	23
COMPARACIÓN IPHONE VS XIAOMI .....	24
COMPARACIÓN IPHONE INTERIOR VS IPHONE EXTERIOR .....	26
COMPARACIÓN DATOS ENTRE TODOS LOS GRUPOS.....	28
COMPARACIÓN CAJA Y BIGOTES EN EL 60% .....	28
WEB/APLICACIÓN MÓVIL: FIBERTRY .....	29
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>33</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>37</b>
LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN .....	37
<b>¿QUÉ HE APRENDIDO DURANTE ESTE TFG?</b> .....	<b>39</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>40</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>42</b>
ANEXO 1 - TIPOS DE FIBRAS .....	42
ANEXO 2 - HISTORIA DE LA FIBRA ÓPTICA EN LAS COMUNICACIONES.....	43
ANEXO 3 - REFLEXIÓN TOTAL INTERNA, LEY DE SNELL-DESCARTES Y ECUACIÓN DE FRESNEL .....	44
ANEXO 4 - DISEÑO DE LA CAJA SUPERIOR.....	46
ANEXO 5 - COMPARACIÓN FIBRAS EN BUEN ESTADO VS PEOR ESTADO.....	47
ANEXO 6 - COMPARACIÓN IPHONE VS XIAOMI DETALLADA .....	50
ANEXO 7 - COMPARACIÓN IPHONE INTERIOR VS IPHONE EXTERIOR DETALLADA.....	52
ANEXO 8 - TEXTO DE LA ZONA DE ESCÁNER.....	54

# INTRODUCCIÓN

El interior del cuerpo humano ha sido un enigma fascinante que la Medicina ha logrado descifrar tras desterrar milenarios prejuicios y prohibiciones, y gracias también a numerosos avances científicos que mediante múltiples soluciones tecnológicas han permitido disipar grandes y ancestrales incógnitas sobre su funcionamiento y enfermedades.

Alcanzar un diagnóstico o realizar un tratamiento sin originar gran quebranto de la integridad física ni distorsionar gravemente el funcionamiento normal no siempre fue factible, convirtiéndose en un sueño para distintas generaciones de médicos.

El desarrollo de sistemas ópticos que permiten la observación y tratamiento del organismo a través de orificios o pequeñas incisiones, en otros términos, la Endoscopia, ha dado cumplida cuenta de esa ensoñación centenaria.

Esta maestría se basa en la visualización del interior de cavidades virtuales o reales del interior del cuerpo humano mediante la introducción de sistemas ópticos de pequeño calibre que cuentan con iluminación propia.

Los distintos tipos de endoscopia se categorizan según el sistema de transmisión de imágenes:

- Cilindros de cristal en vaina rígida (Hopkins, 1967): el vehículo por el que la iluminación viaja a través del endoscopio es un conjunto de varillas o de lentes convencionales por los que la luz se irá reflejando hasta proyectarse. Este sistema se encuentra en el interior de una vaina rígida con un diámetro apenas unos milímetros superiores al sistema óptico. La lente de campo será la encargada de transmitir la luz a través del eje largo. En este tipo de endoscopios, las lentes deben ser telecéntricas. [1,2]
- Haces coherentes de fibra de vidrio en vaina flexible (Hopkins y Kapany, 1954): el medio de transporte de la luz es mediante fibras de vidrio. La diferencia entre este tipo de endoscopia y la vaina rígida es mecánica. Las lentes convencionales se ven reemplazadas por millares de fibras de vidrio flexibles de entre 5 y 25  $\mu\text{m}$  de diámetro, siendo el haz en su completo de 0,2 a 3 mm, y la longitud de estas fibras puede llegar a los 2 m. Para transportar la luz mediante varios rayos estas fibras son multimodo (Anexo 1) y se organizan de forma aleatoria, por tanto, reciben el término conjunto

incoherente, pues la que se son coherentes serás las encargadas de transmitir la imagen a la cámara. [1, 3, 4]

- Semiconductores con respuesta a fotones (CMOS-CCD) chip-en-la-punta: de diámetro más pequeño y con una recogida de imágenes a través de un sensor. [1]

Pero todos tienen en común la forma en que se ilumina la cavidad interna: mediante la salida de luz por el extremo de la lente.

Este sistema de iluminación consiste actualmente en: (Fig 1) [5, 6]

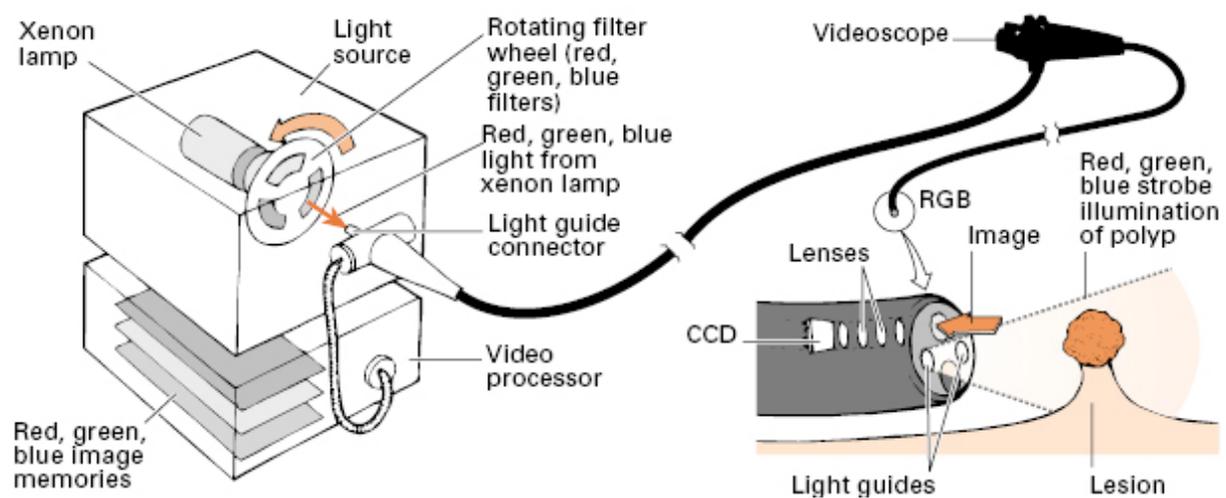


Figura 1. Secuencia de iluminación del libro *Practical Gastrointestinal Endoscopy, The Fundamentals de Cotton y Williams*.

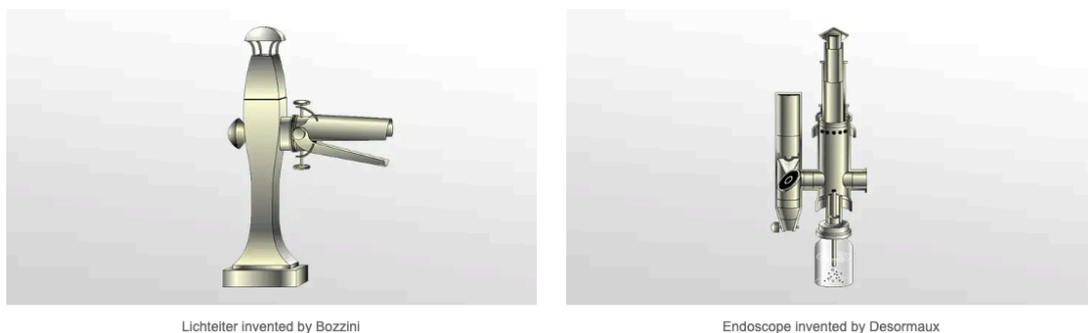
- Generación de un haz de luz de suficiente potencia mediante lámparas halógenas o de Xenón con “colimación” de haces paralelos y filtrado de radiación infrarroja, denominada Luz Fría. [5, 6]
- Transmisión de dicho haz hasta la lente mediante un “cable” de fibra óptica o cristal líquido (no utilizado en nuestro medio). [5, 6]
- Transmisión a lo largo de la lente del haz luminoso mediante fibra de vidrio fusionadas hasta proyectarla en los bordes de la punta de la lente. [5, 6]

El primer elemento suele permanecer estable junto a otros elementos electrónicos necesarios, pero los dos últimos, pese a ser delicados, son sometidos a múltiples usos y procesos de manipulación, limpieza y esterilización, lo que provoca su deterioro progresivo.

## **ORÍGENES DE LA ENDOSCOPIA**

Precedentes del endoscopio o instrumentos similares se remontan a tiempos de los antiguos griegos y de los romanos, encontrándose ya entre las ruinas de Pompeya un prototipo. [1, 7, 8]

Es destacable que la historia de la endoscopia se desarrolla en el continente europeo. Los primeros avances que se hacen en el campo de la endoscopia se remontan a 1805 cuando el alemán Philipp Bozzini explora el tracto urinario, recto y faringe con un tubo al que llamó “Lichtleiter”. De su traducción en alemán, fibra óptica. Pero la primera vez que se acuñó el término de Endoscopio fue en 1853, cuando el francés Antoine Jean Desormeaux diseñó un aparato específico para examinar el tracto uterino y la vejiga. (Fig 2) [1, 7, 8]



*Figura 2. Endoscopios de Bozzini y Desormaux del museo de Olympus.*

No sería hasta 1868 cuando se tendría éxito en observar el interior del estómago, gracias al doctor alemán Adolph Kussmaul. Diez años más tarde, Max Nitze y Josef Leiter inventaron un cistouretróscopio y en 1881, Johann von Mikulicz y sus asociados pusieron en juego el primer gastroscopio rígido. Esto acabaría evolucionando en 1932 cuando el Dr. Rudolph Schindler inventa el gastroscopio flexible, de 75cm de largo y 11mm de diámetro. (Fig 3) [1, 7, 8]

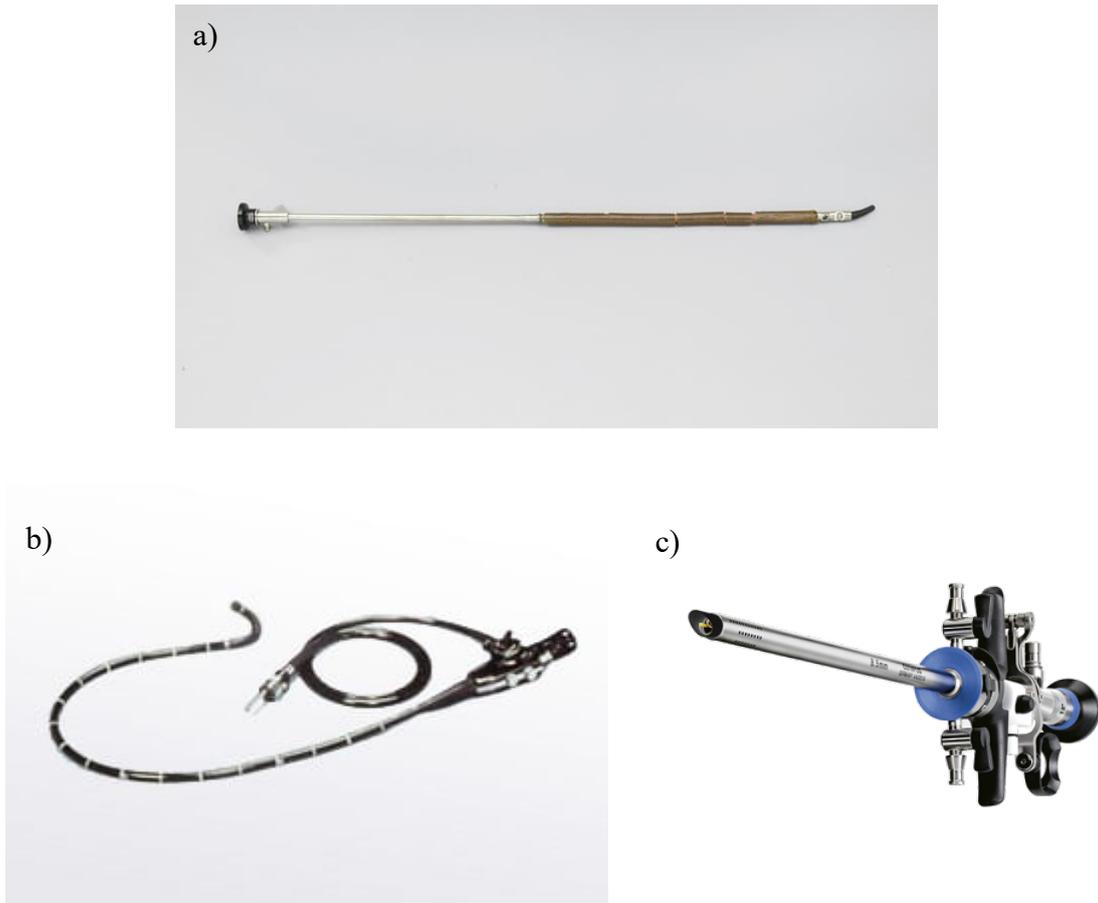


Figura 3. a) Gastrosocpio de Schindler del museo Olympus. b) Primer prototipo de un fibroscopio del museo Olympus. c) Histeroscopio TCRIS 2.0 de Olympus,

