



# Diseño de Prototipo de una Cámara Intraoral en la Modalidad Open-Source

Brandon Elías Juvinao Castillo

## Universidad Magdalena

Facultad de Ciencias de la Salud y Facultad de Ingeniería  
Programa de odontología y Programa de Ingeniería Electrónica  
Santa Marta, Colombia

2019



# **Diseño de Prototipo de una Cámara Intraoral en la Modalidad Open-Source**

**Brandon Elías Juvinao Castillo**

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electrónico**

**Director:**

Magíster., Alexander Salazar-CeballosCodirectores:

PhD. Jim Cotes

Línea de Investigación:Salud Familiar

Grupo de Investigación:Salud Familiar

Universidad del MagdalenaFacultad de Salud Programa de Odontología  
Santa Marta, Colombia 2019

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el Consejo de Programa  
en cumplimiento de los requisitos  
exigidos por la Universidad del  
Magdalena para optar al título de  
(Ingeniero Electrónico)**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Santa Marta, de \_\_\_\_ del \_\_\_\_**

## ***Dedicatoria***

Ante todo este logro está dedicado principalmente a Dios, y mis padres, Elías Adolfo Juvinao Caldera y María Margarita Castillo Acosta , cada uno de ellos pusieron de su parte con mucho esfuerzo, sacrificio y entrega para que yo pudiera salir adelante, de la mano de Dios me guiaron por el camino del estudio recordándome siempre al que lucha por sus sueños y que por ningún motivo desviara mi camino aunque no iba ser fácil siempre podía encontrar una salida , por lo cual siempre en primer instancia agradeciéndole a Dios por los triunfos obtenidos . Debo agradecer también a mis hermanos, que siempre han sido un motor en mi vida para lograr mis sueños y por ello me encuentro precisamente en esta instancia.

## 1. AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera profunda a Dios, quien ha sido la guía y fortaleza en el transcurso de mi vida.

Agradezco a la Universidad del Magdalena, alma mater que me dio la oportunidad de desarrollarme académica y profesionalmente como ingeniero electrónico.

Agradezco también a cada docente con quien tuve la oportunidad de tener clase, los cuales nos brindaron sus enseñanzas y experiencias dentro del área de la ingeniería electrónica.

Al docente Alexander Salazar-Ceballos quien fue mi tutor en este proyecto, siempre me aconsejó, estuvo pendiente en todo el proceso de realización de este y quien me brindo la oportunidad de estar en él.

Agradezco también a mi tía Betty Acosta me permitió quedarme en su casa mientras realizaba todo este proceso

.

También agradezco a mis amigos, compañeros y colegas con los cuales tuve la oportunidad de compartir conocimientos y experiencia en el estudio de la ingeniería electrónica.

## **Resumen**

La Organización Mundial de la Salud estima que a nivel global entre (60% y 90%) los niños escolares y que aproximadamente el 100% de los adultos tiene o ha tenido caries, y esta prevalencia en el Caribe Colombiano es cerca del 68%. Una de las posibles soluciones para disminuir la alta prevalencia de la caries es a través del diagnóstico temprano de la caries con dispositivos como una cámara intraoral portátil. En este trabajo se muestra un prototipo de cámara intraoral en la modalidad de diseño abierto, mediante un sistema embebido (raspberry pi) que permitió crear una aplicación desde un entorno gráfico (GUIT), se realizó un procesamiento de imagen para garantizar que la foto capturada sea de 5MP. La raspberry es acoplada al módulo e-CAM51A\_USB, para de obtener mejor calidad de imagen. Así mismo se obtuvo un chasis modelado en SolidWorks que es una herramienta especializada para el diseño en 3D e impreso en ácido poliláctico, se tomaron fotografías de la cavidad oral de uno de los investigadores. Este proyecto se pudo realizar gracias a la publicación previa de prototipo de cámara intraoral de diseño abierto realizado por MIT. El diseño abierto permite que los países en vía de desarrollo puedan adquirir conocimiento aplicado y generar dispositivos a costo moderado.

**Palabras clave:** salud oral, caries dental, fotografía dental, fotografía intraoral

## ABSTRACT

The World Health Organization estimates that globally between (60% and 90%) school children and that approximately 100% of adults have or have had cavities, and this prevalence in the Colombian Caribbean is close to 68%. One of the possible solutions to reduce the high prevalence of caries is through early caries diagnosis with devices such as a portable intraoral camera. This work shows an intraoral camera prototype in the open design modality, through an embedded system (raspberry pi) that allowed to create an application from a graphical environment (GUIT), an image processing was carried out to guarantee that the captured photo be 5MP. The raspberry is coupled to the e-CAM51A\_USB module, to obtain better image quality. Likewise, a chassis modeled in SolidWorks was obtained, which is a specialized tool for 3D design and printed in polylactic acid, photographs were taken of the oral cavity of one of the researchers. This project could be carried out thanks to the previous publication of an open design intraoral camera prototype carried out by MIT. The open design allows developing countries to acquire applied knowledge and generate devices at a moderate cost.

**Keywords:** oral health, dental caries, dental photography, intraoral photography.

## Contenido

1.	Introducción.....	11
2.	Objetivos.....	13
2.1	Objetivo general.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3.	La miniaturización de la tecnología y su uso en salud.....	14
3.1	Vestibles.....	15
<b>3.2</b>	<b>¿Qué es Open Source (diseño abierto)?.....</b>	<b>16</b>
3.3	La tecnología y aportes a la salud.....	17
3.4	Las cámaras intraorales como ayudas diagnósticas.....	17
3.5	La caries como problema de salud pública en el Caribe Colombiano.....	18
3.6	La bacteria Streptococcus mutans es la causante de la caries.....	18
3.7	Construcción de una cámara intraoral open source.....	18
3.8	No existen prototipos de cámara intraoral colombianos.....	19
3.9	Principios de óptica.....	20
3.10	geométrica.....	20
3.11	Principios de las máquinas de visión.....	21
<b>4.</b>	<b>Materiales y Métodos.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1.</b>	<b>Descripción del diagrama.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>Descripción del hardware.....</b>	<b>23</b>
4.3	Descripción del software.....	24
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Fase A.....</b>	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>Fase B.....</b>	<b>26</b>
<b>5.3</b>	<b>Fase C.....</b>	<b>27</b>
<b>5.4</b>	<b>Fase D.....</b>	<b>28</b>
<b>6.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>28</b>
<b>6.1.</b>	<b>Características del módulo de la tarjeta electrónica dee-CAM51A_USB.....</b>	<b>29</b>
6.2	Características del sensor CMOS OV5640 de Omnivision.....	29
6.3	Cálculos del campo de visión.....	30
6.4	Software para el diseño eléctrico.....	31
6.5	Proceso de ensamblaje de la cámara.....	32
6.6	Diseño en 3D del chasis de la cámara intraoral.....	34
<b>6.7</b>	<b>Primer prototipo de cámara.....</b>	<b>35</b>
<b>6.9</b>	<b>Prevención de riesgos fisiológicos de la tecnología.....</b>	<b>37</b>
6.10	Anexo A.....	37
6.11	Anexo B.....	38
<b>7.</b>	<b>Discusión y análisis.....</b>	<b>40</b>
<b>Bibliografía.....</b>		<b>41</b>
Anexo A.	Consentimiento informado presentado a los participantes voluntarios del presente estudio.....	46
	Consentimiento informado.....	46

<i>Figura 1. Símbolos de elementos electrónicos .....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2 Diagrama de bloques completo del sistema .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3 Diagrama de interfaz de software .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4. Materiales del sistema de iluminación.....</i>	<i>26</i>
<b><i>Figura 5. Módulo de la tarjeta electrónica e-CAM51A_USB.....</i></b>	<b><i>28</i></b>
<i>Figura 6. Diagrama final del circuito eléctrico. ....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 7. Ensamblaje en SolidWorks .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 8. Ensamble de soporte de leds, con los lentes y leds .....</i>	<i>33</i>
<b><i>Figura 9. El diseño impreso en 3D en PLA mediana densidad.....</i></b>	<b><i>34</i></b>
<i>Figura 10. Chasis impreso en PLA.....</i>	<i>34</i>
<b><i>Figura 11. Primer prototipo de cámara .....</i></b>	<b><i>35</i></b>
<b><i>Figura 12. Prototipo final impreso en PLA y ensamblado.....</i></b>	<b><i>36</i></b>
<i>Figura 13. Fotografía intraoral de uno de los investigadores. ....</i>	<i>36</i>
<b><i>Figura 14. Fotografía intraoral de varios de los estudiantes participantes voluntariamente.....</i></b>	<b><i>37</i></b>
<i>Figura 15 Interfaz de inicio de sesión .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 16 Autenticación de inicio de sesión .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 17. interfaz de registro de paciente .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18. Interfaz de captura de imágenes .....</i>	<i>39</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
(símbolo)	(Breve descripción)
(símbolo)	Ordenados alfabéticamente; siglas en glosario.
<i>m</i>	Metro
<i>mm</i>	Milímetro
<i>nm</i>	Nanómetro

**Resistencia:** oposición de un conductor el paso de la corriente

**Potenciómetro:** interruptor usado para permitir o denegar el paso de la corriente.

**LED:** diodo emisor de luz

**Batería:** convierte la energía química almacenada en corriente eléctrica.

ELEMENTO	SÍMBOLO
BATERÍA	
SWITCH	
LEDS	
POTENCIÓMETRO	

Figura 1. Símbolos de elementos electrónicos

---

## 1. Introducción.

La caries es un problema de salud pública nivel mundial [1]. La Organización Mundial de la Salud estima que a nivel mundial la prevalencia de que 70% entre los niños escolares y casi el 90% de los adultos tiene o ha tenido caries [2], y esta prevalencia en el Caribe Colombiano es cerca del 68% [3]. La caries es una enfermedad infecciosa causada por una bacteria, la bacteria *Streptococcus mutans*; esta bacteria aprovecha los azúcares y a través de la fermentación, que es la ausencia de oxígeno, genera ácidos que contribuyen a la desmineralización del diente. Y hoy en día la caries sigue en aumento principalmente por el alto consumo de azúcares, esto sucede tanto en países desarrollados como subdesarrollados [4].