## **FIBRA ÓPTICA**

### *La fibra de vidrio.*

La fibra de vidrio se remonta hasta los antiguos fenicios y egipcios, siendo estas dos civilizaciones las primeras en fabricarlas, pero sin saber que tan preciado invento tenían a su alcance. [9]

El descubrimiento de las fibras de vidrio no es distinto a cualquier otro, se dice que su hallazgo fue casual cuando unos moradores del desierto (beduinos) encontraron unos hilos de vidrio que se habían formado por la fusión de la arena al contacto con el fuego. Pero no sería hasta el siglo XVIII que se harían los primeros estudios sobre estas fibras, utilizándose posteriormente en la industria textil. Y es en el siglo XX cuando comienzan las investigaciones sobre lo que hoy en día se conoce como fibra de vidrio y se extiende su uso a distintos ámbitos. (Anexo 2) [9]

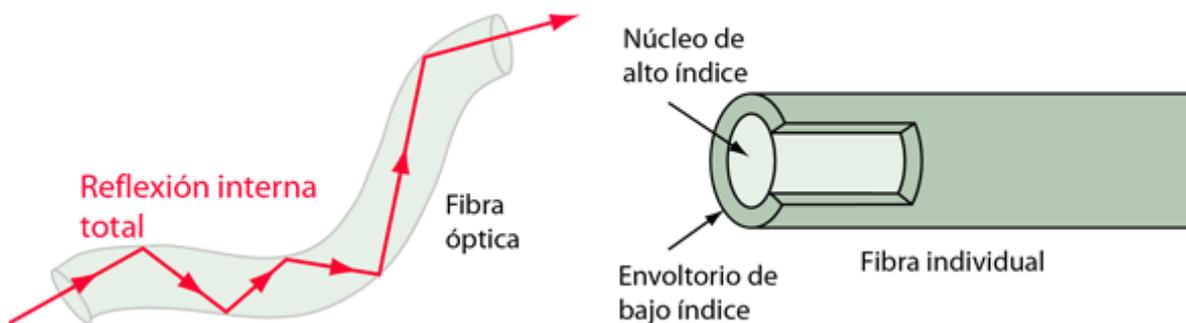
### *Generalidades de las fibras ópticas.*

Hoy en día la fibra óptica es un hilo flexible, muy delgado (de 125  $\mu\text{m}$ ) y transparente que transmite una onda luminosa. Se fabrican de vidrio ( $\text{SiO}_2$ ) o de plástico.

La transmisión de esa onda luminosa se basa en los principios físicos de la refracción y reflexión. [10]

La composición de la fibra óptica es: (Fig 4) [10]

- Núcleo: es la parte más interna y su diámetro varía entre los 4 y 1000  $\mu\text{m}$ . Formado por vidrio, material dieléctrico. [10, 11]
- Revestimiento o cladding: envuelve al núcleo, fabricado también con vidrio, pero con índices de refracción menores con el objetivo de producir el fenómeno de reflexión interna total. [10, 11]
- Cubierta o buffer: capa más externa. Suele ser de plástico para proteger de los manejos mecánicos a las otras dos partes. La rotura de esta supone una pérdida en la continuidad de la fibra y del revestimiento, por ello, se pierde el fenómeno de reflexión interna total (Anexo 3) y con ello la transmisión de la luz. [10, 11]



*Figura 4. Fenómeno de reflexión y composición de una fibra óptica por HyperPhysics*

Entre sus ventajas destacan el pequeño diámetro y las bajas pérdidas en la transmisión de la luz y entre sus desventajas están su fragilidad y sensibilidad.

### *Cladding.*

El Cladding o revestimiento está formado por una o más capas de material cuyo índice de refracción es menor que el del núcleo, produciéndose el fenómeno de reflexión interna total. Esto surge en 1953 de la mano del científico holandés Bram van Heel, mejorando así la transmisión de la luz a través de las fibras. Existen materiales que permiten que el revestimiento también propague la luz. [11]

### *Principio de propagación de la luz – reflexión y refracción*

Los fenómenos de reflexión y refracción suceden cuando el haz de luz topa con una superficie dieléctrica. Al llegar a esa superficie se proyectan dos haces, uno reflejado y otro refractado siguiendo ambos la **Ley de Snell-Descartes** (Anexo 3). Esta relaciona los haces entre sí a través de los ángulos: [12]

$$n_1 \text{ sen}(\theta_i) = n_2 \text{ sen}(\theta_r)$$

Por otro lado, la **Ecuación de Fresnel** [13] calcula la distribución de la potencia óptica entre los dos haces que se han generado en función de unos coeficientes de campo dependientes de los ángulos de incidencia y de la polarización de la luz incidente.

Independientemente del ángulo de entrada de la luz en la fibra se producirá el fenómeno de reflexión interna total [14] que se produce cada vez que los fotones tratan de salir del núcleo y entrar en la cubierta. En este fenómeno, el ángulo de entrada es igual al de salida y, por tanto, las siguientes reflexiones mantienen el ángulo de entrada a la fibra.

## **ENDOSCOPIO**

El equipo de endoscopia [1, 5, 6] cuenta con distintas partes:

- Sistema de imagen: convierte la imagen que recibe una cámara CCD en la base del endoscopio en una señal de video que se proyecta en un monitor. En nuestro proyecto no toma parte alguna. [1, 5, 6]
- Endoscopio: constituido por tres partes que se encargan de la transmisión de la luz, la recogida de la imagen obtenida y de aquellas partes implicadas en la realización o facilitación del proceso a realizar. En su parte más fina, aquella que se introduce en la

cavidad, pueden tener un diámetro de 1-15 mm y una longitud de 22-1800 mm. [1, 5, 6]

- Mando de control: constituye la parte con la que se maneja la punta del endoscopio. En todos los endoscopios contiene los controles o accesos para utilizar herramientas y accesorios, mientras que en los endoscopios flexibles otorga la posibilidad de mover la punta para poder tener una visión de 360 grados.

Asimismo, con esta parte se regula la entrada del medio de distensión y la salida, pasiva o por succión, de fluidos que se encuentren durante la intervención. Por otra parte, cuenta con un canal de trabajo por el que introducir los elementos de biopsia o actuación quirúrgica que se usan en endoscopia (como es el caso del histeroscopia). [1, 5, 6]

- Punta o zona de inserción: esta parte, alargada y recta, está formada por cuatro partes:
  - Lentes y sensor de imagen. La lente normalmente es un tipo de lente súper angular, con el objetivo de tener un mayor campo de visión. Algunos endoscopios cuentan con la capacidad de poder hacer zoom en los tejidos que se observan, facilitando así la diferenciación entre tejido normal y tejido tumoral. [1, 5, 6]
  - Luz guía que viene a través de la reflexión de esta por el interior del endoscopio y que ha sido introducida a partir de las fibras ópticas. Las fibras muestran una iluminación homogénea por pérdida de la cubierta en su parte distal, de forma que la pérdida de fibras transmisoras se manifiesta por un deterioro global de la iluminación. [1, 5, 6]
  - Canal de instrumentación o de trabajo. [1, 5, 6]
  - Canal de insuflación y salida del medio de distensión, que termina de forma que además en su salida limpia la lente y previene el depósito de sangre o detritus que empañen la visión. [1, 5, 6]
- Conector: conecta el endoscopio con el sistema de vídeo, de esta forma, aquello que vería el facultativo de forma directa a través de la óptica, se muestra en una

pantalla de televisión. La insuflación de agua y aire también se lleva a través de esta zona. [1, 5, 6]

- Periféricos:

- Centro de gestión de imágenes: simplifica el proceso de grabado, manejo y edición de la imagen para poder mostrarla en una pantalla. [1, 5, 6]
- Generador de luz fría: es el encargado de generar la luz que viajará a través de la fibra óptica. [1, 5, 6]

## **HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS**

La posibilidad de estirar los filamentos de Óxido de Sílice hasta hacerlos flexibles, aun estando cubiertos por un plástico, no minimiza el que se trate de fibras de vidrio, con toda la fragilidad que implica. Golpes, torsiones, ciclos de esterilización, calentamiento y dilatación provocan roturas de la continuidad que conducen a la pérdida de las propiedades transmisoras, de forma que los fotones escapen de la fibra y se pierdan.

A pesar del deterioro progresivo de la fibra por las distintas manipulaciones y ciclos de limpieza, desinfección y esterilización reiterados, no existe un sistema de reparación conocido para cada fibra individual que se rompe.

Es más, no hay conocimiento de estudios que determinen la velocidad de degradación o porcentaje de fibras necesarias para que el instrumental siga siendo operativo.

Por otra parte, el profesional clínico se enfrenta en diversas ocasiones a la utilización de material fuera de su punto óptimo de uso y no siempre es capaz de identificar, con exactitud, cuál es el elemento que se ha deteriorado y le dificulta su trabajo. Incluso, en muchas ocasiones, no es posible hacer una valoración correcta, a simple vista, del verdadero estado en el que se encuentra el material con el que se está a punto de trabajar.

La posibilidad de que el facultativo pueda comprobar previamente a la intervención la cantidad de luz que se emitirá y si se encuentra en un rango compatible para realizar la operación sin dificultades, podría evitar complicaciones derivadas de la falta de luminosidad o de la necesidad de extraer el material defectuoso para su cambio durante la intervención.

Poder evaluar, incluso a posteriori, el estado de los distintos materiales tras procedimientos en que la visión ha sido subóptima permite identificar el elemento deteriorado y prevenir su siguiente uso y aumentar con ello la Seguridad para el Paciente. Para este fin, sería muy ventajoso el uso de herramientas al alcance de la mano, como puede ser el teléfono móvil.

Los objetivos de este trabajo son:

1. Analizar la posibilidad de valorar el estado de los cables de luz fría y la capacidad de transmisión de luz de lentes de endoscopia a través del análisis matemático de imágenes obtenidas mediante cámara digital incorporada a teléfonos móviles cotidianos.
2. Establecer un porcentaje a partir del cuál la degradación del conjunto de fibras suponga un inconveniente para la realización de la práctica diaria.
3. Desarrollar una aplicación de teléfono móvil que permita realizar esta valoración en el momento y directamente por el facultativo, si se demostrara factible y validable.

# **MATERIAL Y MÉTODO**

## **UBICACIÓN**

El estudio de la transmisión de la luz a través de las fibras ópticas de los endoscopios se ha realizado en la sala de limpieza y de almacenado de material de la zona de Cirugía Mayor Ambulatoria del Hospital Universitario Nuestra Señora de la Candelaria. Con esto, se pretende desarrollar el proyecto bajo las mismas condiciones con las que se encontraría un facultativo en su día de trabajo. Es decir, espacios destinados a la utilización o lavado de los materiales necesarios durante la intervención y la iluminación a través de fluorescentes con la que cuentan estas salas.

En nuestro caso se ha utilizado con mayor frecuencia la zona de lavado de materiales con el objetivo de no contaminar el material estéril de quirófano, no interrumpir la jornada laboral de enfermería y no influir en la atención de los pacientes.

## **SOPORTE**

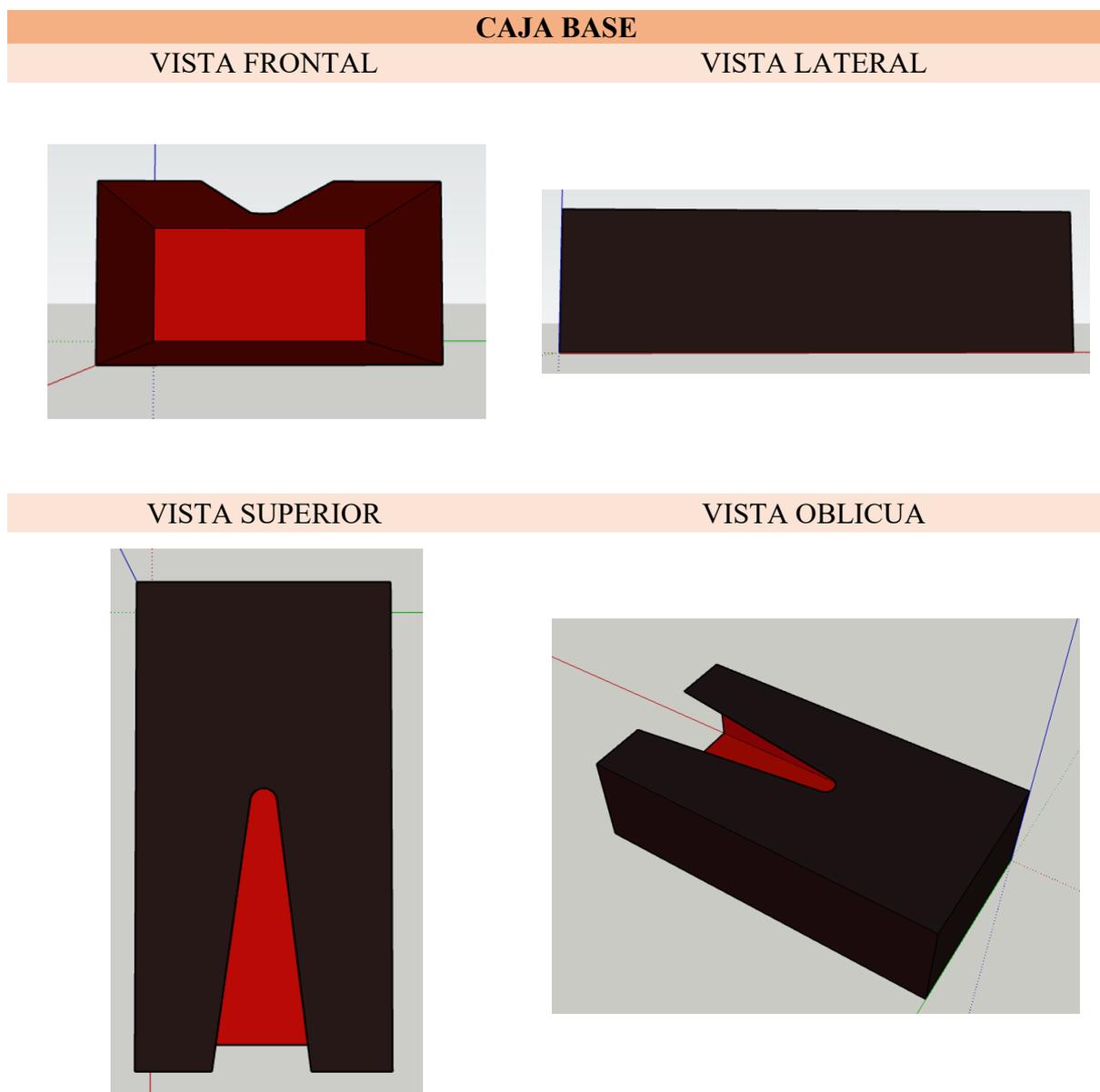
Para la comparativa entre las distintas formas de la influencia de la reflexión de la luz en el endoscopio a la hora de tomar una fotografía de las fibras ópticas, y la foto obtenida sosteniendo el material en las manos, se desarrolló un soporte ex-profeso que no dejara entrar la luz por ningún foco a la zona que interesaba fotografiar. Con esto se intenta ver si el ambiente diario de un día laboral influiría, y en qué medida, sobre la estimación de las fibras que se encuentran dañadas haciendo así que el uso de ese endoscopio sea menos beneficioso en la operación a realizar.

Este soporte está formado por dos estructuras: (Fig5)

- Caja base: de forma rectangular, cuenta con todas sus caras menos una de un extremo y tiene una apertura en cuña en la cara superior que va desde la cara abierta hasta el centro de la caja (partiendo de una apertura de 1cm hasta el diámetro máximo de 0'4cm correspondiente al diámetro de la lente del endoscopio). Sus dimensiones son 27cm x 15cm x 15cm. Esta caja funciona como apoyo para el cable o endoscopio proporcionando una superficie plana y equilibrada en la que apoyarlos.
- Caja superior: sus dimensiones son mayores que la anterior, 28cm x 15,5cm x 15,5cm, pues es la encargada de proporcionar la distancia necesaria para el enfoque correcto de

las cámaras móviles utilizadas. Esta caja es una caja espejo respecto a la caja base, pero no cuenta con la cara inferior para poder desplazarla por encima de la otra. Asimismo, las dimensiones de la apertura son las mismas que en la otra caja.

Este soporte, construido en cartón pluma negro para evitar la poca y posible luz que reflejara el color blanco, fue sellada por todas sus aristas con cinta americana para evitar la más mínima entrada de luz a su interior. Asimismo, las cuñas superiores cuando quedaron sin recorrer todo su camino se rellenaban con los trozos extraídos de esos huecos producidos junto a más material adhesivo en las juntas para repeler todo haz de luz que pudiera entrar.



*Figura 5. Perspectivas de la caja base creada. Con la finalidad de una mejor visión, el interior de la caja se ha pintado de un color distinto al usado en el modelo físico. El color exterior de la caja se ha mantenido con el objetivo de una mayor similitud con el modelo creado. (Anexo 4)*

## **CÁMARAS**

Con el objetivo de construir modelos y basar los datos en diferentes formas de tomar medidas según las distintas tecnologías, se ha escogido un iPhone 6S Plus de 2015 con iOS 13.3.5, utilizando la modalidad normal de fotografía y un Xiaomi Note 8 Pro de 2019 con Android 10, utilizando su modalidad normal y macro para sacar las fotografías.

Las características de estas son:

- iPhone 6S Plus: cuenta con una cámara de 12 megapíxeles, estabilizador óptico de imagen, enfoque automático, zoom digital x5 y una apertura de lente F/2.2. [15]
- Xiaomi Note 8 Pro: cámara de 64 megapíxeles, lente macro de 2 megapíxeles, enfoque por detección de fase, zoom digital x10 y una apertura de lente F/1.89. [16]

## **PROGRAMA INFORMÁTICO**

MATLAB [17] es la herramienta con la que se han analizado las imágenes para así obtener los resultados de luminosidad de cada uno de los endoscopios fotografiados. Este programa tiene un lenguaje de programación propio destinado al cálculo numérico expresando las matrices y arrays directamente.

- Los arrays o arreglos unidimensionales son un conjunto de datos del mismo tipo, ordenado y que tiene fin. Como solo es necesario un índice para escoger el dato a usar, nos encontramos con que esta estructura de datos es unidimensional. [18, 19]
- Las matrices o arreglos bidimensionales son un conjunto ordenado de datos con acceso a los mismos de forma bidireccional. Al ser necesarios dos índices para llegar a la posición del dato, se trata de una estructura de datos bidimensional. Por tanto, tienen su uso en el almacenamiento de diversos valores bajo una misma variable. [18, 19]

Con esta herramienta, se ha creado un programa para analizar automáticamente las fotografías de las fibras ópticas de los endoscopios adquiridas con el teléfono móvil. El objetivo final es determinar el porcentaje de fibras que transmite la luz con una calidad aceptable. Para conseguir este fin, el procesamiento de imagen implementado es el siguiente:

1. Se carga y se muestra la imagen introducida por el usuario, que, al ser una foto adquirida con el móvil, es una imagen a color (RGB). (Fig 6a)



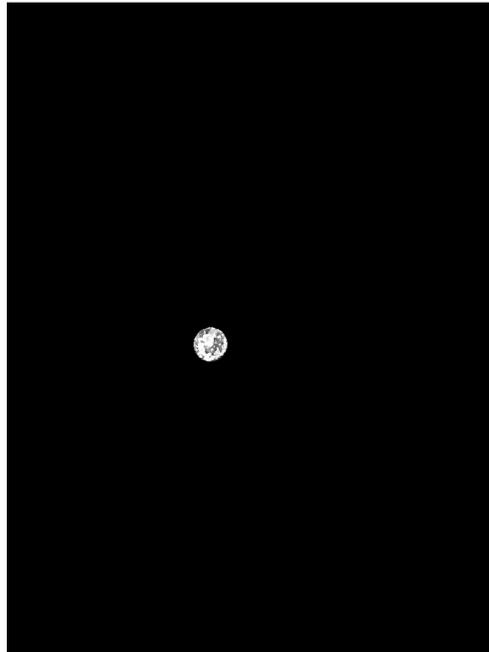
*Figura 6a. Fotografía tomada con el móvil de la zona que contiene las fibras ópticas del Endoscopio*

2. Sobre esta imagen el usuario debe marcar manualmente la región de interés (Region of Interest – ROI). Para esto, se le facilita la selección de una región circular con el ratón, dado que es la forma que tiene la zona a analizar. (Fig 6b).



*Figura 6b. Fotografías del proceso de selección de la ROI que contendrá las fibras ópticas y será analizada*

3. Se aísla la región ROI seleccionada del resto de la imagen, (se *segmenta*), ya que es la zona de la imagen correspondiente a la zona de fibras ópticas que hay que analizar más en profundidad. Además, se cambia de la representación a color original (RGB) a escala de grises (Fig 6c).



*Figura 6c. ROI de trabajo que será analizado*

4. Cálculo: se normaliza la ROI (valores de los píxeles de la imagen entre 0 y 1, en vez de entre 0 y 255), se busca su valor máximo, y se localizan todos los píxeles de la ROI cuyo valor supera el 50% de este valor máximo. Este es el porcentaje de fibras que consideramos funciona aceptablemente.
5. Como último paso, se muestra al usuario el resultado del análisis: el valor (%) calculado de fibras ópticas que funcionan adecuadamente (es decir, que superan el 50% del valor de luminosidad máxima), y una gráfica que representa el porcentaje de fibras que superan otros umbrales de luminosidad más exigentes (el 60%, el 70%, el 80% y el 90%). En el ejemplo que hemos mostrado, el porcentaje de fibras que supera el 50% del valor máximo es 81.29%, y la gráfica resultante se muestra en la Fig 6d.

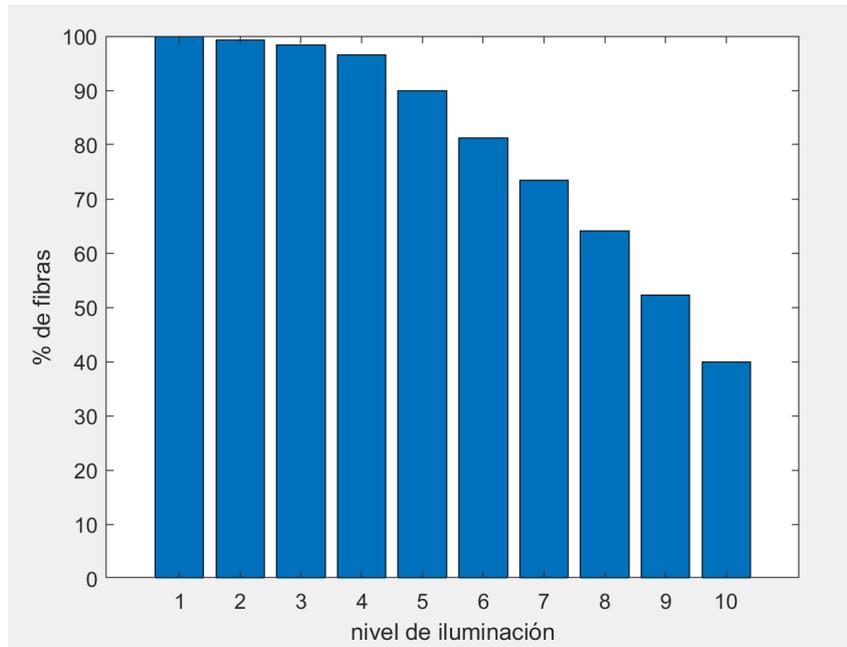


Figura 6d. Histograma de los porcentajes de fibras según los niveles de iluminación

Es importante destacar que el programa de Matlab se usó para realizar todas las pruebas experimentales con diferentes endoscopios y móviles presentados en esta memoria. Pero no fue integrado en la aplicación final desarrollada.

Para la aplicación final se realizó otro programa con el lenguaje Python [20], que es software libre, y, por tanto, mucho más fácil de integrar en la aplicación. Además, como este programa es el que va a ser utilizado realmente por el usuario de la aplicación, se introdujo una gran mejora: en esta versión del programa el usuario ya no debe seleccionar la ROI manualmente, el programa la localiza por sí mismo, lo que agiliza notablemente todo el procesamiento.

## **ANÁLISIS COMPARATIVO**

Para la comparación tanto del conjunto de datos como de la comparativa entre las distintas tecnologías móviles utilizadas, se han empleado la media  $\pm$  desviación estándar (SD). Asimismo, para comparar ambas cámaras, se ha utilizado la Prueba T de Student (Graphpad Prism, version 6, USA) considerando estadísticamente significativo un valor de  $p < 0,05$ .