Una de las posibles soluciones para disminuir la alta prevalencia de la caries puede ser a través del diagnóstico temprano de la caries y por lo tanto disminuyendo su severidad como la pérdida de los dientes. Y esto se puede lograr con la ayuda de dispositivos que faciliten el diagnóstico al odontólogo, dispositivos tales como una cámara intraoral portátil. La miniaturización de la tecnología y la reducción de sus costos ha logrado que se generen campos de innovación, entre esos campos se encuentra la utilización de dispositivos móviles en salud pública, en la dirección de la promoción de la salud y prevención de la enfermedad [5,6].

El diseño de una cámara intraoral es un proyecto viable en términos de costos, además con el movimiento de diseño abierto se puede acceder al conocimiento necesario para los países en vía de desarrollo. Este trabajo siguió la guía de diseño abierto ofrecida por Massachusetts Institute Technology (MIT) [7]. El movimiento de diseño abierto permite la diseminación del conocimiento y desarrollar proyectos en tiempo real y sus trabajos quedan de dominio público [8, 9]. También es necesario conocer los parámetros de la adquisición de las imágenes como el campo de visión. El campo de visión o ángulo de visión (FOV) es el tamaño visible de un objeto en el espacio; el campo de visión es de utilidad cuando los lentes son fijos. El campo de visión requiere del largo focal del lente y del tamaño del sensor de la máquina de visión [10].

La odontología es una de las áreas del conocimiento que para su diagnóstico requiere básicamente de un examen intraoral, la cual es competencia del odontólogo. Y con los últimos desarrollos de la tecnología en materia de captura y

---

procesamiento de imágenes, sobre todo a nivel de los smartphones, es natural que los profesionales de la odontología estén haciendo uso de sus smartphones para tener un registro clínico de la cavidad oral de sus pacientes. Pero los smartphones no son las herramientas indicadas, y las cámaras intraorales profesionales son demasiado costosas. Y gracias a ese avance en la captura de imágenes, hoy día se tienen cámaras muy pequeñas lo que permite que en Colombia podamos diseñar cámaras intraorales con tecnología propia, convertirlas en una herramienta diagnóstica, educativa y masificarlas [11-13], las imágenes se tomaron gracias a un software desarrollado en Python 3, con GUIT creado en tkinter el cual permite además de la captura de imágenes y el procesamiento de esta misma, también cuenta con instrucciones en SQL para almacenar datos del paciente, en cuanto a procesamiento de imágenes se hace por medio de la librería OpenCv2, al ser un programa diseñado en código abierto se puede ir creando una aplicación más robusta mediante a esta propuesta dada en este trabajo.

El interés por las cámaras intraorales como herramienta diagnóstica y educativa está documentado en varios trabajos, e incluso, con la tecnología de los smartphones y estas cámaras intraorales, ya se está abordando en la tele odontología para ayudar a las personas que viven en regiones apartadas [14,5].

## **2. Objetivos.**

### **2.1 Objetivo general.**

Diseñar un prototipo de cámara intraoral en la modalidad open source.

### **2.2 Objetivos específicos.**

- Diseñar un prototipo de cámara intraoral con USB.
- Diseñar un prototipo de cámara intraoral basada en placas de microcomputador como raspberry u otro.
- Diseñar con diferentes resoluciones de imagen de (5 Y 8 megapíxeles).
- Analizar fotos en la cavidad oral.

### 3. La miniaturización de la tecnología y su uso en salud

La miniaturización de la tecnología y la reducción de sus costos ha logrado que se generen campos de innovación, entre esos campos se encuentra la utilización de dispositivos móviles en salud, es decir buscando el cuidado de la salud desde la comodidad de la casa, de esa manera se captura información de forma remota y la cual es de gran utilidad para quienes viven en zonas apartadas y/o para quienes presentan dificultades en su movimiento. Y su ventaja y utilidad en la salud es en la dirección de la promoción de la salud y prevención de la enfermedad [15,16].

Es así como en la literatura científica se puede encontrar áreas como Internet de las Cosas, *Point of Care* y *vestibles*, y casi todas están tienen como base el smartphone o celulares: bien sea con una aplicación o en una modificación de este. A continuación, describiremos estas:

**Internet de las cosas (Internet of Things: IoT):** Con la llegada masiva del Internet a los hogares se visualiza la prestación de muchos servicios de entretenimiento, pero a su vez con el avance en la tecnología de los celulares se han dado pasos hacia el cuidado de la salud. Esto nos indica que Internet de las cosas es la integración en red de la tecnología, lo cual incluye los smartphones, los dispositivos vestibles.

Entre estos pasos se pueden encontrar áreas tecnológicas como: la comunicación visual con el médico, el envío de imágenes para el diagnóstico por el especialista, sensores de movimiento que informan de alguna caída [17].

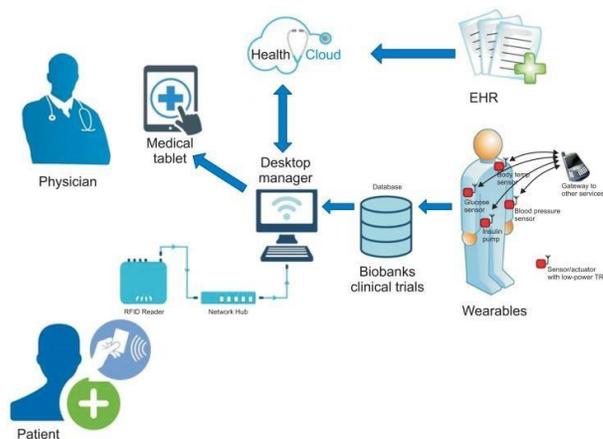


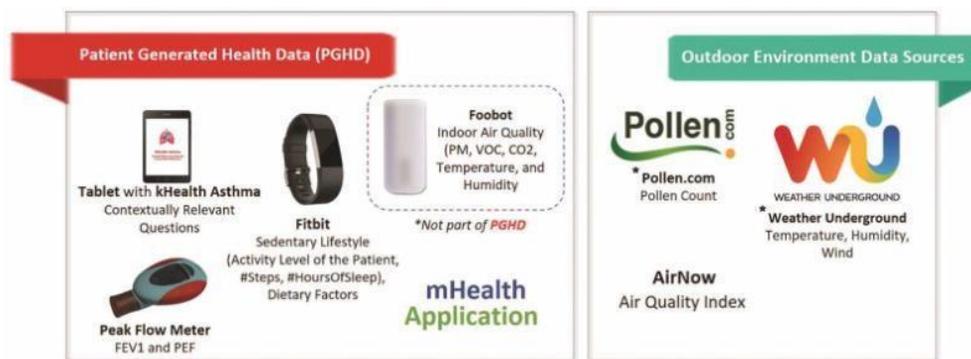
Imagen tomada de [18]

El internet de las cosas (IoT) es un sistema de integrado de dispositivos tanto físico como son sensores, demás dispositivos electrónicos interconectados entre sí por medios de software y otros elementos que permiten una constante conectividad a red, que los dispositivos almacenen datos, mantener un flujo dinámico de estos datos. El (IoT) ha tenido un fuerte impacto en área de la salud y se pronostica que para los próximos años tendrá influencia en estará alrededor del 40% [18].

**Point of Care:** indica a los dispositivos móviles que pueden realizar un informe en el propio terreno de campo. En el área de la salud los dispositivos móviles siempre se han caracterizado por tener un gran tamaño y costos elevados, limitando su transporte a regiones fuera de una instalación hospitalaria. En los últimos periodos y con los avances gigantescos de la tecnología se ha mejorado el diseño en los dispositivos de campo disminuyendo su tamaño, por lo cual podemos encontrar: biosensores, tecnología del laboratorio en un chip, microscopios, espectrofotómetros, y de los más conocidos y exitosos. Comercialmente los dispositivos de lectura de glucosa: glucómetros. El glucómetro detecta la cantidad de glucosa sanguínea de forma inmediata y en el lugar donde se encuentra el paciente [19].

### 3.1 Vestibles

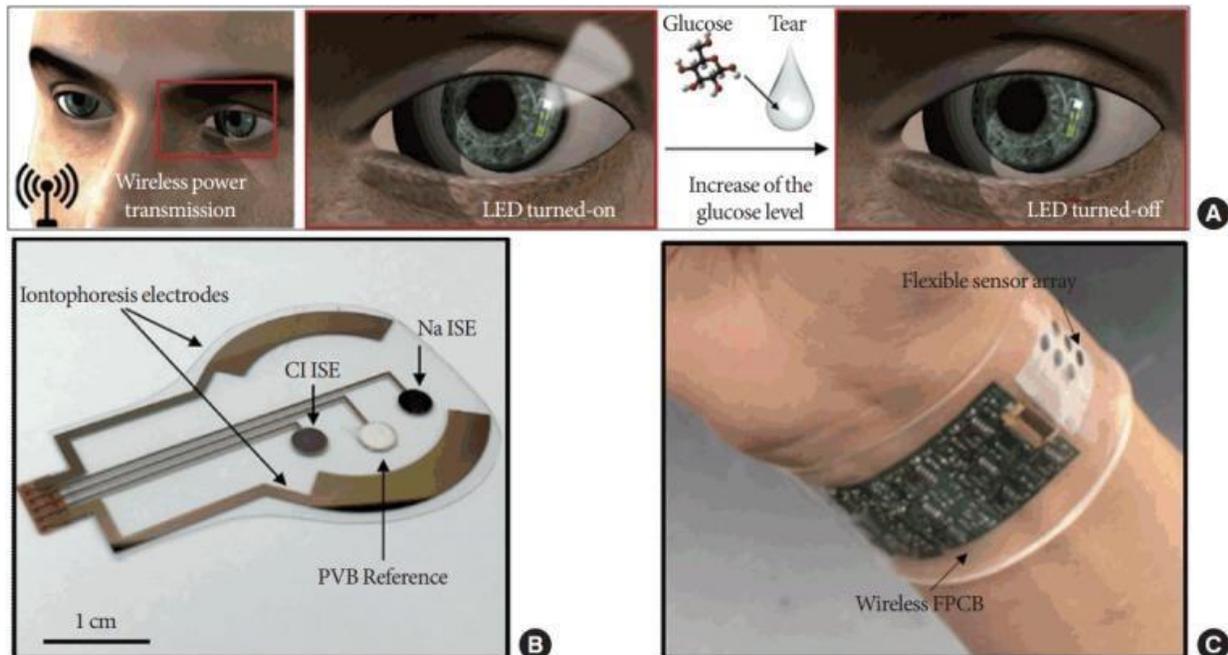
La ropa parece ser inteligente, es decir con la implementación en la ropa de diferentes sensores conectados a los smartphones se puede recoger información de: temperatura corporal, tiempo de actividad física, sensor de movimiento e incluso datos del medioambiente. Datos que son almacenados en los smartphones y pueden ser compartidos [16].