## **TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS PARA EL DESARROLLO DE LA WEB/APP**

Se emplean diferentes programas y herramientas en el desarrollo de la APP/Web que busca integrar los objetivos de este trabajo con la facilidad de acceso para el usuario:

- VS CODE (Code Editor): este editor, desarrollado por Microsoft, es empleado para el desarrollo moderno de páginas web y aplicaciones en la nube. Consiste en un editor redefinido y optimizado. [21]
- NextJS usando TypeScript (framework React): es un entorno de desarrollo web de código abierto que se crea sobre Node.js y permite el desarrollo de aplicaciones web sobre React. Asimismo, permite también el manejo de los servidores sobre los que se sustentará la web. [22]
  - o React: biblioteca de Javascript de código abierto. Es desarrollado por Facebook y se mantiene gracias a ellos y una comunidad de software libre. [23]
- NestJS usando TypeScript: se trata de un framework progresivo que se crea sobre Node.js encargado de la parte de servidores para crear aplicaciones eficientes, confiables y escalables. [24]
- TailwindCss (framework de CSS): es la herramienta para el frontend de la página web, es decir, deja aplicar estilos de una forma fácil y optimizada para los sitios web. [25]
- Mantine (librería de Hooks y componentes): es un recurso de React con licencia por el MIT. Consiste en una amplia librería de componentes y hooks centro en una mejor experiencia de usabilidad, accesibilidad y desarrollo. [26]
- NodeJS (lenguaje de programación de la API): sustentado en el lenguaje de programación JavaScript, es asíncrono y de código abierto. Se trata de un entorno en tiempo de ejecución multiplataforma basado en el motor V8 de Google. [27]
- Python (lenguaje de programación de la API): creado en los primeros años de 1990 por Guido van Rossum, consiste en un lenguaje de alto nivel de programación. Diseñado para desarrollar aplicaciones de todo tipo y que hace especial relevancia en la legibilidad de su código. [20]
- Docker: de software libre y de código abierto, permite el despliegue automático de aplicaciones. [28]

- Docker-compose: autoriza el despliegue de aplicaciones que tienen múltiples contenedores. Este punto y el anterior, son las herramientas que nos servirán para levantar los servidores de la aplicación de forma virtual, sin la necesidad de tener una máquina encendida realizando esa labor. [28]

## RESULTADOS

Las fotografías tomadas tanto a los endoscopios como a los cables que conectan el generador de luz fría con el endoscopio se han dividido en dos grupos: cables en buen estado (Fig 7a) y cables en peor estado. (Fig 7c)



Figura 7. a) Fibras ópticas en buen estado. b) Área de trabajo. c) Fibras ópticas en peor estado

La clasificación en ambos grupos ha sido a través de dos premisas secuenciales. En primer lugar, se ha preguntado al clínico por el estado de las fibras basándose en su experiencia y en el rendimiento durante el procedimiento del material. En segundo lugar, y más importante, tomando esas condiciones como método de categorización se ha buscado el valor numérico para cada grupo. Para ello, se ha pasado por un programa informático todas las fotografías recopiladas, obteniendo así el porcentaje de fibras ópticas que se encuentra por encima de cada porcentaje de iluminación según rangos de 10%.

### **COMPARACIÓN DATOS CABLE EN BUEN ESTADO CON CABLES EN PEOR ESTADO**

Se establece que entre el 0 y el 49% de la luminosidad máxima, el número de fibras no funcionales y, por tanto, la forma de degradación, son similares. Entre el 60% y el 80% si existen diferencias apreciables que son estadísticamente significativas. Aunque esta diferencia se pierde cuando se miran los porcentajes 90% y 100%, donde la diferencia entre un grupo y otro es menor de 1,1 puntos. (Fig 8) (Anexo 5)

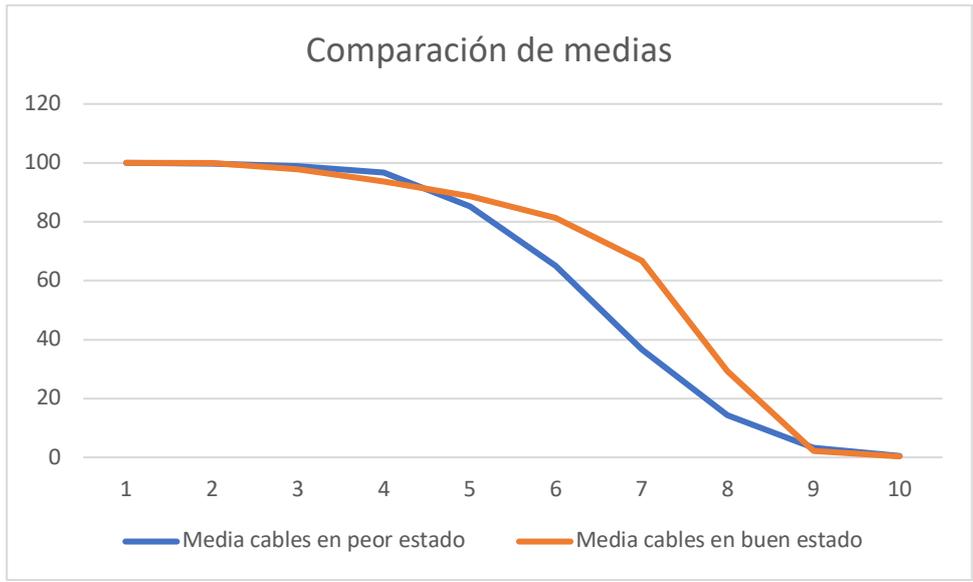


Figura 8. Comparación de medias entre cables óptimos frente a cables en peor estado

**COMPARACIÓN IPHONE VS XIAOMI**

Para poder realizar una correcta comparación entre ambas tecnologías, se decide enfrentar a ambas según el porcentaje, evitando así que los números salgan desviados debido a la diferencia entre los propios porcentajes. Asimismo, se hacen bajo el mismo supuesto (fotos por fuera de la caja modelo diseñada).

A la comparación de los distintos porcentajes, con datos recogidos en la tabla 1a, se puede observar que no existe una relación estadísticamente significativa entre todas ellas, excepto en el 30%. Estos porcentajes se estiman según el máximo de iluminación que transmite la lente del endoscopio, así obtenemos el porcentaje de fibras ópticas que transportan fotones a lo largo de su trayecto según un mínimo de iluminación. En la mayoría de los porcentajes, el iPhone mostraba una superioridad en cuanto a valores respecto al Xiaomi. A medida que se exige una mayor iluminación el error estándar de diferencia aumenta, partiendo de un 0,014 hasta un 7,167. (Tabla 1a) (Anexo 6)

	10%		20		30*		40		50		60	
	Iphone	Xiaomi	Iphone	Xiaomi	Iphone	Xiaomi	Iphone	Xiaomi	Iphone	Xiaomi	Iphone	Xiaomi
Mean	99,9876	99,985233	99,37935	97,273178	98,3685	95,661744	96,7164	92,528856	91,252725	87,496156	82,3559	78,555133
SD	0,0248	0,022659	1,165638	1,75073	2,10082	1,57147	3,558309	3,608457	9,87789	6,307188	17,442464	9,515346
SEM	0,0124	0,007553	0,582819	0,583577	1,05041	0,523823	1,779155	1,202819	4,938945	2,102396	8,721232	3,171782

\* p < 0,0249. Resto p > 0,05

	70		80		90		100	
	Iphone	Xiaomi	Iphone	Xiaomi	Iphone	Xiaomi	Iphone	Xiaomi
Mean	72,8035	73,971678	54,57818	61,246089	26,877	38,281467	9,347668	16,617219
SD	20,8401	11,843756	16,50941	16,634946	6,19603	16,7482	6,726603	13,364686
SEM	10,37	3,947919	8,254703	5,544982	3,09802	5,582733	3,363302	4,4548952

Tabla 1a. Comparación de medias, SD y SEM en iPhone frente a Xiaomi

## **COMPARACIÓN IPHONE INTERIOR VS IPHONE EXTERIOR**

Para investigar si la luz ambiente influye en la fotografía de las fibras ópticas, se decide enfrentar al mismo endoscopio a las dos situaciones.

A la comparación de los distintos porcentajes, con datos recogidos en la tabla 1b, se puede observar que no existe una relación estadísticamente significativa entre todas ellas. Estos porcentajes se estiman según el máximo de iluminación que transmite la lente del endoscopio, así obtenemos el porcentaje de fibras ópticas que transportan fotones a lo largo de su trayecto según un mínimo de iluminación. En la mayoría de los porcentajes, el iPhone fuera de la caja mostraba una mayor potencia de iluminación en cuanto a valores dentro de la caja. A medida que se exige una mayor iluminación el error estándar de diferencia aumenta, partiendo de un 0,0102 hasta un 12,928. (tabla 1b) (Anexo 7)

	10%		20		30		40		50	
	Iphone dentro	Iphone fuera								
Mean	99,997783	99,9876	99,110261	99,37935	97,870361	98,36385	95,807311	96,7164	91,058556	91,252725
SD	0,005995	0,0248	1,051907	1,165638	1,828014	2,10082	2,760961	3,558309	6,892606	9,87789
SEM	0,001413	0,0124	0,247937	0,582819	0,430867	1,05041	0,650765	1,779155	1,624603	4,938945

	60		70		80		90		100	
	Iphone dentro	Iphone fuera								
Mean	82,3559	78,555133	72,803525	73,971678	54,578175	61,246089	26,876975	38,281467	9,3476675	16,6172189
SD	17,442464	9,515346	20,840068	11,843756	16,509407	16,634946	6,196033	16,7482	6,7266032	13,3646855
SEM	8,721232	3,171782	10,370034	3,947919	8,254703	5,544982	3,098017	5,582733	3,3633016	4,4548952

*Tabla 1b. Comparación de medias, SD y SEM en iPhone dentro y fuera de la caja diseñada*

## **COMPARACIÓN DATOS ENTRE TODOS LOS GRUPOS**

Como se observa, todos los datos recogidos se comportan de similar manera. Sin haber diferencia entre las tecnologías o el método de obtención de las fotografías, aunque sí se evidencia el hecho de que el grupo de las fibras ópticas en peor estado se encuentra por debajo de los niveles de los otros grupos en los puntos del 50% al 90% antes comentados. (Fig 10)

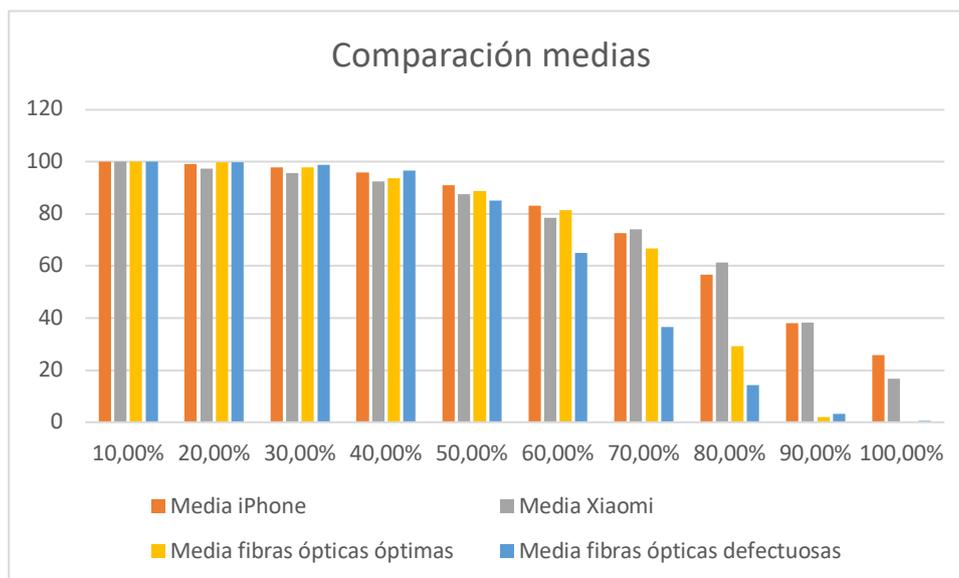


Figura 10. Comparación de medias en los distintos grupos

## **COMPARACIÓN CAJA Y BIGOTES EN EL 60%**

La acumulación de los datos en los cables con fibras ópticas óptimas se encuentra en un nivel mayor que los cables con fibras ópticas no óptimas. (Fig 11)

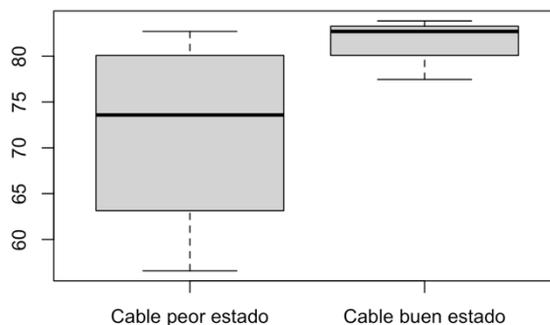


Figura 11. Comparación cajas y bigotes en el 60%

## **WEB/APLICACIÓN MÓVIL: FIBERTRY**

Como resultado de programación propia se ha desarrollado una aplicación web, denominada FiberTry, que cuenta con los siguientes elementos:

1. Navbar: es la barra de navegación por la cual podemos movernos a través de la página y acceder a las distintas páginas que se han desarrollado. Este cuenta con los siguientes elementos:
  - a. Logo: es el botón de inicio, clicando en ella nos llevará a la página principal.
  - b. Escáner: para empezar a usar la función.
  - c. About: zona en la que se accede a más información del equipo.
  - d. Contacto: donde poder dejar un comentario.
2. Footer: es la barra que se encuentra al final de la página. En ella se encuentra el nombre de la Web/APP y año de creación.

Las páginas que se crearon fueron las siguientes:

1. Inicio: en esta página se presenta el logo de la App, en que consiste, como nace la Web/APP y como funciona. (Fig 12a) El texto que se muestra es el siguiente:

“La Web/APP nace de la unión de la curiosidad de la medicina con la tecnología y la informática. La estrecha relación entre el desarrollo tecnológico, el avance de la medicina, el deseo de encontrar mejores resultados en intervenciones o tratamientos a enfermedades y la facilidad de acceso al teléfono móvil son los elementos que han contribuido a esta idea.

Con Fibertry es posible sacar una foto a tu endoscopio o haz de fibras ópticas para comprobar, con facilidad, que porcentaje de las fibras se encuentran por encima del punto de rigor y en que rango de luminosidad se encuentra.

Podrás obtener un gráfico que te diga que tanto por ciento se encuentra por encima de cada punto de corte preestablecido y el tuyo propio.”



a)



## FIBERTRY

La Web/APP nace de la unión de la curiosidad de la medicina con la tecnología y la informática. La estrecha relación entre el desarrollo tecnológico, el avance de la medicina, el deseo de encontrar mejores resultados en intervenciones o tratamientos a enfermedades y la facilidad de acceso al teléfono móvil son los elementos que han contribuido a esta idea.

Con Fibertry es posible sacar una foto a tu endoscopio o haz de fibras ópticas para comprobar, con facilidad, que porcentaje de las fibras se encuentran por encima del punto de rigor y en que rango de luminosidad se encuentra.

Podrás obtener un gráfico que te diga que tanto por ciento se encuentra por encima de cada punto de corte preestablecido y el tuyo propio.



b)

### Historia

¡Hola! Mi nombre es Carlota Sangüesa, y esta web/APP forma parte de mi proyecto de Fin de Grado. Este proyecto tiene que ver con la identificación de la cantidad de fibras ópticas útiles para el ejercicio médico y su análisis con un teléfono móvil. Con ello, pretendemos que el facultativo en el momento previo a la operación pueda ver si con el endoscopio con el que cuenta puede o no realizar con éxito la intervención. En este caso, la recompensa viene dada por no tener que pedir un cambio de endoscopio y por la disminución de complicaciones instrumentales, ambos por la misma razón, la baja visibilidad por la baja luminosidad transmitida.



Este proyecto lo llevo a cabo bajo la tutela del director del trabajo Doctor en Medicina Armando Molina y de la codirectora Doctora en Informática Silvia Alayón. Asimismo, se ha contado con la ayuda del Ingeniero Informático Raúl Rodríguez que ha transmitido sus conocimientos y consejos a la hora de programar una página web.

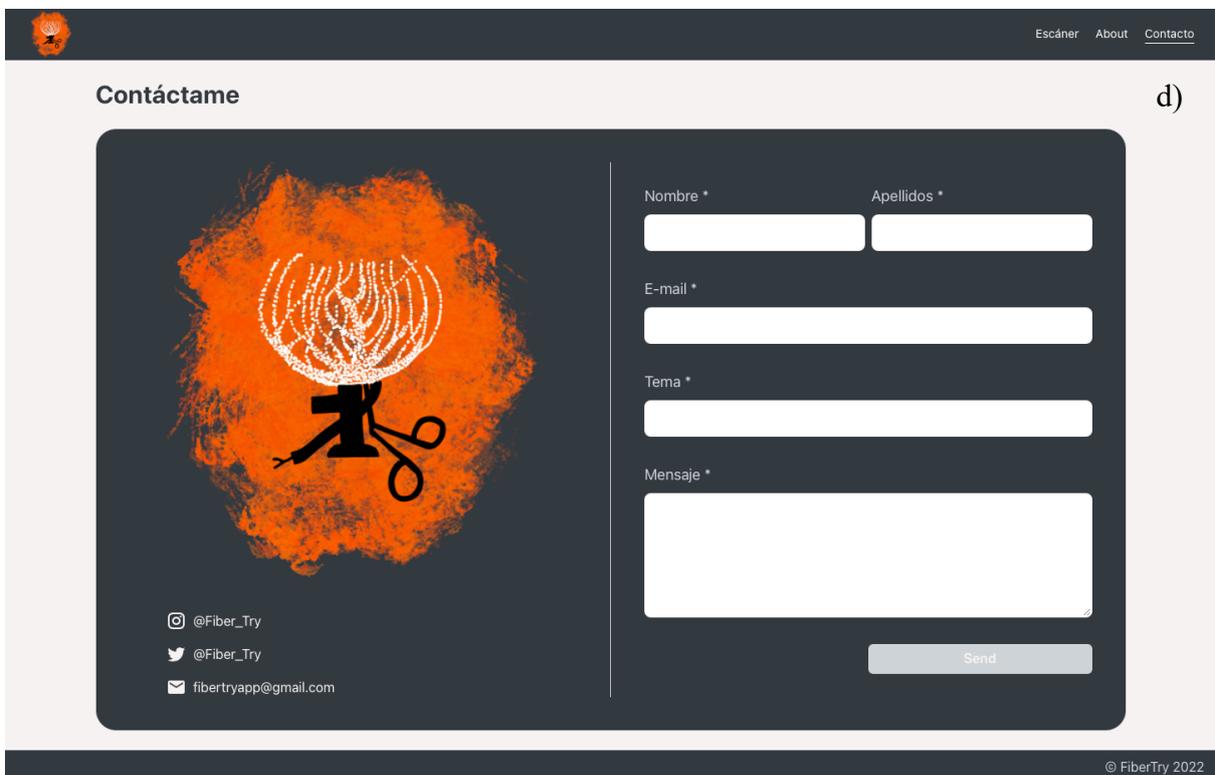
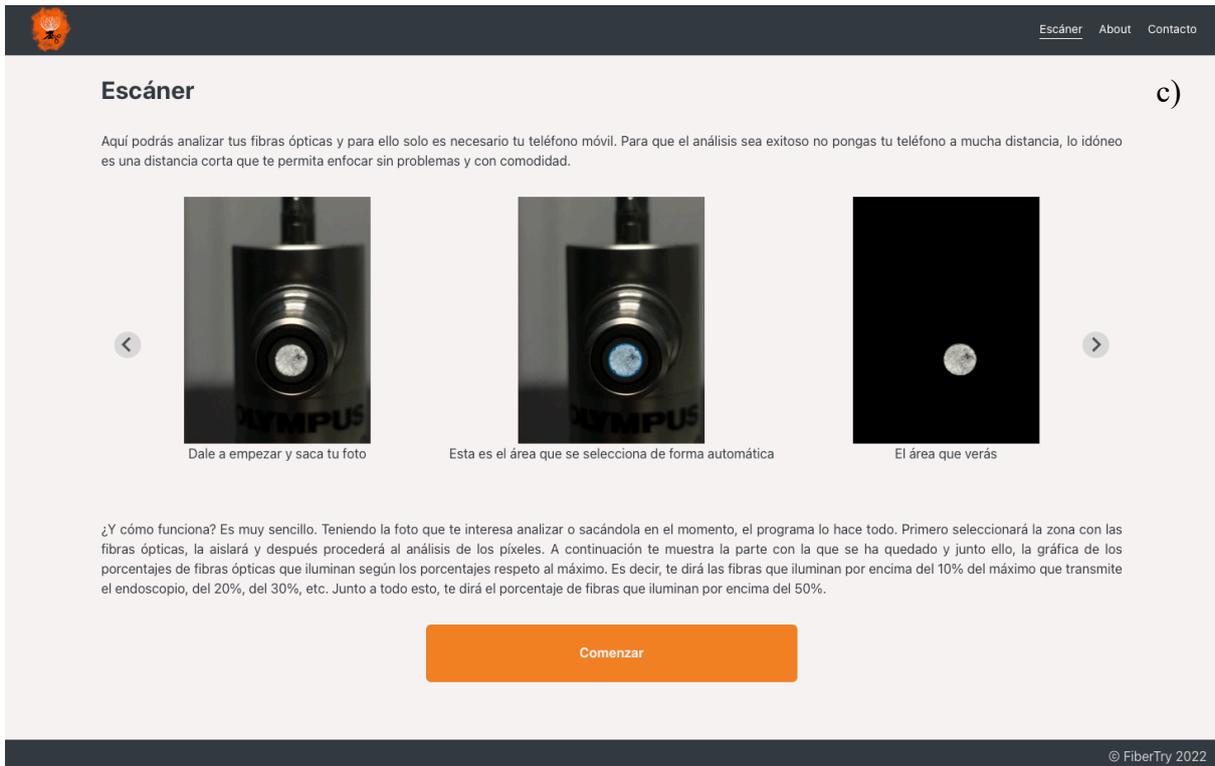


Figura 12. a) Página de Inicio. b) About. c) Escanear. d) Contacto

2. About: en esta parte, se habla del equipo que desarrolla esta web y se presenta mejor el motivo de su existencia. (Fig 12b) El texto que se muestra es el siguiente:

“¡Hola! Mi nombre es Carlota Sangüesa, y esta web/APP forma parte de mi proyecto de Fin de Grado. Este proyecto tiene que ver con la identificación de la cantidad de fibras ópticas útiles para el ejercicio médico y su análisis con un teléfono móvil. Con ello, pretendemos que el facultativo en el momento previo a la operación pueda ver si con el endoscopio con el que cuenta puede o no realizar con éxito la intervención. En este caso, la recompensa viene dada por no tener que pedir un cambio de endoscopio y por la disminución de complicaciones instrumentales, ambos por la misma razón, la baja visibilidad por la baja luminosidad transmitida.

Este proyecto lo llevo a cabo bajo la tutela del director del trabajo Doctor en Medicina Armando Molina y de la codirectora Doctora en Informática Silvia Alayón. Asimismo, se ha contado con la ayuda del Ingeniero Informático Raúl Rodríguez que ha transmitido sus conocimientos y consejos a la hora de programar una página web.”

3. Escáner (Fig 12c): donde el usuario encontrará nuevamente una guía de como utilizar a la perfección la aplicación que se le presta. En esta página tendrá un botón para pasar a una pasarela donde subir una foto y proceder a su análisis o sacar una foto en el momento. (Anexo 8)

4. Contacto (Fig 12d): aquí el usuario podrá ponerse en contacto con el equipo para sugerir nuevas ideas o mandar cualquier tipo de mensaje que se quiera hacer llegar.

## DISCUSIÓN

La idea base de este TFG es utilizar el teléfono móvil, herramienta que todos llevamos hoy en día en el bolsillo, para encontrar un nuevo uso profesional.

Aunque visualmente, y en las imágenes obtenidas, puede apreciarse que hay zonas que no transmiten luz alguna, al analizar los datos todas las zonas transmiten un mínimo de luz, no hay un negro absoluto sino siempre algo de gris. La explicación de este resultado se podría reflexionar a partir de hipótesis como que la mera presencia de una rotura de la continuidad no implica que todos los fotones que viajan contenidos en el núcleo se pierdan, dándose el caso de que algunos de los fotones logren llegar a la punta e iluminen el interior de la cavidad que se muestra en pantalla. Otra hipótesis que se podría plantear es que existiendo distintos puntos de discontinuidad en distintas fibras exista un fenómeno de salto de fotones de una fibra a otra. Estas teorías merecen una mayor investigación, estudio que además ayudará a describir de una manera más detallada el comportamiento de los fotones en su paso por el endoscopio, el nivel de rotura de los revestimientos de las fibras y como ambos elementos influyen en el nivel de iluminación que transmite de forma individual cada una de las fibras. Asimismo, nos damos cuenta de que las cámaras de los móviles son lo suficientemente buenas como para captar fotones que a simple vista no se observan.

Con el código informático desarrollado se busca el análisis de esas fibras ópticas. Con este programa, que no solo nos permite establecer lo evidenciado en el párrafo anterior, se logra medir la luminosidad de cada una de las fibras que forman parte del sistema de iluminación en la endoscopia. Para poder comparar los dos grupos (fibras ópticas en buen estado y fibras ópticas en peor estado), el programa ofrece una gráfica con el porcentaje de fibras que superan distintos porcentajes de iluminación considerados. Estos porcentajes de iluminación son relativos al valor máximo de luminosidad presente en la ROI: 10%, 20% ... 90% de este valor máximo. Con esta gráfica se puede comprobar la disminución de la potencia de iluminación según la exigencia del umbral considerado.