\*Use of POLLEN.COM logos is for informational and non-commercial use only.  
\*The Weather Underground Logo is a trademark of Weather Underground, LLC.

Imagen tomada de [16]

La integración de dispositivos que recogen información de las personas tiene unas bases a tener en cuenta: no hacer daño y que no sean invasivos. Así se han utilizado las lágrimas y el sudor que son analizados por sensores que se pueden adherir o bien sea en la ropa o en nuestro cuerpo [16].



**Imagen tomada de [20].**

En esta imagen se puede apreciar el uso de lentes de contacto para detectar los niveles de glucosa en la lágrima. Y también el uso de sensores electroquímicos para la detección de lactato, potasio y sodio presente en el sudor [20].

¿Qué es Open Source (diseño abierto)?

Se conoce como open Source a todas especificaciones que se hacen acerca de diseño de un objeto físico, para que un tercero pueda tomar toda esa información y sin repercusión alguna este pueda modificar, crear y distribuir. Un objeto diferente con alguna similitud partiendo de las bases inicialmente dadas [21].

El concepto de “código abierto” (OS), tuvo sus inicios en trabajos realizados en el área desarrollo de software, esto se realizó con el fin de tener un intercambio en el flujo de la información el cual constaba de publicaciones de ideas y datos, y de esta manera se le da la oportunidad a que una persona cualquiera participe en simultáneamente en el desarrollo del proyecto y de una manera de sociedad compartida que garantiza que los métodos y los datos creados sean del dominio público [7].

El diseño abierto de equipos en 3D, que son diseños asistidos por computadora se ha convertido una herramienta muy eficiente para lograr avances tecnológicos y mejores resultados porque este permite que diferentes personas aprovechen información que existe de acerca de un diseño, partir de este realizar modificaciones, crear un uno producto partiendo de la información compartida que se adapte a sus necesidades [22,23].

## **3.2 La tecnología y aportes a la salud**

La ciencia y tecnología avanzan constantemente buscando el bienestar de las personas. Es así como la miniaturización de la tecnología ha permitido crear dispositivos como el glucómetro el cual es portátil y permite detectar en una gota de sangre el nivel de azúcar [19]. Con la miniaturización de las cámaras surgieron los dispositivos conocidos como cámaras intraorales los cuales sirven para tener de manera rápida de forma poco invasiva imágenes de la cavidad oral.

## **3.3 Las cámaras intraorales como ayudas diagnósticas**

La odontología es una de las áreas del conocimiento que para su diagnóstico requiere básicamente de un examen intraoral, la cual es competencia del odontólogo. Y con los últimos desarrollos de la tecnología en materia de captura y procesamiento de imágenes, sobre todo a nivel de los smartphones, es natural que los profesionales de la odontología estén haciendo uso de sus smartphones para tener un registro clínico de la cavidad oral de sus pacientes. Pero los smartphones no son las herramientas indicadas, y las cámaras intraorales profesionales son demasiado costosas. Y gracias a ese avance en la captura de imágenes, hoy día se tienen cámaras muy pequeñas lo que permite que en Colombia podamos diseñar cámaras intraorales con tecnología propia, convertirlas en una herramienta diagnóstica, educativa y masificarlas.

El interés por las cámaras intraorales como herramienta diagnóstica y educativa está documentado científicamente [9,11]. E incluso, con la tecnología de los smartphones y estas cámaras intraorales, ya se está trabajando en sistemas como telemedicina para ayudar a las personas que viven en regiones apartadas [12,14].

---

### **3.4 La caries como problema de salud pública en el Caribe Colombiano**

La caries es un problema de salud pública nivel mundial [1]. La Organización Mundial de la Salud estima que a nivel mundial la prevalencia de que 60% entre los niños escolares y alrededor del 90% de los adultos tienen o ha tenido caries [2]. Pero esta prevalencia también está presente en Colombia y específicamente en el Caribe Colombiano, donde se ha informado de una prevalencia cercana al 68%, siendo el Caribe la región líder con caries en Colombia [3].

### **3.5 La bacteria Streptococcus mutans es la causante de la caries**

La caries es una enfermedad infecciosa causada por la bacteria Streptococcus mutans coco gran positivo. Esta bacteria aprovecha los azúcares y a través de un proceso de fermentación genera ácidos que contribuyen a provocar un medio ambiente ácido en la cavidad conllevando a la desmineralización del diente; pero a pesar de este conocimiento la caries sigue en aumento tanto en países desarrollados como subdesarrollados, principalmente por el alto consumo de azúcares [6].

Estudios han evidenciado que algunas de las causas por las que no se consulta al odontólogo son los costos y el miedo, y esto conlleva a que la caries progrese en los pacientes [4]. De esta manera se considera necesario acceder a las tecnologías para ayudar en un diagnóstico temprano de esta enfermedad.

### **3.6 Construcción de una cámara intraoral open source**

El diseño de una cámara intraoral es un proyecto viable dado que hoy las cámaras son relativamente baratas, lo costoso sería el envío que en muchos casos es internacional. El diseño del prototipo de la cámara intraoral en la modalidad open source es un proyecto viable, ya que se tiene una guía ofrecida por el Massachusetts Institute Technology (MIT) [5];

además, se tiene las asesorías los profesores en las áreas de la ingeniería electrónica, la odontología y la microbiología, este último con experiencia en fotografía semi-profesional. Este dispositivo es una necesidad sentida en nuestro país: lograr masificar este tipo de dispositivos en el campo de la salud oral.

Se espera que este prototipo sea accesible económicamente y con fases consecutivas exista una especie de retroalimentación entre los mismos odontólogos y entre los odontólogos y los pacientes; es claro que a partir de las imágenes tomadas con el dispositivo el diagnóstico de caries u otras enfermedades de la cavidad oral es competencia de los profesionales de la odontología.

Al relativo costo económico de las cámaras se les puede adicionar la facilidad de acceso a las placas madre para microcomputadores, los cuales en su mayoría trabajan bajo el sistema operativo Linux, que es un sistema operativo de código abierto. En las áreas de las ciencias básicas y de salud existen varios softwares que están bajo la modalidad de open source, lo que ha ayudado al desarrollo de las investigaciones y de los servicios de salud.

### **3.7 No existen prototipos de cámara intraoral colombianos.**

En Colombia, a la fecha, y con las búsquedas en Internet en Colombia, aún no existen prototipos colombianos de cámara intraoral. En el mercado mundial existen diferentes casas comerciales con diversidad de productos que van desde la cámara intraoral portátil con conexión a smartphones, por medio de USB al computador, y hasta equipos completos con software específicos y numerosos servicios. El precio de las cámaras intraorales puede oscilar entre los 150 y los 300 dólares. Es evidente que estos precios no son muy accesibles a todas las personas. El modelo de cámara que se realizó en este trabajo maneja una resolución de 5 megapíxeles con autoenfoco, además cuenta con un sistema de registro de pacientes, registro de acceso para odontólogos para de esta manera tener un soporte de lo que se encontró en la cavidad bucal, con la capacidad crear un registro de información básica de los pacientes y que de almacenan en la nube. Al trabajar con un modelo de software abierto admite futuras modificaciones.

### 3.8 Principios de óptica geométrica

En este trabajo se desea comprender la formación de la imagen de un objeto a través de un lente delgado. La luz, como rayos paralelos, del objeto entran en un lente delgado y enfocan en una distancia igual a la distancia focal ( $f$ ) detrás del lente [24].

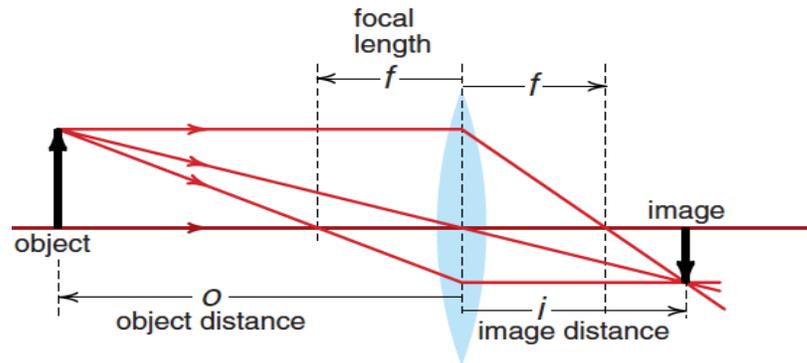


Imagen tomada de [24].

$O$  = es la distancia del objeto al lente (convergente)

$i$  = es la distancia del lente a la imagen (invertida)

$f$  = es la distancia focal

En la siguiente imagen se representa la formación de la imagen en una cámara fotográfica, con el fin de comprender los objetivos específicos del presente trabajo.

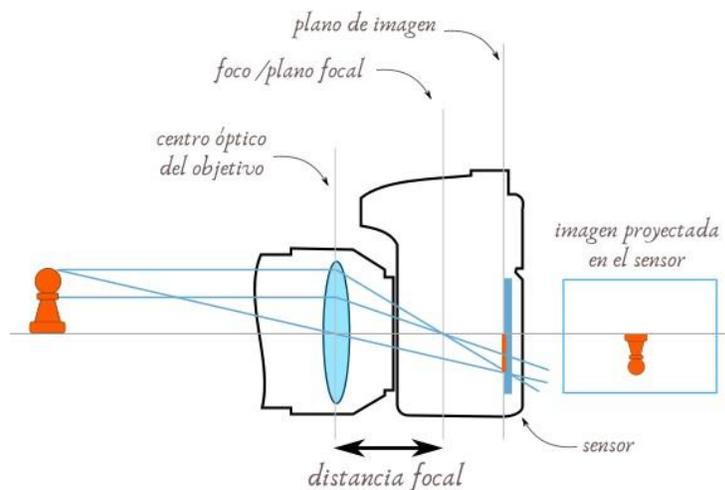
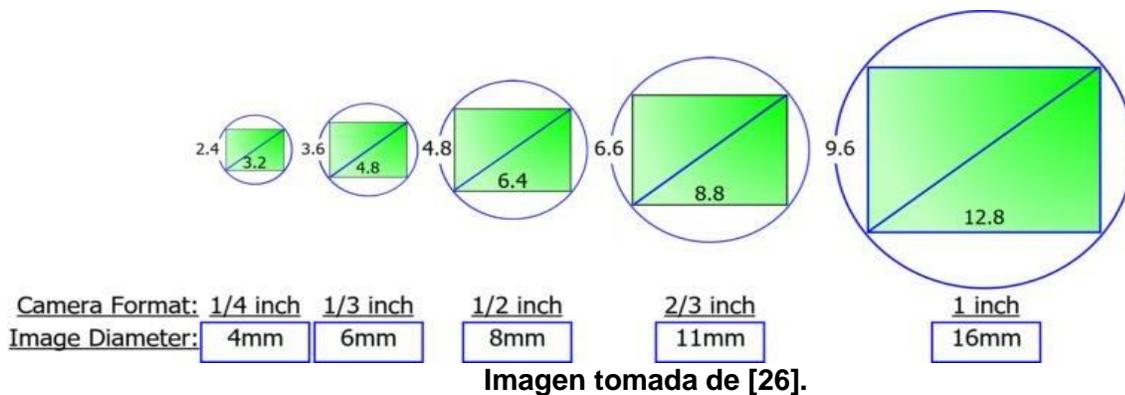


Imagen tomada de [25]

### 3.9 Principios de las máquinas de visión

A continuación, se definirán los principios de las máquinas de visión como son: tamaño del sensor, campo de visión, distancia de trabajo y f/número

Tamaño del sensor: es el área activa del sensor, típicamente se especifica en la dimensión horizontal [26].



**Campo de visión (Field of view):** También conocido como campo de perspectiva, en dispositivos ópticos se le llama campo de visión a la porción de ángulo en la cual el sensor es capaz de captar la radiación electromagnética que se va a capturar. Es decir, el área visible del objeto [27].

El FOV puede ser horizontal o vertical, o solo FOV indica el diámetro total del objeto. A continuación, se presentan las fórmulas para obtener el FOV vertical y FOV horizontal.

Sensor Size	1"	$\frac{2}{3}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{1}{3}$ "	$\frac{1}{4}$ "
H	$\frac{12.8 * L}{f}$	$\frac{9.6 * L}{f}$	$\frac{6.4 * L}{f}$	$\frac{4.8 * L}{f}$	$\frac{3.6 * L}{f}$
V	$\frac{9.6 * L}{f}$	$\frac{6.6 * L}{f}$	$\frac{4.8 * L}{f}$	$\frac{3.6 * L}{f}$	$\frac{2.7 * L}{f}$

- f = Focal length of the lens in mm
  - H = Horizontal Dimensions of the object
  - V = Vertical Dimensions of the object
  - L = Distance from the lens to the object
- H, V, and L must be in the same measurement.

Imagen tomada de [27].

**Distancia de trabajo (working distance = WD):** es la distancia desde el frente del lente al objeto

**f/número (f/#):** el f/número define la cantidad de luz que puede atravesar el lente. Es definida como  $f/D$ , donde  $f$  es el largo focal y  $D$  es el diámetro de entrada de la pupila. El f/número limitará la resolución del lente como también la profundidad de campo. Así como el f/número disminuye, la resolución aumentará y la profundidad de campo disminuirá y viceversa. En conclusión, el f/número está determinado por tres parámetros: Luminosidad de la imagen, profundidad de campo y resolución del lente [26].

**Profundidad De Campo (DOF):** Es parte de la imagen nítida o enfocada. Esta profundidad nitidez se extiende tanto antes como después del punto enfocado. El tamaño de esta zona se debe a tres factores principales: La apertura del lente, el largo focal del lente utilizado, La distancia entre la cámara y el sujeto en foco [28].

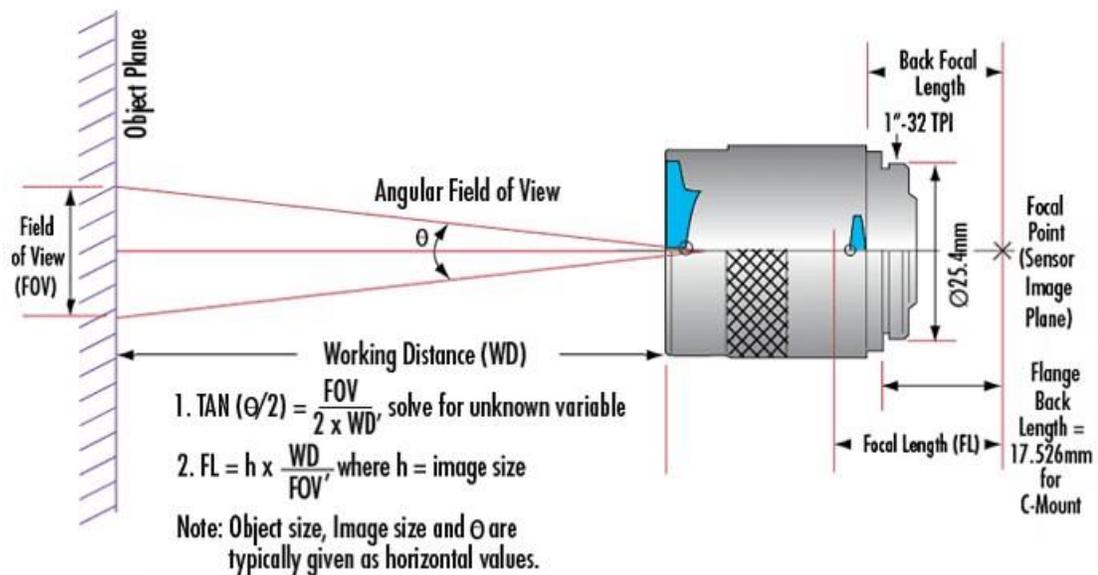


Imagen tomada de [29]

La anterior imagen representa un diagrama para lente fija en el cual se pueden evidenciar las ecuaciones para calcular el campo de visión y se hace descripción gráfica de los parámetros fundamentales para obtener una buena imagen como son: distancia de trabajo, largo focal

## 4. Materiales y Métodos.

### 4.1. Descripción del diagrama.

El proyecto está conformado por una raspberry pi3 modelo B, un módulo de la tarjeta electrónica e-CAM51A\_USB, una tarjeta microSD, un monitor, un sistema de iluminación.

El sistema se divide en 2 partes: hardware y software. El hardware está construido en base a una minicomputadora como lo es la tarjeta raspberry pi 3. Las imágenes de la cavidad bucal se capturan por un odontólogo mediante el módulo e-CAM51A (carama) y estas son visualizadas en un monitor de PC. El software está integrado en un entorno Linux. Este se desarrolla en Python 3, haciendo uso de la Biblioteca OpenCV [30], SQL [31] y tkinter [32]. El programa apoya a los odontólogos en el diagnóstico por medio de imágenes dentales, en el procesamiento de imágenes dentales y también almacenamiento de datos del paciente.

### 4.2 Descripción del hardware

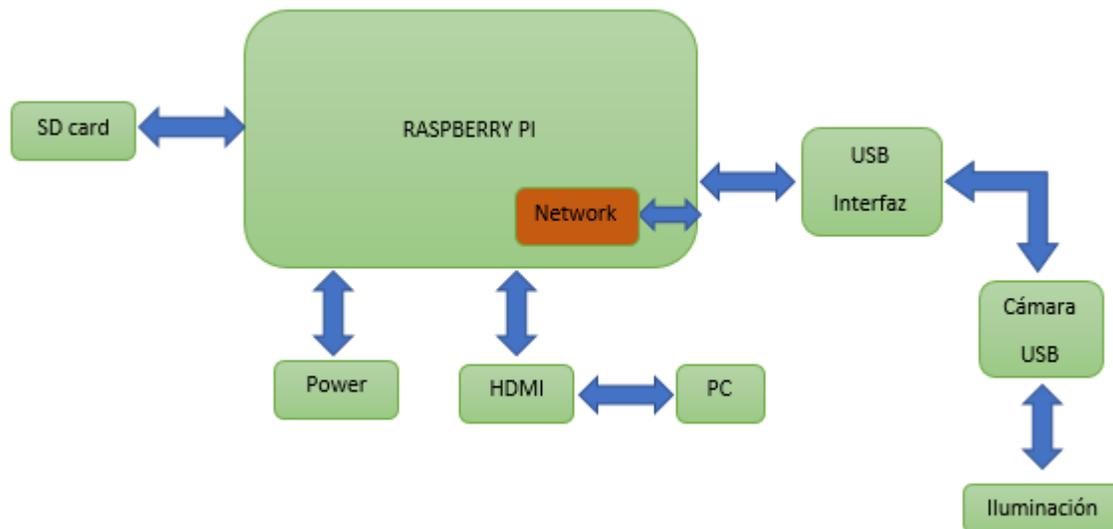


Figura 2 Diagrama de bloques completo del sistema

El hardware del sistema basado en una tarjeta inteligente raspberry pi 3, se muestra en la figura 2, la raspberry pi es una potente tarjeta de desarrollo muy similar a una microcomputadora maneja 32 bits, posee innumerables aplicaciones en sistemas embebidos, tiene un microSD que funciona como el disco duro, el cual maneja una la interfaz que comunica al módulo de la cámara por medio del puerto USB. Las imágenes dentales son capturadas por el módulo e-CAM51A, esta son en envidas a la CPU de la raspberry pi estas son visualizadas en el monitor de PC gracias al puerto HDMI. Además, estas imágenes quedan almacenadas en la SD, los datos de los pacientes se almacenan en un servidor.