Tras la comparativa de los datos obtenidos y de la valoración clínica, se pudo establecer qué fotos clasificaron dentro de la categoría de cables o endoscopios rotos o en mal estado. El análisis de datos estableció que la importancia de la degradación de estos materiales (basada principalmente en la valoración del facultativo durante su labor asistencial) se hacía patente a

partir del 60% de luminosidad (donde su pérdida respecto al grupo de cables o endoscopios de buen funcionamiento decaía en 15 puntos de media), y especialmente a partir del 70% (donde esa pérdida pasaba a ser de 30 puntos). Sería, por tanto, a partir de estos valores cuando la diferencia supondría una desventaja en la práctica diaria en cuanto a luminosidad, pues en los valores menores de 50% y en los de 90% y 100% la degradación se comporta de igual manera tanto en los cables de peores condiciones como en los de mejores.

Al compararse los valores de media y SD entre los grupos buen estado y peor estado y en especial en el 60% de luminosidad, se ve una vez más como por fuera del punto crítico se comportan de similar manera. Este comportamiento, del 0 al 49,99%, es la forma esperable de degradación de la fibra, pues por debajo del 50% de luminosidad es tan poco lo que se ve dentro de la cavidad que ya es necesario el cambio de instrumental. Por tanto, la comparación entre ambos grupos en ese rango no proporciona ninguna información relevante. A partir del 50% hasta el 90%, los valores difieren notablemente, confirmando una vez más que en esos porcentajes se encuentran los valores que definirán una buena iluminación dentro de la cavidad o no, pues es entre esos porcentajes entre los que se nota la diferencia lumínica. Por encima del 90%, es imperceptible la diferencia de iluminación y es el tipo de degradación esperable debido al manejo del propio endoscopio.

Basando nuestros hallazgos en ese valor de corte y teniendo en cuenta los valores recibidos de la comparación entre ambas tecnologías, observamos que el uso de un teléfono móvil a otro no supone una diferencia, excepto entre los porcentajes de luminosidad de la fibra de 30-39,99% que si es estadísticamente significativo. A pesar de ello, esta relevancia estadística no supondría ninguna importancia a la hora de valorar las fibras tomando en consideración que en la comparación de los datos se ha comprobado que el grueso de degradación de las fibras se encuentra a partir del 50-60% del máximo de luminosidad y los valores por debajo de este están dentro del comportamiento esperable de la degradación de las fibras.

Dejando a un lado la investigación de la diferencia entre ambas tecnologías y mirando si la luz ambiente influye en la zona a fotografiar, en ninguno de los porcentajes se establece que exista una diferencia estadística. Por lo que se puede determinar que el médico que va a realizar la operación, con el solo uso de un teléfono móvil y sin ningún accesorio extra podría medir con fiabilidad los porcentajes de luminosidad del endoscopio o cable que se encuentre en sus manos.

No se podía perder la oportunidad de concretar las ideas desarrolladas en este TFG en una aplicación útil abierta a la comunidad médica y sanitaria, para que el facultativo, o los otros profesionales encargados del manejo del material endoscópico, cuenten con una herramienta dentro de quirófano para el análisis instantáneo de las fibras ópticas. Y, por ello, nace FiberTry. FiberTry es la Web/APP que se ha desarrollado para cumplir con esas facilidades que se le quiere dar al profesional. Con esta aplicación, además de saber porqué nace el proyecto y cómo se desarrolla, pretendemos que en un futuro también pueda mantener en la nube las distintas fotos de los endoscopios o cables que haya analizado, guardándolos por nombre y así poder comprobar como se encontraba esa fibra con anterioridad. Asimismo, se podrá tener acceso en cualquier momento a las gráficas que le suministra la página una vez realizada el análisis de los datos.

La accesibilidad de esta Web/APP permite a cualquier dispositivo con acceso a una cámara poder hacer uso de ella, independientemente del dispositivo o del sistema operativo que se esté empleando. Esta cualidad supone una ventaja para la práctica diaria ya que el facultativo con su propio teléfono móvil, sin importar el modelo o la compañía, podrá hacer uso de la herramienta que se ha desarrollado.

Debido a las características de enfoque de las distintas cámaras, solamente se pudo realizar en el modelo del iPhone, pues las especificaciones del Xiaomi no permitían enfocar la imagen en el interior de la caja en ninguna de las distancias. Por ello, no se ha realizado análisis de datos para el Xiaomi dentro de la caja creada frente a fuera de la caja. Aunque no se pudiera calcular la diferencia entre un ambiente óptimo y otro no óptimo, no supone un inconveniente pues en los análisis de iPhone vs Xiaomi no existió diferencia.

No obstante, los resultados de este trabajo también crean dos funcionalidades nuevas: la monitorización del funcionamiento de los elementos ópticos y de transmisión de luz y el establecimiento de un sistema que permita saber el origen del problema de una mala obtención en la imagen de la cavidad en la que se va a trabajar. Monitorizar el deterioro y el grado de iluminación de los endoscopios y cables de fibra óptica que conectan el endoscopio con el generador de luz fría es la funcionalidad más longitudinal que se obtiene de los resultados obtenidos de este trabajo. Asimismo, se podría establecer a que ritmo se produce esa degradación, la curva de degradación o iluminación de ese endoscopio a lo largo del tiempo, a partir de que nivel de deterioro el endoscopio se depone o, incluso, saber que efecto tiene cada

uso sobre las fibras. Por el otro lado, está la posibilidad de eliminar elementos y determinar cuales son los que generan el problema cuando la obtención de la imagen no es la correcta. Haciendo uso del análisis de imágenes se puede ver si fallan las fibras del endoscopio o las del cable y, en el caso de que estas partes se encontraran en buen estado se podría sospechar de la cámara que capta la imagen, o de la generación de esta entre otros. Esto ayudaría a no desechar endoscopios o cables cuando la imagen que se proyecta no cumple con los estándares.

## **CONCLUSIONES**

Tras los objetivos establecidos y los distintos análisis realizados se concluye:

1. Peores valores a partir del 60% de luminosidad del máximo, y más acusadamente del 70%, implica que la degradación de las fibras repercute en la iluminación de la cavidad en la labor asistencial del facultativo.
2. Las distintas características de las cámaras de los teléfonos móviles no influyen en los resultados a la hora de analizarlos.
3. El ambiente luminoso que rodea al momento de la toma de la fotografía, es decir, si se encuentra en una caja con una única vía de entrada de la luz o no, no influye en los resultados obtenidos en los análisis.
4. La Web/APP es una herramienta fácil y accesible para el usuario.

## **LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN**

En vista del gran campo que se abre ante este proyecto es inevitable pensar en posibles líneas de investigación futuras que ayuden a mejorar esta primera incursión o a la expansión del estudio realizado, habiendo varias posibilidades con la tecnología actual o con la futura:

1. Con respecto a la aplicación, se podría ampliar a más sectores o terminar de buscar un diseño más ergonómico.
2. Censar la dotación de lentes y cables de un Hospital.
3. Monitorizar el deterioro de las lentes y cables, incluso en el Departamento de Esterilización. Estableciendo su velocidad y el porcentaje de luminosidad perdido de una utilización a otra.
4. Para una mayor comodidad del médico: el desarrollo de pequeños accesorios que se basen en el mismo principio, pero que con solo al insertar la zona de fibras ópticas en el aparato se tome la foto y se haga el procesado. Serían pequeñas herramientas, con la posibilidad de mantener en el quirófano y de poder usar durante el acto quirúrgico sin comprometer la esterilización del campo.
5. Respecto a los cables de fibras ópticas, extender el proyecto a una mayor cantidad y diversidad de cables de fibras.
6. En relación con la toma de datos, extender el proyecto a un mayor número de cámaras de teléfonos móviles.
7. Establecer un porcentaje crítico a partir del cual el endoscopio o cable necesite ser retirado.

8. Introducir la funcionalidad del Log in/Register en la Web/App: mediante este botón, el cliente podrá acceder a su perfil, por lo que contará con una serie de ventajas que los usuarios anónimos no podrán disfrutar. Esas ventajas incluyen poder guardar sus fotos analizadas, las gráficas que les ha devuelto el proceso y poder mantenerse informados de novedades.

## **¿QUÉ HE APRENDIDO DURANTE ESTE TFG?**

Desde las primeras lecciones de medicina, se aprende una gran cantidad de conocimientos sobre el mecanismo de funcionamiento del cuerpo humano y como las enfermedades perturban esta compleja armonía, conocimientos que a la par de sorprendentes son fascinantes.

Con este TFG se ha dado, una vez más, la oportunidad de indagar en el desarrollo de una técnica, de su influencia en la medicina, en el cuerpo humano y la historia detrás de su hallazgo y mejora.

Como se ha visto desde tiempos inmemorables, los médicos, en su gran mayoría y sobre todo aquellos que han hecho cambios o desarrollado nuevas técnicas o instrumentos, son polímatas. Mentes de extremada curiosidad por distintas artes, a las que les llamaban la atención aspectos externos de la medicina que más tarde podrían incluir en su práctica médica.

Esta relación de las distintas ciencias o artes con la medicina ha llevado a mejores prácticas, mayores facilidades o incluso a poder plantearse nuevos tratamientos que antes no existían o de los que ni se imaginaban como posibles.

La curiosidad por adentrarse en el interior del cuerpo, la medicina y el avance de la tecnología son la base por la que este TFG es posible.

# BIBLIOGRAFÍA

1. Nezhat C, Page B. Nezhat's History of Endoscopy: A Historical Analysis of Endoscopy's Ascension Since Antiquity. 2005.
2. Ellis H. The Hopkins Rod-Lens System. Journal of Perioperative Practice. 2007;17(6):272-274.
3. Hopkins H, Kapany N. A Flexible Fibrescope, using Static Scanning. Nature. 1954;173(4392):39-41.
4. Whitaker M. Saints and Sinners Harold Hopkins. The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England. 2012;94(5):168-170.
5. Productos Storz K. Ginecología. Florida: Karl Storz; 2015.
6. Cotton P, Williams C, Hawes R, Saunders B. Practical Gastrointestinal Endoscopy. Somerset: Wiley; 2011.
7. Hunt R. A brief history of endoscopy. Gastroenterology. 2001;121(3):738-739.
8. Olympus. [Internet]. [cited 13 June 2022]. Available from: [https://www.olympus-global.com/technology/museum/endo/?page=technology\\_museum](https://www.olympus-global.com/technology/museum/endo/?page=technology_museum)
9. Glass Fibre Topic [Internet]. ScienceDirect. [cited 12 June 2022]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/glass-fibre>
10. Gómez López F, Puerto López KC, Guevara Ibarra D. La Fibra Óptica y el Fenómeno no Lineal Mezcla de Cuarta Onda; 2015.
11. Addanki S, Amiri I, Yupapin P. Review of optical fibers-introduction and applications in fiber lasers. Results in Physics. 2018;10:743-750.
12. Snell's Law [Internet]. ScienceDirect. [cited 12 June 2022]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/snells-law>
13. Fresnel Equation [Internet]. ScienceDirect. [cited 12 June 2022]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/fresnel-equation>
14. Total internal reflection [Internet]. Britannica. [cited 12 June 2022]. Available from: <https://www.britannica.com/science/wave-physics>
15. Apple. iPhone 6s Plus - Especificaciones técnicas [Internet]. Support.apple.com. 2015 [cited 12 June 2022]. Available from: [https://support.apple.com/kb/SP727?locale=es\\_LAMR](https://support.apple.com/kb/SP727?locale=es_LAMR)
16. Xiaomi. Redmi Note 8 Pro | Xiaomi España | Mi.com - Xiaomi España [Internet]. Mi.com. 2019 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://www.mi.com/es/redmi-note-8-pro/specs>
17. Moler C. [Internet]. 1984 [cited 7 May 2022]. Available from: <https://www.mathworks.com/>
18. Garzón Villar M. et al. Informática. Sevilla: Editorial Mad; 2007.
19. Mataix Lorda M, Mataix Hidalgo M. Diccionario de electrónica, informática y energía nuclear. [Madrid]: Díaz de Santos; 1999.