### 4.3 Descripción del software.

En la figura 3 se muestra el diagrama de bloque de nuestro sistema.

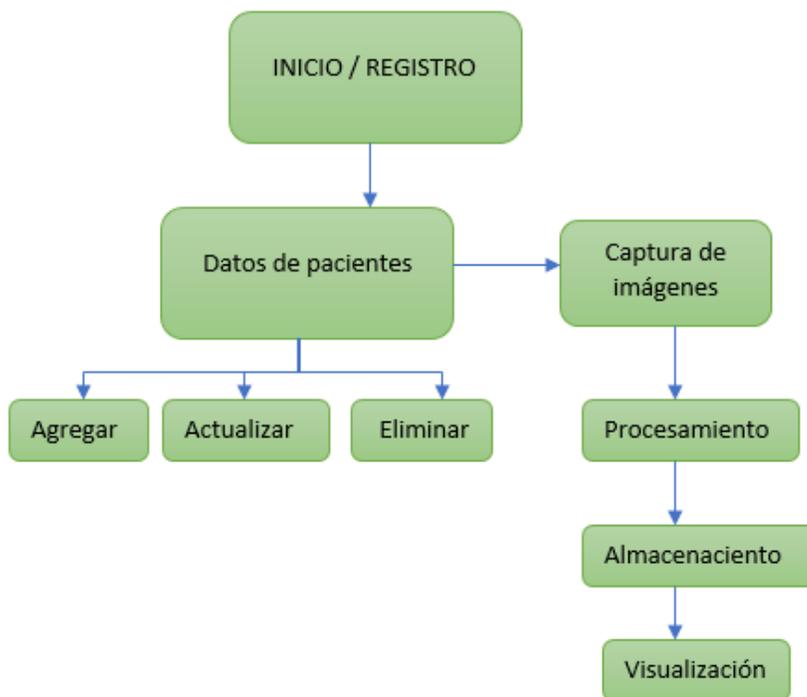


Figura 3 Diagrama de interfaz de software

Consiste en un script en Python, se desarrolla un GUI en tkinter, en la ventana principal cuenta con un registro e inicio de sección para los odontólogos estos datos se almacenan en una base de datos, luego de ser ejecutado en la ventana secundaria se registra Id del paciente, nombre completo, edad, dirección y observación del paciente, todo esto se almacena mediante sentencias SQL, en una base de datos creada en myadmin, la interfaz contiene 4 botones.

los cuales los primeros tres botones utilizan para actualizar, eliminar e insertar información del paciente, el cuarto botón se usa para capturar imágenes mediante el módulo de cámara USB, estas imágenes son procesadas con ayuda de la librería Open-cv2, se le aplica una interpolación lineal de puntos para garantizar la resolución de (5M,8M), en este proceso se debe convertir la imagen de GBR a RGB por motivo de visualización, opencv2 trabaja con formato GBR y para visualización se trabaja con RGB, también se le aplica un filtro de suavizado de ruido, estas son almacenadas en la SD.

## 5. Metodología

Con el fin de lograr un buen diseño, construcción y garantizar un buen funcionamiento del prototipo de la cámara intraoral, se tuvieron en cuenta los aspectos como buena resolución del sensor de la tarjeta a seleccionar, sistema de iluminación, diseño de chasis en 3D, ensamblaje y realización pruebas para ajustes de resolución de imagen, para lograr todo esto se tuvieron en cuenta cuatro fases las cuales se darán a conocer a continuación:

### 5.1 Fase A

En esta fase se da a conocer la tarjeta y de más materiales utilizados para la construcción del prototipo de una cámara intraoral. La Tarjeta seleccionada es OEM USB e-CAM51A\_USB (e-con Systems) fue seleccionada por su pequeño tamaño y poseer una buena resolución (5 Megapíxeles). Los lentes 6mm, vidrio 20 mm (Edmund Optics), vidrio 12,5 mm (Edmund Optics) fueron seleccionados por el tamaño, calidad además son de 530 nanómetros el cual nos permite el paso de la luz blanca necesaria para la iluminación, cable USB, led 3528 es tipo de led fue seleccionado por su tamaño, también por su alta durabilidad e intensidad lumínica. Una guía más completa de los materiales y sus proveedores se encuentra en el artículo original publicado por los investigadores del Massachusetts Institute Technology [7].

## 5.2 Fase B

En esta fase se hace aclaración a la selección de material de iluminación como la cavidad oral presenta baja luz es necesario suministra iluminación adicional para que esta sea captada por el sensor y lograr un mejor calidad de imagen, se eligió interruptor on/off mini-slide 3 pin por su tamaño reducido y bajo costo , un potenciómetro lineal monofónico  $10k\Omega$ , porque este es necesario para disminuir o aumenta el paso de la corriente el cual provoca una caída de tensión y esto a su vez disminuye o aumenta la intensidad de luz en los leds , se eligieron batería CR2032 3V y 210mAh su dimensiones relativamente pequeñas y ofrece la energía suficiente para que los leds mantengan una buena iluminación , compacto, se eligió el alambre de cable esmaltado 0,30 a 1,50 mm por su grosor y rigidez, se eligió el Led SMD 3528 a 4V por la intensidad de luz blanca que este maneja y su pequeño tamaño (Fig. 2).



Potenciómetro



Cable

LED SMD 3528



Mini-interruptor de tres pines

*Figura 4. Materiales del sistema de iluminación*

### 5.3 Fase C

En esta fase se describe el proceso del soldado y los softwares utilizados para el diseño y captura de imágenes.

Procedimiento de soldadura: El caudín se calentó por un tiempo aproximado entre 5 y 10 minutos. Se colocó crema para unir los elementos. Se sobrepusieron los elementos y se utilizó el caudín sobre estos elementos, adicionando el estaño; y se esperó hasta que solidificó el estaño.

**Softwares utilizados:** Se utilizó el software Crocodrile para el diseño eléctrico, y donde se utilizaron los parámetros de resistencia, potenciómetro, LED y batería. El diseño del chasis se desarrolló en el software Solidworks utilizando todas las herramientas que esta posee e incorporando las medidas de los elementos electrónicos físicos como son la tarjeta de la cámara y los del sistema de iluminación para lograr un buen acople entre ellos, se imprimió en 3D ácido poli láctico (PLA). Para la toma de las fotografías inicialmente se utilizó el software Cheese de Linux, luego se diseñó un GUI de en Python y tkinter para el capture de imágenes, el procesamiento de esta, también para el almacenamiento de datos ver anexo B.

## 5.4 Fase D

Se realizó pruebas de laboratorio para ver la calidad en las fotos del prototipo utilizando diferentes intensidades de luz y a diferentes distancias, capturándose 26 hasta evidenciar una imagen con una resolución donde se aprecie los detalles lo observado en la cavidad bucal.

Para mejorar los ajustes pertinentes al prototipo de la cámara intraoral se invitó a un grupo de estudiantes de odontología del curso de microbiología del semestre 2019 – 1 a participar del estudio voluntariamente previa firma del consentimiento informado (Anexo A) de estos estudiantes 10 se accedieron a participar en el estudio. Realizando secciones de 3 fotos por pacientes, una foto frontal, una arcada superior, una arcada inferior y de acuerdo con lo observado en ella se decidían tomar otras fotos algunos de los cuadrantes los cuales pueden ser: superior derecho o izquierdo, inferior derecho o izquierdo, La toma de las fotografías se realizó en el consultorio prioritario de la Clínica Odontológica de la Universidad del Magdalena, entre el 18 y 19 de marzo del 2019.

## 6. Resultados

A continuación, se presenta el módulo de la tarjeta electrónica e-CAM51A\_USB (Fig. 3) utilizada en el presente trabajo.



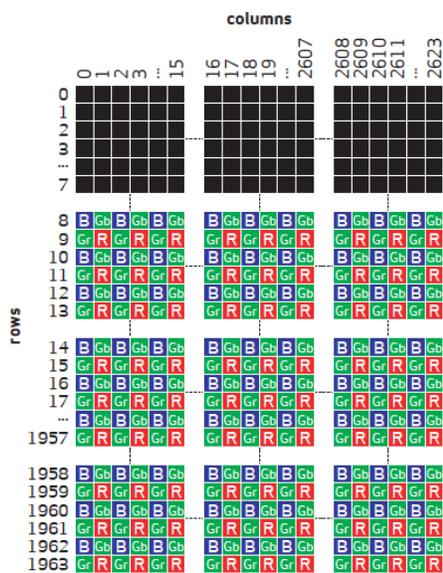
*Figura 5. Módulo de la tarjeta electrónica e-CAM51A\_USB*

## 6.1. Características del módulo de la tarjeta electrónica dee-CAM51A\_USB

El módulo de la tarjeta electrónica de e-CAM51A\_USB es de un tamaño de  $71 \times 13 \times 7,8$  mm, y el sensor tiene una resolución de 5 megapíxeles. Este módulo funciona de forma Plug-and-Play con los sistemas operativos de Windows, Mac y Linux. El módulo e-CAM51A\_USB tiene un sensor de imagen basado en el CMOS OV5640 de Omnivision.

## 6.2 Características del sensor CMOS OV5640 de Omnivision.

El sensor OV5640 permite una resolución máxima de 5 megapíxeles, es decir que la organización de los píxeles es de 2624 columnas por 1964 filas (5.133.536 píxeles). (Imagen tomada de Información técnica del sensor OV5640 de Omnivision)



A continuación, otras características del sensor:

**Tamaño:** sensor CMSO de 1/4"

**Tamaño del píxel:** 1,4 x 1,4 um.

**Las especificaciones del lente son:** F. No: 2,8. Tomado de [33]

**Ángulo de visión:** de 60o (aproximadamente)

### 6.3 Cálculos del campo de visión

Para calcular el campo de visión se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: sensor (¼ inch), horizontal sensor size (3.2 mm), vertical sensor size (2.4 mm), focal length ( $f = 3.42$  mm), HFOV = ángulo de visión horizontal , VFOV = ángulo de visión vertical.

Dados los parámetros se aplicó la siguiente fórmula:

$$HFOV = 2 \tan^{-1} \left( \frac{\text{sensor size}}{2 \times f} \right)$$

y se obtuvieron los siguientes resultados:

$$HFOV = 2 \arctan \left( \frac{3.2}{2 \times 3.42} \right) = 50.14^\circ$$

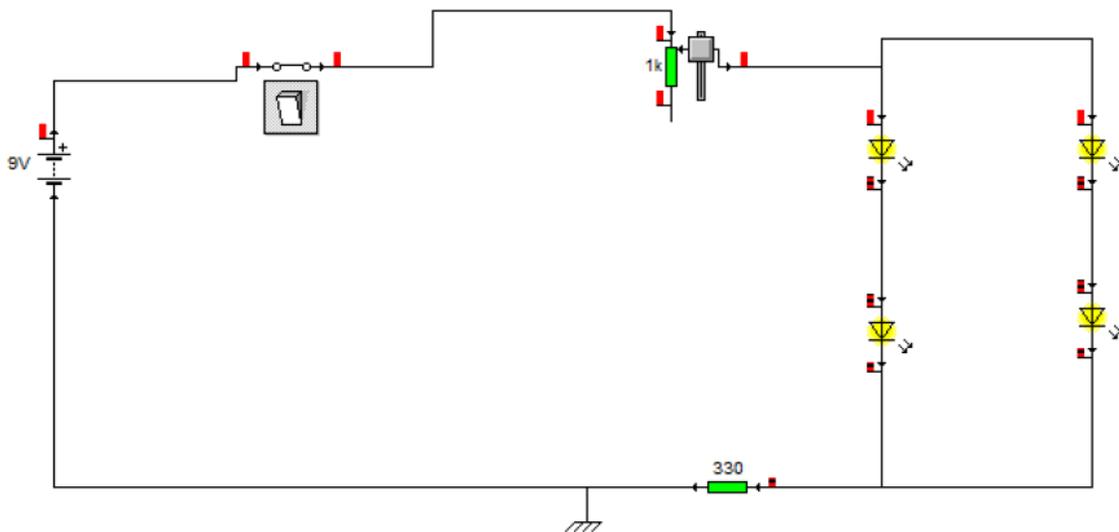
$$VFOV = 2 \arctan \left( \frac{2.4}{2 \times 3.42} \right) = 38,58^\circ$$

Estos cálculos se realizaron ya que el fabricante de la cámara solo suministró el valor del ángulo de visión ( $60^\circ$ ) y el largo focal ( $f = 3.42$  mm).

## 6.4 Software para el diseño eléctrico

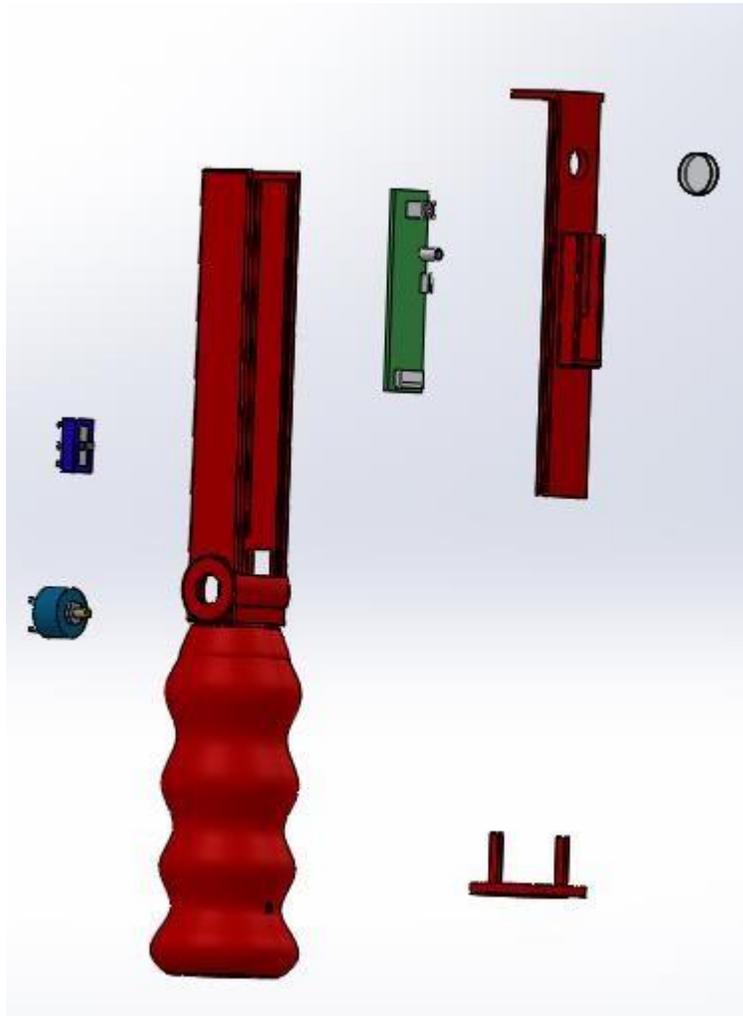
Se utilizó el software Crocodile, también se utiliza componentes electrónicos los cuales ofrecía este programa para realizar una previa simulación del comportamiento en la iluminación de dicho circuito y regulando por medio del potenciómetro lineal para a hacer una idea de cómo se comportaría el circuito real.

**Diseño del circuito eléctrico:** A continuación, se presenta el diseño del circuito eléctrico (Fig.4).



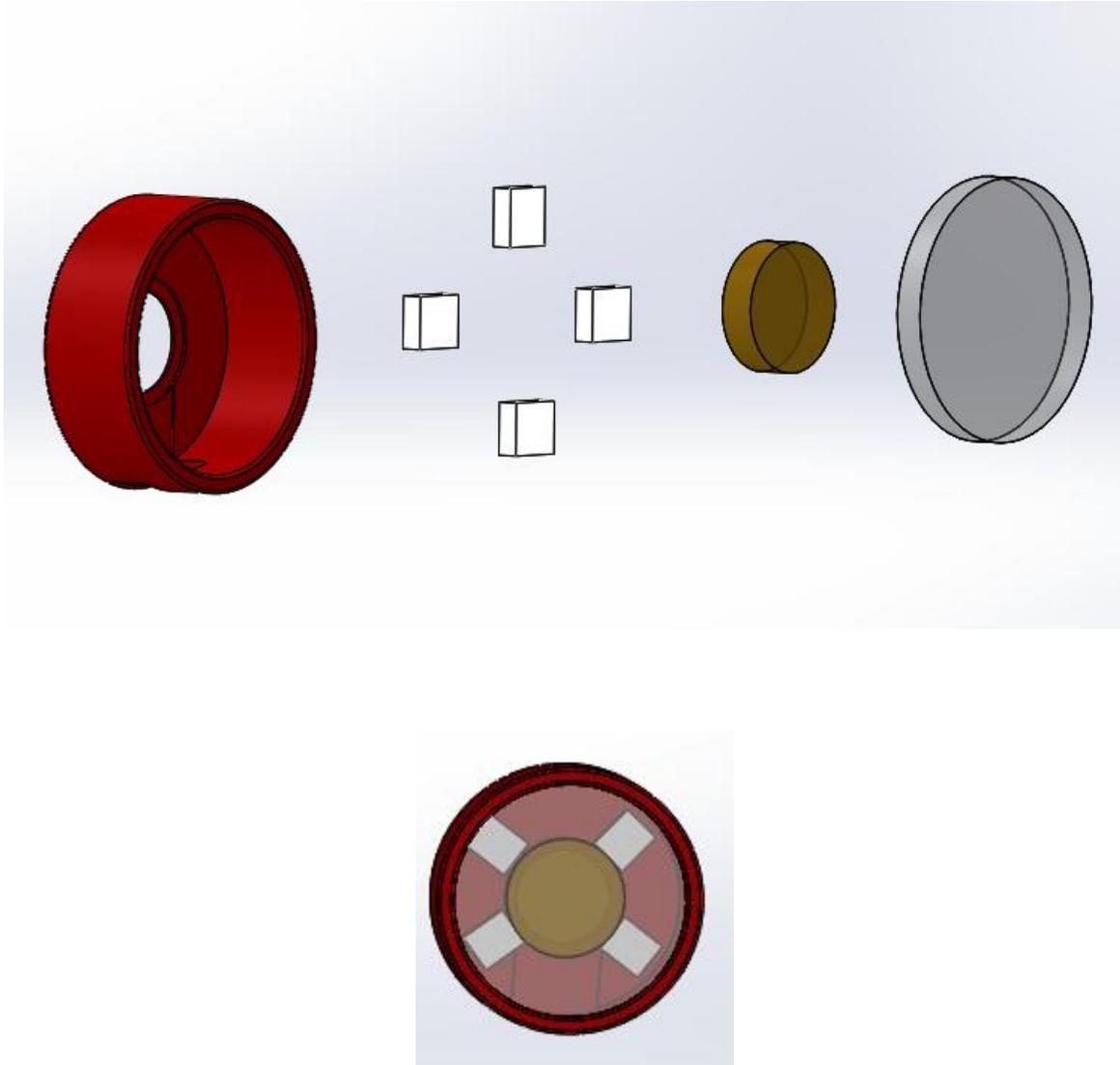
*Figura 6. Diagrama final del circuito eléctrico.*