20. van Rossum G. Welcome to Python.org [Internet]. Python.org. 1991 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://www.python.org/>
21. Microsoft. Visual Studio Code - Code Editing. Redefined [Internet]. Code.visualstudio.com. 2015 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://code.visualstudio.com/>
22. Rauch G. Next.js by Vercel - The React Framework [Internet]. Nextjs.org. 2016 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://nextjs.org/>
23. Walke J. React – Una biblioteca de JavaScript para construir interfaces de usuario [Internet]. Es.reactjs.org. 2013 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://es.reactjs.org/>
24. Mysliwicz K. Nest.js – Node.js Framework [Internet]. Nestjs.com. 2017 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://nestjs.com/>
25. Wathan A, Schoger S. Tailwind CSS - Rapidly build modern websites without ever leaving your HTML. [Internet]. Tailwindcss.com. 2017 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://tailwindcss.com/>
26. Rtishchev V. et al [Internet]. Mantine.dev. 2021 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://mantine.dev/>
27. Dahl R. Node.js [Internet]. Node.js. 2009 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://nodejs.org/es/>
28. Hykes S. Home - Docker [Internet]. Docker. 2013 [cited 12 June 2022]. Available from: <https://www.docker.com/>

# ANEXOS

## ANEXO 1 - TIPOS DE FIBRAS

Existen dos tipos de fibras ópticas según como se encuentren las fibras de vidrio distribuidas en su interior y según la forma en que viaje la luz a través de ellos. En nuestra área de trabajo, las fibras ópticas de los sistemas de Endoscopia se tratan de fibras desordenadas por las que la luz viaja según los fenómenos de reflexión y refracción. Estas características confieren el nombre de fibras multinodo.

El otro tipo de fibras recibe el nombre de mononodo, estas se encuentran ordenadas y la luz no rebota en todo su trayecto. Por su núcleo solo viaja una honda eliminando así prácticamente cualquier distorsión y este tipo de fibras se utiliza para las comunicaciones pues supone una gran ventaja a la hora de transmitir datos en largas distancias debido a su velocidad. A diferencia de las fibras multimodo, en las monomodo viajan una menor cantidad de haces de luz a través del núcleo.

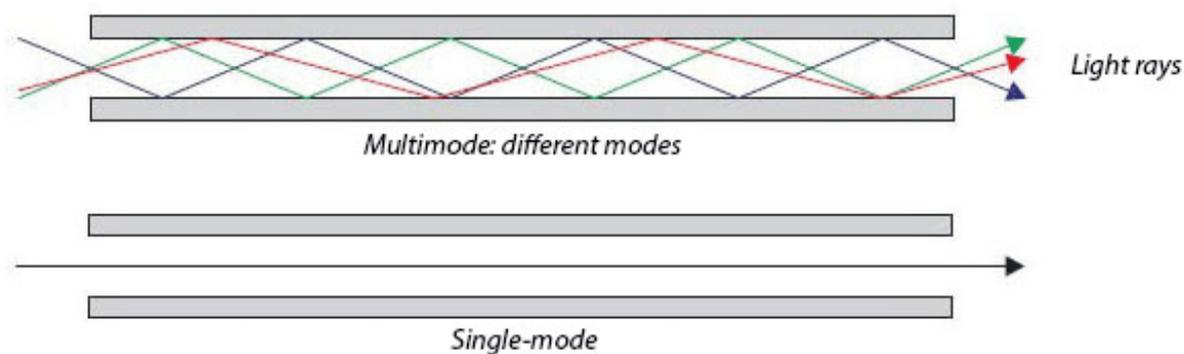


Figura. Tipos de fibras por ProSoundWeb

## **ANEXO 2 - HISTORIA DE LA FIBRA ÓPTICA EN LAS COMUNICACIONES**

Nos podríamos remontar a los antiguos griegos para poder empezar a ver las primitivas formas de transmisión de información a través de la luz, mediante la utilización de espejos y la luz solar.

Durante los siglos XIX y XX, las comunicaciones sufrieron una revolución que cambió la forma de enviar y recibir mensajes, no solo en el contenido de este sino también en la velocidad en que se transmitían.

Antes de surgir la fibra óptica, en 1792 Claude Chappe diseña un sistema de telegrafía óptica y en 1959 surge el denominado rayo láser con frecuencias ópticas que trabajan en cientos de terahercios. Ambos sistemas con sus distintos inconvenientes llevan los esfuerzos de los científicos a la búsqueda de un nuevo material, desarrollando así la fibra óptica.

En el primer momento en que los láseres estuvieron disponibles y surgió la idea de utilizar fibras ópticas de vidrio para transportar esas ondas de luz, se empezó a pensar en la transparencia de los mejores vidrios disponibles. Esta idea surge de Ivan Kaminov, pero es rechazada por las pérdidas que se producirían durante el viaje de la luz. La idea queda en el olvido hasta que unos años más tarde, Charles Kuen Kao hace la pregunta cuya respuesta conduciría a una revolución tecnológica y la que le daría el premio Nobel de Física de 2009: ¿Qué tan claro se puede hacer el vidrio?

En 1970, Robert Maurer y Donald Keck mejoraron los valores de la fibra óptica de Kao y en 1977 ya las fibras ópticas alcanzaban pérdidas inferiores a 2 dB/Km.

### ANEXO 3 - REFLEXIÓN TOTAL INTERNA, LEY DE SNELL-DESCARTES Y ECUACIÓN DE FRESNEL

La reflexión interna se define de forma que cuando el haz de rayo sea dicho un fotón, incide sobre un medio con un índice de refracción menor del que venía, este se desvía de manera que el ángulo que realiza es mayor que el ángulo con el que llegó. Para un ángulo de incidencia crítico, el ángulo de salida alcanza los  $90^\circ$  y para aquellos ángulos de incidencia mayor a ese ángulo crítico, la reflexión del haz será total.

La Ley de Snell-Descartes sirve para calcular ese ángulo crítico estableciendo que el ángulo de refracción es igual a  $90^\circ$ .

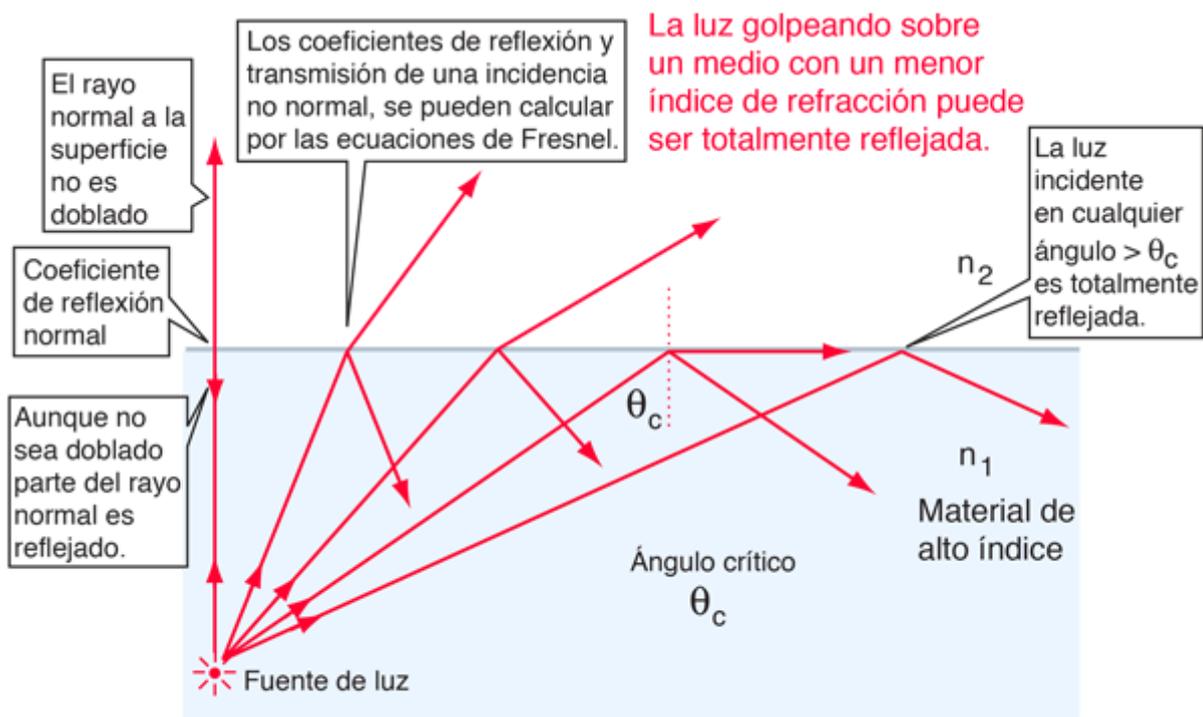


Figura. Fenómeno de reflexión y transmisión por HyperPhysics

Cuando el ángulo con el que llega el fotón es menor que el ángulo crítico, parte de ese haz se transmite y otra parte se refleja. Los coeficientes transmisión y reflexión se calculan con la Ecuación de Fresnel.

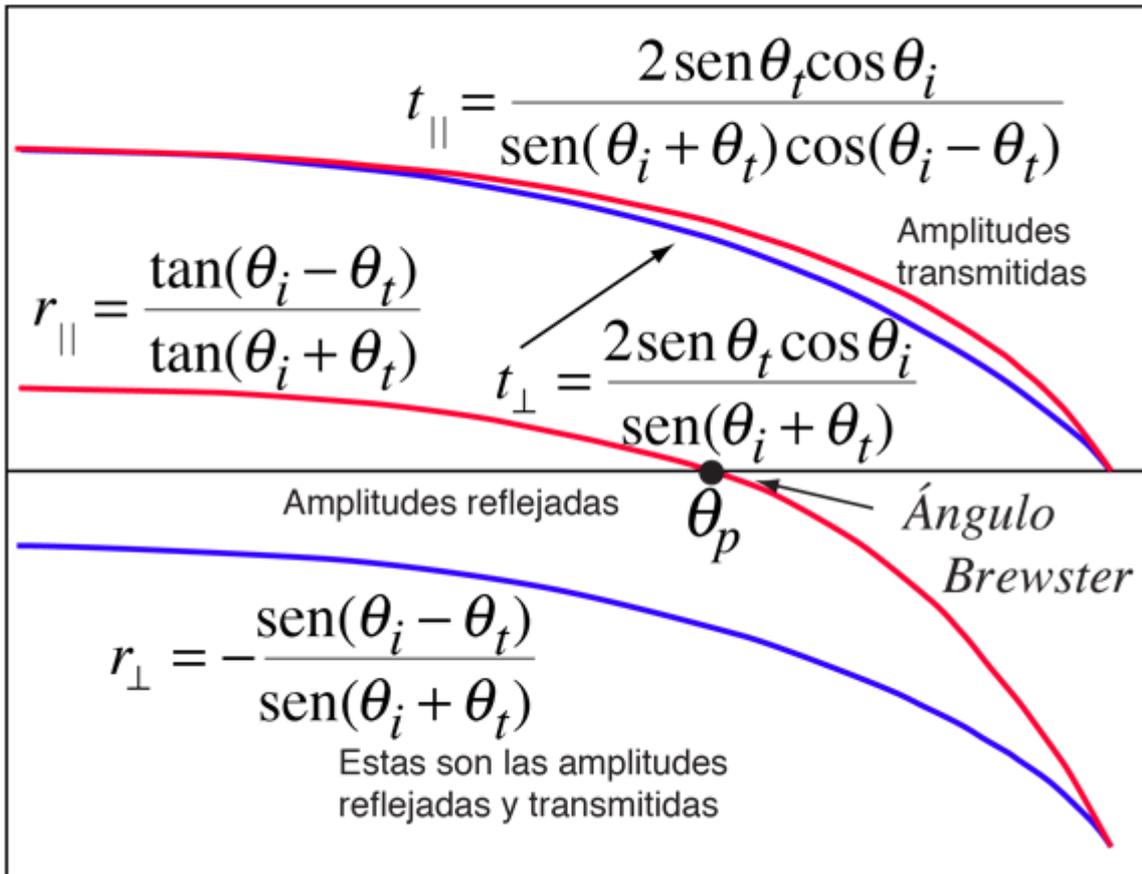
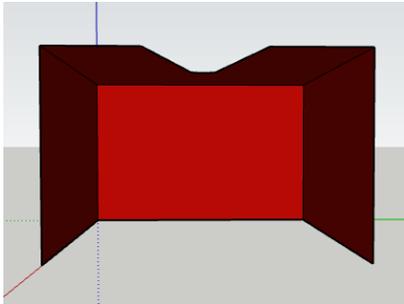


Figura. Ecuaciones de Fresnel por HyperPhysics

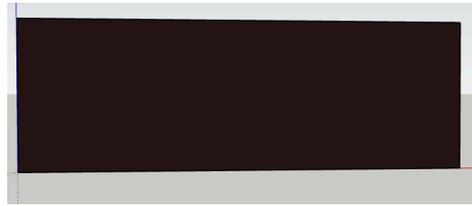
## **ANEXO 4 - DISEÑO DE LA CAJA SUPERIOR**

### **CAJA SUPERIOR**

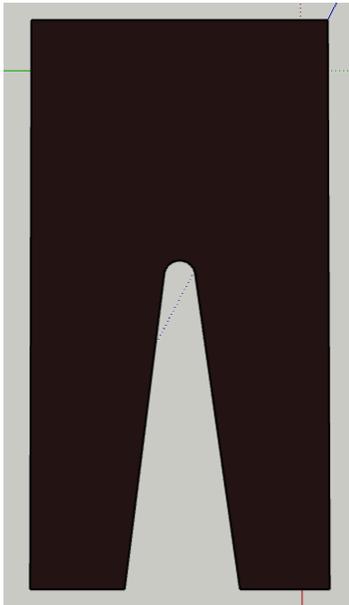
VISTA FRONTAL



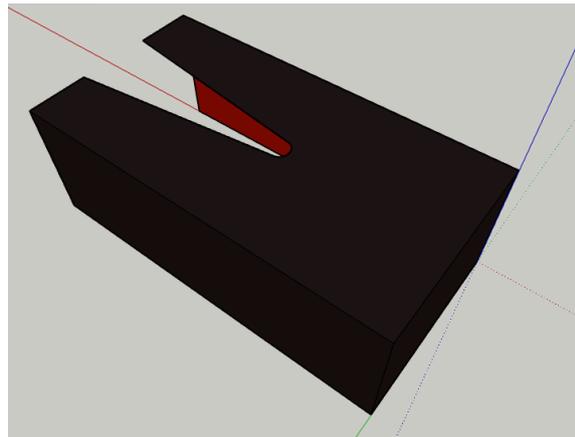
VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



VISTA OBLICUA



## **ANEXO 5 - COMPARACIÓN FIBRAS EN BUEN ESTADO VS PEOR ESTADO**

### *Comparación 10%*

Debido a la perfección de los datos en ambos grupos, no se puede realizar una comparación T-Student para este porcentaje. Los valores de cada una de las imágenes clasificadas eran equivalente al 100%. Es decir, que todas las fibras de todas las imágenes iluminaban por encima del 10 por ciento del máximo.