## 6.5 Proceso de ensamblaje de la cámara



*Figura 7. Ensamblaje en SolidWorks*

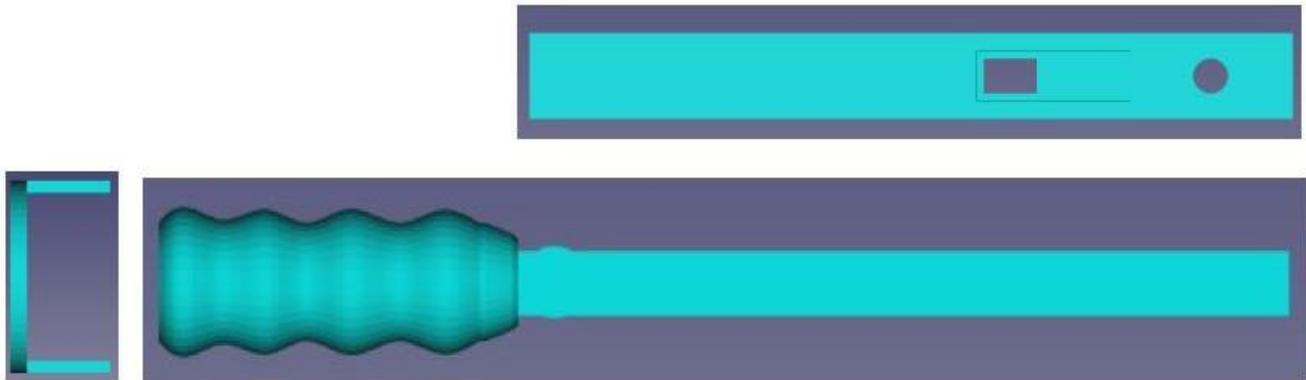
Foto de ensamblaje de cabeza de soporte de LEDs (tomar fotos así)



*Figura 8. Ensamble de soporte de leds, con los lentes y leds*

## 6.6 Diseño en 3D del chasis de la cámara intraoral

Se presenta el diseño en 3D del chasis realizado en el software Solidworks (Fig.5).



*Figura 9. El diseño impreso en 3D en PLA mediana densidad.*

**Ensamblaje de la cámara:** Las dimensiones del chasis impreso en PLA, fueron: 22 *cm* de largo, 2 *cm* de ancho y 2,3 *cm* de alto; previamente también hubo un prototipo ensamblado manualmente, utilizando material de canaletas de plástico para cables eléctricos.



*Figura 10. Chasis impreso en PLA*

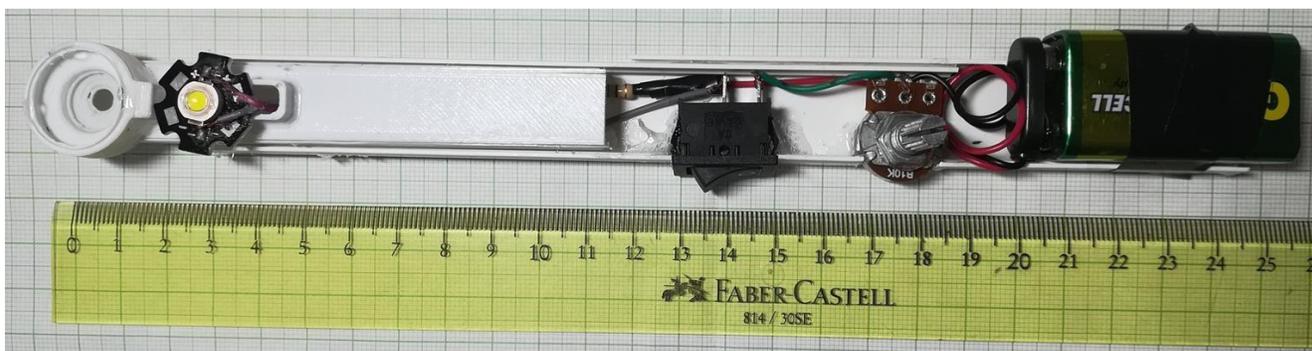
**Prueba de concepto:** (point care proof):

**Software utilizado para la toma de las fotografías:** Cheese de Linux  
(<https://wiki.gnome.org/Apps/Cheese/Design> ).

## 6.7 Primer prototipo de cámara

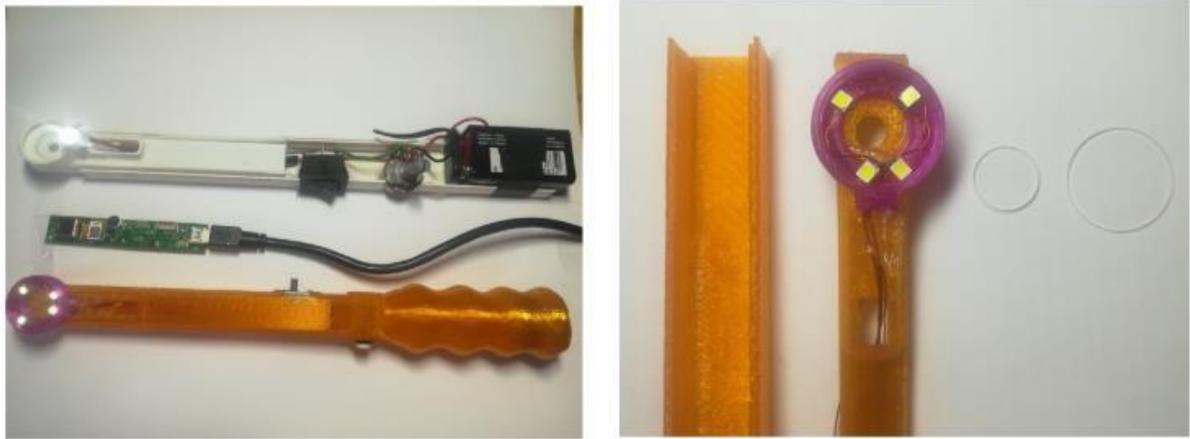
Foto de ensamblaje modelo propio de cámara intraoral, (tomar fotos así)

Primer prototipo “retro” con el cual se tomaron las fotografías (Fig. 9).



*Figura 11. Primer prototipo de cámara*

Prototipo de cámara intraoral ensamblado. A la izquierda: arriba está el prototipo hecho con enlaces de cable, en el medio está la placa e-CAM51A\_USB cámara, y debajo está el diseño impreso en 3D. Y a la derecha: lente de 12.5 mm entra en el chasis morado y la lente de 20 mm cubre el led.



*Figura 12. Prototipo final impreso en PLA y ensamblado.*

## **6.8 Observación del uso del prototipo de la cámara intraoral para la fotografía clínica en odontología.**

El prototipo de cámara intraoral previamente fue probado con la cavidad intraoral de uno de los investigadores (Fig. 12).



*Figura 13. Fotografía intraoral de uno de los investigadores.*

## 6.9 Prevención de riesgos fisiológicos de la tecnología

Como es evidente que al ser un instrumento que se introduce parcialmente en la boca puede conllevar riesgos, porque se puede transmitir alguna bacteria de un paciente a otro, pero todo esto es controlado por sheath dental camera que es funda o vaina desechable en la cual se introduce las cámaras y queda totalmente protegida, se debe hacer el cambio de la funda de un paciente a otro.

## 6.10 Anexo A

Se invitó a un grupo de estudiantes de odontología del curso de microbiología del semestre 2019 - 1 a participar del estudio voluntariamente previa firma del consentimiento informado (Anexo A). La toma de las fotografías (Fig. 13) se realizó a grupo de estudiantes de odontología del curso de microbiología del semestre 2019 - 1 previa firma del consentimiento informado (Anexo A).



**Figura 14. Fotografía intraoral de varios de los estudiantes participantes voluntariamente**

## 6.11 Anexo B



Figura 15 Interfaz de inicio de sesión

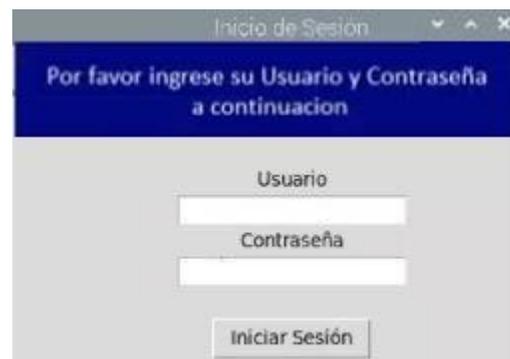


Figura 16 Autenticación de inicio de sesión



Figura 17. interfaz de registro de paciente



Figura 18. Interfaz de captura de imágenes

## 7. Discusión y análisis

Se diseñó el prototipo de una cámara intraoral en la modalidad open-source, y según la literatura revisada es uno de los prototipos diseñados en esta modalidad en Colombia. El prototipo fue utilizado a modo de prueba en la toma de varias fotografías de la cavidad intraoral. Se realizaron los cálculos del campo de visión del lente acoplado al módulo de e-CAM51A\_USB y cuyos valores fueron  $HFOV = 50.14^\circ$ , y  $VFOV = 38.58^\circ$ . Así mismo se obtuvo un chasis diseñado en 3D e impreso en PLA, el cual es un termoplástico biodegradable.

Este proyecto se pudo realizar gracias a la publicación previa de prototipo de cámara intraoral de diseño abierto [2]. En el presente trabajo el chasis original [5] tuvo leves modificaciones. Los diseños en 3D se pueden solicitar a los autores por correo electrónico. El movimiento del diseño abierto permite que los países en vía de desarrollo puedan adquirir conocimiento aplicado y generar dispositivos a bajo costo [8,9]

A nivel de costos generados en el prototipo final, se puede considerar que el módulo e-CAM51A\_USB tuvo un costo aproximado de US\$ 35 y la impresión en 3D de cerca de US\$ 40; indicando que el chasis fue más costoso que el módulo electrónico. Pero el módulo no se consigue en Colombia, por lo tanto, hay que sumarle costos aproximados de transporte (US\$50) e importación (US\$50), de esta manera se elevó el costo a un total aproximado de US\$ 175. Finalmente, esta valoración final sigue siendo de bajo costo considerando los costos de las cámaras intraorales existentes en el mercado; costos que varían dependiendo de la calidad de la imagen y las opciones como luces LED, pantalla adicional y software específicos. El diseño de dispositivos de uso clínico en la modalidad open source reduce costos y potencializa la innovación [14].

Se espera que con el apoyo adecuado se pueda generar spin-off e impactar así en la salud pública con el fin de promover la salud oral y disminuir la caries [5, 6]. La generación de spin-off es una opción viable, ya que depende de la financiación generosa por parte de la universidad o entidades privadas, y promover así el desarrollo tecnológico aplicado. Ahora uno de los atractivos para que las mismas universidades financien empresas tipo spin-off, es que estos son nuevos indicadores de los rankings mundiales [30].

En el proceso de captura de fotos se observó que para que el sistema no pierda la resolución debe introducirse 4,2 cm aproximadamente.

## Bibliografía

- [1] Abhishek KN, Shamarao S, Jain J, Haridas R, Ajagannavar SL, Khanapure SC. Impact of caries prevalence on oral health-related quality of life among police personnel in Virajpet, South India. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry* [Internet]. 2014 [cited 2019 Sep 23];4(3):188–92. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25374838>.
- [2] Angelino K, Edlund DA, Shah P. Near-Infrared Imaging for Detecting Caries and Structural Deformities in Teeth. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine* [Internet]. 2017 [cited 2019 Sep 28]; 5:1–7. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5418067/>
- [3] IV Estudio Nacional de Salud Bucal ENSAB IV [Internet]. [cited 2019 Oct 3]. Available from:  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/Sandra%20Tovar.pdf>
- [4] Seethalakshmi C, Reddy RCJ, Asifa N, Prabhu S. Correlation of Salivary pH, Incidence of Dental Caries and Periodontal Status in Diabetes Mellitus Patients: A Cross-sectional Study. *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR* [Internet]. 2016 [cited 2019 Sep 28];10(3):ZC12-4. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27134992>
- [5] Angelino K, Shah P, Edlund DA, Mohit M, Yauney G. Clinical validation and assessment of a modular fluorescent imaging system and algorithm for rapid detection and quantification of dental plaque. *BMC oral health* [Internet]. 2017 [cited 2019 Oct 1];17(1):162. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29284461>

- 
- [6] Balasegaram M, Kolb P, McKew J, Menon J, Olliaro P, Sablinski T, et al. An open source pharma roadmap. *PLOS Medicine* [Internet]. 2017 Apr 18 [cited 2019 Oct 1];14(4):e1002276. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5395155/>
- [7] McKiernan EC, Bourne PE, Brown CT, Buck S, Kenall A, Lin J, et al. How open science helps researchers succeed. *eLife* [Internet]. 2016 Jul 7 [cited 2019 Oct 1];5. Available from: <https://cdn.elifesciences.org/articles/16800/elifesciences-16800-v1.pdf>.
- [8] Wang Q, Khanicheh A, Leiner D, Shafer D, Zobel J. Endoscope field of view measurement. *Biomedical Optics Express* [Internet]. 2017 Feb 7 [cited 2019 Oct 1];8(3):1441. Available from: <https://www.osapublishing.org/boe/abstract.cfm?uri=boe-8-3-1441>
- [9] Willershausen B, Schlösser E, Ernst CP. The intra-oral camera, dental health communication and oral hygiene. *International dental journal* [Internet]. 1999 [cited 2019 Oct 1];49(2):95–100. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10858739>
- [10] Brüllmann DD, Weichert CID, Daubländer M. Intraoral cameras as a computer-aided diagnosis tool for root canal orifices. *Journal of dental education* [Internet]. 2011 [cited 2019 Oct 1];75(11):1452–7. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22058394>
- [11] K.C. Pentapati, P. Mishra, M. Damania, S. Narayanan, G. Sachdeva, and G. Bhalla, “Reliability of intra-oral camera using teledentistry in screening of oral diseases – Pilot study,” *Saudi Dent. J*, vol. 29, no. 2, pp. 74-77, Apr. 2017, doi:10.1016/j.sdentj.2017.03.002.
- [12] M. Estai, Y. Kanagasingam, B. Huang, H. Checker, L. Steele, E. Kruger, M. Tennant, “The efficacy of remote screening for dental caries by mid-level dental providers using a mobile teledentistry model,” *Community Dent Oral Epidemiol*, vol, 44, no. 5, pp. 435-41, Apr. 2016, doi:10.1111/cdoe.12232.

- 
- [13] M. Estai, Y. Kanagasingam, B. Huang, J. Shiikha, E. Kruger, S. Bunt, M. Tennant, "Comparison of a Smartphone-Based Photographic Method with Face-to-Face Caries Assessment: A Mobile Teledentistry Model," *Telemed J E Health*, vol. 23, no. 5, pp.435-440, Nov. 2017, doi: 10.1089/tmj.2016.0122
- [14] G. Niezen, E. Pslambolchilar, H. Thimbleby, "Open-source hardware for medical devices," *BMJ Innov*, vol. 2, no. 2, pp. 78-83, Mar. 2016, doi: 10.1136/bmjinnov-2015-000080
- [15] Shaw y cols. Mobile health devices: will patients actually use them?b *J Am Med Inform Assoc* . 2016 May; 23(3): 462–466. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4901379/>
- [16] Sheth A, Jaimini U, Yip HY. How Will the Internet of Things Enable Augmented Personalized Health? *IEEE Intelligent Systems* [Internet]. 2018 Jan [cited 2019 Aug 19];33(1):89–97. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5993447/>
- [17] Dimitrov DV. Medical Internet of Things and Big Data in Healthcare. *Healthcare Informatics Research* [Internet]. 2016 [cited 2019 Oct 3];22(3):156. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4981575/>
- [18] Kang M, Park E, Hwan Cho, and Lee K. Recent Patient Health Monitoring Platforms Incorporating Internet of Things-Enabled Smart Devices. *Int Neurourol J*. 2018 Jul; 22(Suppl 2): S76–82.
- [19] Vashist S. Point-of-Care Diagnostics: Recent Advances and Trends. *Biosensors* [Internet]. 2017 Dec 18 [cited 2019 Aug 19];7(4):62. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5746785/>
- [20] What is open hardware? [Internet]. *Opensource.com*. 2019 [cited 2019 Aug

- 
- [19]. Available from: <https://opensource.com/resources/what-open-hardware>
- [21] Open Design 3D-Printable Adjustable Micropipette that Meets the ISO Standard for Accuracy. *Micromachines* [Internet]. 2018 Apr 18 [cited 2019 Aug 19];9(4):191. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6187506/>
- [22] Lopin P, Lopin KV. PSoC-Stat: A single chip open source potentiostat based on a Programmable System on a Chip. Rolandi M, editor. *PLOS ONE* [Internet]. 2018 Jul 25 [cited 2019 Aug 19];13(7):e0201353. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6059476/>
- [23] Huggins E. *Physics 2000* [Internet]. [cited 2019 Oct 3]. Available from: [https://www.fisica.net/optica/HUGGINS\\_Geometrical\\_Optics.pdf](https://www.fisica.net/optica/HUGGINS_Geometrical_Optics.pdf)
- [24] Felipe Fernández Perera. Qué es la distancia focal en fotografía y cómo afecta a las imágenes [Internet]. *Qué cámara reflex comprar*. 2019 [cited 2019 Oct 3]. Available from: <https://quecamarareflex.com/distancia-focal-para-torpes/>
- [25] *Vision Systems* [Internet]. Eckhardt Optics LLC. 2019 [cited 2019 Oct 3]. Available from: <https://eckop.com/vision-systems/>
- [26] *Field of View Calculator* [Internet]. Channel Systems. 2017 [cited 2019 Oct 3]. Available from: <https://www.channelsystems.ca/calculators/field-of-view>
- [27] *Blog de fotografía deCueva*. *La profundidad de campo en fotografía - Blog de fotografía* [Internet]. *Fotografia-decueva.es*. 2009 [cited 2019 Sep 13]. Available from: <https://www.fotografia-decueva.es/blog/la-profundidad-de-campo-en-fotografia>

- [28] Fundamental Parameters of an Imaging System | Edmund Optics [Internet]. Edmundoptics.com. 2019 [cited 2019 Aug 14]. Available from: <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/imaging/6-fundamental-parameters-of-an-imaging-system/>
- [29] L. Edmunds, et al, "New indicators and indexes for benchmarking university–industry–government innovation in medical and life science clusters: results from the European FP7 Regions of Knowledge HealthTIES project," *Health Res Policy Syst*, vol. 17, no. 10, Jan. 2019. doi: 10.1186/s12961-019-0414-5
- [30] kulhary R. OpenCV - Overview [Internet]. GeeksforGeeks. 2019. Available from: <https://www.geeksforgeeks.org/opencv-overview/>
- [31] Sql O, García A. Manual Práctico de SQL [Internet]. Available from: <https://www.lawebdelprogramador.com/cursos/archivos/ManualPracticoSQL.pd>
- [32] Tkinter: interfaces gráficas en Python [Internet]. Blogspot.com. 2022 [cited 2022 Jun 25]. Available from: <https://python-parai-mpacientes.blogspot.com/2015/12/tkinter-interfaces-graficas-en-python-i.html>
- [33] Machine visión lens fundamentals
- From: [www.mellesgriot.com](http://www.mellesgriot.com)

**Anexo A. Consentimiento informado presentado a los participantes voluntarios del presente estudio**

El presente proyecto de investigación-innovación no presenta intervenciones experimentales en las personas que participarán en el registro de imágenes de la cavidad oral. Y que según la resolución # 8430 de 1993, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, en su artículo 11, se considera una investigación con riesgo mínimo.

Proyecto de investigación-innovación:

*Diseño de prototipo de cámara intraoral en la modalidad open-source*

Universidad del Magdalena, 2018.

**Consentimiento informado**

Yo \_\_\_\_\_ con c.c.

\_\_\_\_\_ acepto participar en el proyecto de investigación-innovación:

Proyecto de investigación-innovación:

***Diseño de prototipo de cámara intraoral en la modalidad open-source de la Universidad del Magdalena.*** Se me ha informado que mis datos personales como nombre, y cédula no serán de uso en la investigación. También se me ha informado que me serán tomadas fotografías de mi boca con fines investigativos, y que estas imágenes serán utilizadas en las publicaciones científicas.

Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_