### *Comparación 20%*

En cuanto a las fibras ópticas que se encuentran por encima del 20% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p es 0,2086 clasificándose como no estadísticamente significativo. La diferencia de media entre ambos grupos de fibras ópticas es 0,103042, con un intervalo de confianza de -0,080498 a 0,286582. El error estándar de diferencia fue 0,071.

### *Comparación 30%*

En el 30% de fibras ópticas por encima del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p que se obtuvo fue 0,0319 considerándose como estadísticamente significativo. Mientras la diferencia de media fue -1,025458, el intervalo de confianza fue de -1,919412 a -0,131505 y el error estándar de diferencia 0,348.

### *Comparación 40%*

Por encima del 40% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p (0,0502) volvió a ser no estadísticamente significativo. La diferencia de ambos es -2,948500, teniendo un intervalo de confianza de -5,900177 a 0,003177. El error estándar de diferencia fue 1,148.

### *Comparación 50%*

Respecto a las fibras ópticas que se encuentran por encima del 50% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,2851 considerándose este como no estadísticamente significativo. La diferencia de media entre unas fibras y otras es 3,532600, teniendo un intervalo de confianza de -4,055996 a 11,121196. El error estándar de diferencia fue 2,952.

### *Comparación 60%*

Comparando la cantidad de fibras ópticas que se encuentran por encima del 60% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que es estadísticamente muy significativo al tener un valor de p de 0,0087. La diferencia de media de los grupos es 16,308692, con un intervalo de confianza de 6,276355 a 26,341028. El error estándar de diferencia fue 3,903.

### *Comparación 70%*

Por encima del 70% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p es de 0,0043 considerándose como estadísticamente muy significativo. La diferencia de media de las fibras ópticas en mejor estado y las fibras ópticas en peor estado es 30,178617, teniendo un intervalo de confianza de 14,456674 a 45,900559. El error estándar de diferencia fue 6,116.

### *Comparación 80%*

En el 80% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,0555 considerándose como no estadísticamente significativo. La diferencia de media de ambos grupos es 15,0001433, teniendo un intervalo de confianza de -0,5207611 a 30,5210477. El error estándar de diferencia fue 6,038.

### *Comparación 90%*

Respecto al 90% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p es 0,5746 y no estadísticamente significativo. La diferencia de media es -1,07554383, teniendo un intervalo de confianza de -5,68309391 a -3,532009625. El error estándar de diferencia fue 1,792.

### *Comparación 100%*

Comparando la cantidad de fibras ópticas que iluminan al 100% de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,6517 considerándose este como no estadísticamente significativo. La diferencia entre ambos grupos es -0,159989508, teniendo un intervalo de confianza de -1,017319036 a 0,697340020. El error estándar de diferencia fue 0,334.

	10%		20		30		40		50	
	Buen estado	Mal estado								
Mean	-	-	99,924867	99,821825	97,859167	98,884625	93,723200	96,671700	88,690900	85,158300
SD	-	-	0,026221	0,118774	0,546438	0,382723	1,495662	1,08562	2,377223	4,596967
SEM	-	-	0,01513	0,059387	0,315486	0,191362	0,863521	0,754281	1,372491	2,298484

	60		70		80		90		100	
	Buen estado	Mal estado								
Mean	81,332567	65,023875	66,767167	36,618550	29,2449333	14,2447900	2,09881667	3,17436050	0,335783667	0,495773175
SD	3,404170	5,982712	4,669077	9,609515	8,0141789	7,8321419	0,58961037	2,99124218	0,063814018	0,5613331419
SEM	1,965399	2,991356	2,965693	4,804757	4,6269883	3,9160710	0,34041170	1,49562109	0,036843040	0,280665709

*Tabla Anexo 5. Comparación de medias, SD y SEM en fibras en buen estado y fibras en peor estado*

## **ANEXO 6 - COMPARACIÓN IPHONE VS XIAOMI**

### **DETALLADA**

#### *Comparación 10%*

Comparando la cantidad de fibras ópticas que se encuentran por encima del 10% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,8686 considerándose este como no estadísticamente significativo. La diferencia de media del iPhone respecto al Xiaomi es 0,0024, teniendo un intervalo de confianza de -0,0284 a 0,0331. El error estándar de diferencia fue 0,014. Las características de ambos grupos se detallan en la tabla.

#### *Comparación 20%*

En cuanto a las fibras ópticas que se encuentran por encima del 20% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p es 0,0524 clasificándose como no estadísticamente significativo. La diferencia de media entre un teléfono móvil y otro es 2,1062, con un intervalo de confianza de -0,0264 a 4,2387. El error estándar de diferencia fue 0,969.

#### *Comparación 30%*

En el 30% de fibras ópticas por encima del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p que se obtuvo fue 0,0249 considerándose como estadísticamente significativo. Mientras la diferencia de media fue 2,7021, el intervalo de confianza fue de 0,4113 a 4,9928 y el error estándar de diferencia 1,041.

#### *Comparación 40%*

Por encima del 40% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p (0,0786) volvió a ser no estadísticamente significativo. La diferencia de media del iPhone respecto al Xiaomi es 4,1875, teniendo un intervalo de confianza de -0,5671 a 8,9422. El error estándar de diferencia fue 2,160.

#### *Comparación 50%*

Respecto a las fibras ópticas que se encuentran por encima del 50% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,4194 considerándose este como no estadísticamente significativo. La diferencia de media de un teléfono móvil a otro es 3,7566,

teniendo un intervalo de confianza de -6,1005 a 13,6137. El error estándar de diferencia fue 4,478.

### *Comparación 60%*

Comparando la cantidad de fibras ópticas que se encuentran por encima del 60% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que no es estadísticamente significativo al tener un valor de p de 0,6144. La diferencia de media del Iphone respecto al Xiaomi es 3,8008, con un intervalo de confianza de -12,3344 a 19,9359. El error estándar de diferencia fue 7,331.

### *Comparación 70%*

Por encima del 70% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p es de 0,8979 considerándose como no estadísticamente significativo. La diferencia de media del Iphone respecto al Xiaomi es -1,1682, teniendo un intervalo de confianza de -20,7561 a 18,4198. El error estándar de diferencia fue 8,900.

### *Comparación 80%*

En el 80% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,5177 considerándose como no estadísticamente significativo. La diferencia de media de ambas tecnologías es -6,6679, teniendo un intervalo de confianza de -28,6246 a 15,288765. El error estándar de diferencia fue 9,976.

### *Comparación 90%*

Respecto al 90% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p es 0,2215 y no estadísticamente significativo. La diferencia de media es -11,4045, teniendo un intervalo de confianza de -30,7742 a 7,9652. El error estándar de diferencia fue 8,800.

### *Comparación 100%*

Comparando la cantidad de fibras ópticas que iluminan al 100% de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,3322 considerándose este como no estadísticamente significativo. La diferencia de media del Iphone respecto al Xiaomi es -7,2696, teniendo un intervalo de confianza de -23,0439 a 8,5048. El error estándar de diferencia fue 7,167.

## **ANEXO 7 - COMPARACIÓN IPHONE INTERIOR VS IPHONE EXTERIOR DETALLADA**

### *Comparación 10%*

Comparando la cantidad de fibras ópticas que se encuentran por encima del 10% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,1120 considerándose este como no estadísticamente significativo. La diferencia de media del iPhone respecto al Xiaomi es 0,0102, teniendo un intervalo de confianza de -0,0026 a 0,0230. El error estándar de diferencia fue 0,006. Las características de ambos grupos se detallan en la tabla.

### *Comparación 20%*

En cuanto a las fibras ópticas que se encuentran por encima del 20% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p es 0,6540 clasificándose como no estadísticamente significativo. La diferencia de media entre un teléfono móvil y otro es -0,2691, con un intervalo de confianza de -1,5026 a 0,9644. El error estándar de diferencia fue 0,591.

### *Comparación 30%*

En el 30% de fibras ópticas por encima del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p que se obtuvo fue 0,6385 considerándose como no estadísticamente significativo. Mientras la diferencia de media fue -0,4935, el intervalo de confianza fue de -2,6514 a 1,6644 y el error estándar de diferencia 1,034.

### *Comparación 40%*

Por encima del 40% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p (0,5762) siguió siendo no estadísticamente significativo. La diferencia de media del iPhone respecto al Xiaomi es -0,9091, teniendo un intervalo de confianza de -4,2467 a 2,4286. El error estándar de diferencia fue 1,600.

### *Comparación 50%*

Respecto a las fibras ópticas que se encuentran por encima del 50% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,9627 considerándose este como no estadísticamente significativo. La diferencia de media de un teléfono móvil a otro es -0,1942,

teniendo un intervalo de confianza de -8,7469 a 8,3585. El error estándar de diferencia fue 4,100.

### *Comparación 60%*

Comparando la cantidad de fibras ópticas que se encuentran por encima del 60% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que no es estadísticamente significativo al tener un valor de p de 0,9050. La diferencia de media del Iphone respecto al Xiaomi es 0,9348, con un intervalo de confianza de -15,2008 a 17,0701. El error estándar de diferencia fue 7,735.

### *Comparación 70%*

Por encima del 70% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p es de 0,9762 considerándose como no estadísticamente significativo. La diferencia de media del Iphone respecto al Xiaomi es -0,3382, teniendo un intervalo de confianza de -23,6521 a 22,9757. El error estándar de diferencia fue 11,177.

### *Comparación 80%*

En el 80% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,8474 considerándose como no estadísticamente significativo. La diferencia de media de ambas tecnologías es 2,4589, teniendo un intervalo de confianza de -23,8487 a 28,8666. El error estándar de diferencia fue 12,612.

### *Comparación 90%*

Respecto al 90% del máximo de luminosidad del propio endoscopio, el valor de p es 0,3285 y no estadísticamente significativo. La diferencia de media es 13,7288, teniendo un intervalo de confianza de -14,8610 a 42,3187. El error estándar de diferencia fue 13,706.

### *Comparación 100%*

Comparando la cantidad de fibras ópticas que iluminan al 100% de luminosidad del propio endoscopio, se establece que el valor de p es 0,1343 considerándose este como no estadísticamente significativo. La diferencia de media del Iphone respecto al Xiaomi es 20,1761, teniendo un intervalo de confianza de -6,7912 a 47,1435. El error estándar de diferencia fue 12,928.

## **ANEXO 8 - TEXTO DE LA ZONA DE ESCÁNER**

El texto de la página de escáner dice:

Aquí podrás analizar tus fibras ópticas y para ello solo es necesario tu teléfono móvil. Para que el análisis sea exitoso no pongas tu teléfono a mucha distancia, lo idóneo es una distancia corta que te permita enfocar sin problemas y con comodidad.

¿Y cómo funciona? Es muy sencillo. Teniendo la foto que te interesa analizar o sacándola en el momento, el programa lo hace todo. Primero seleccionará la zona con las fibras ópticas, la aislará y después procederá al análisis de los píxeles. A continuación te muestra la parte con la que se ha quedado y junto ello, la gráfica de los porcentajes de fibras ópticas que iluminan según los porcentajes respecto al máximo. Es decir, te dirá las fibras que iluminan por encima del 10% del máximo que transmite el endoscopio, del 20%, del 30%, etc. Junto a todo esto, te dirá el porcentaje de fibras que iluminan por encima del 50%.