



**Universidad  
Europea**

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO**

**ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO FIABLE DE  
IDENTIFICACIÓN DEL RECIÉN NACIDO EN LAS  
MATERNIDADES MEDIANTE DACTILOSCOPIA**

**Alumno: D. ÁLVARO ENEAS GONZÁLEZ RODRÍGUEZ**

**Director: Dr. JOSE LUIS LAFUENTE CARRASCO**

**2024 - 2025**

**JULIO 2025**

**TÍTULO:** Implementación de un método fiable de identificación del recién nacido en las maternidades mediante dactiloscopia.

**AUTOR:** Álvaro Eneas González Rodríguez

**DIRECTOR DEL PROYECTO:** Dr. Jose Luis Lafuente Carrasco

**FECHA:** 25 de Junio de 2025

## **RESUMEN**

Las Naciones Unidas ponen como uno de sus principales propósitos dotar de identificación general y gratuita a partir del 2030 para las poblaciones menores de 18 años. La correcta identificación del individuo viene dada a través de técnicas sólidas de reconocimiento de patrones biométricos ya que son invariantes al tiempo y son únicos para cada individuo.

En los recién nacidos estos patrones pueden no estar todo lo desarrollados que se desearía y esto complica enormemente la labor de identificación de estos. Hoy en día no existe un método biométrico capaz de reconocer infantes con repetitividad y precisión. Muchos de los dispositivos comerciales se centran en las características anatómicas adultas que suelen estar completamente desarrolladas.

Este trabajo recopila y analiza la mayoría de los estudios recientes que obtuvieron cierta mejora en los procesos y metodologías de reconocimiento. Se destaca el uso de métodos basados en las expresiones faciales, el pabellón auricular, la distribución venosa del miembro superior y el uso de las huellas ya sean plantares, palmares o dactilares. A su vez se propone un prototipo de sistema híbrido que tiene como objetivo dar solución a la problemática que surge desde el servicio de Pediatría del Hospital Universitario de Getafe.

**Palabras clave:** Recién Nacido, Reconocimiento, Biométricos, Dactiloscopia, Revisión.

## ABSTRACT

The United Nations has set as one of its main goals to provide general and free identification by 2030 for populations under 18 years of age. The correct identification of the individual is achieved through solid biometric pattern recognition techniques since these patterns are time-invariant and unique for each individual.

In newborns these patterns may not be as developed as desired, and this greatly complicates the task of identifying them. Today there is no biometric method capable of recognizing infants with repeatability and accuracy. Many of the commercial devices focus on adult anatomical features that are usually fully developed.

This paper brings together most of the recent studies that obtained some improvement in recognition processes and methodologies. The use of methods based on facial expressions, auricular pinnae, venous distribution of the upper limb and the use of plantar, palm and fingerprints are highlighted. At the same time, a prototype of a hybrid system is proposed with the aim of providing a solution to the problem that arises from the Paediatrics Service of the University Hospital of Getafe.

**Key words:** Newborn, Biometrics, Recognition, Dactyloscopy, Review.

# Índice

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>RESUMEN</i> .....                                                                         | 2  |
| <i>ABSTRACT</i> .....                                                                        | 3  |
| <i>Capítulo 1. INTRODUCCIÓN</i> .....                                                        | 8  |
| 1.1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN .....                                                           | 8  |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                                         | 9  |
| 1.3 OBJETIVOS .....                                                                          | 9  |
| 1.4 METODOLOGÍA .....                                                                        | 10 |
| 1.5 RESULTADOS OBTENIDOS .....                                                               | 10 |
| <i>Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE</i> .....                                                     | 11 |
| 2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS RECIÉN NACIDOS .....                                               | 11 |
| 2.2 CONSIDERACIONES ÉTICAS Y REGULATORIAS .....                                              | 14 |
| 2.3 TECNOLOGÍAS BIOMÉTRICAS DE IDENTIFICACIÓN DE RECIÉN NACIDOS .....                        | 16 |
| 2.3.1 Sensores de Huellas Dactilares .....                                                   | 17 |
| 2.3.2 Reconocimiento Facial de recién nacidos .....                                          | 19 |
| 2.3.3 Reconocimiento de recién nacidos a través del Pabellón Auricular .....                 | 21 |
| 2.3.4 Reconocimiento de recién nacidos a través de la huella plantar/palmar .....            | 21 |
| 2.3.5 Reconocimiento de recién nacidos a través de la Huella Digital .....                   | 23 |
| 2.4 SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DACTILAR .....                                                 | 24 |
| 2.5 MÓDULO DE EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS .....                                            | 25 |
| <i>Capítulo 3. REVISIÓN DE TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO BIOMÉTRICO POR DACTILOSCOPIA</i> ..... | 27 |
| 3.1 SISTEMAS DACTILOSCÓPICOS ACTUALES .....                                                  | 27 |
| 3.2 TÉCNICA DACTILOSCÓPICA INNOVADORA .....                                                  | 29 |
| <i>Capítulo 4. LÍNEAS FUTURAS</i> .....                                                      | 36 |
| 4.1 ANGIOMETRÍA POR NEAR-INFRA-RED (NIR) .....                                               | 36 |
| 4.2 TÉCNICAS DE ESTÉREO-FOTOMETRÍA .....                                                     | 38 |
| <i>Capítulo 5. COMPARATIVA Y PROPUESTA DE SISTEMA DE RECONOCIMIENTO HÍBRIDO</i> ...          | 40 |
| 5.1 SISTEMA HÍBRIDO PROPUESTO .....                                                          | 41 |

---

|                                      |                  |
|--------------------------------------|------------------|
| <i>Capítulo 6. CONCLUSIONES.....</i> | <i>44</i>        |
| <i>ANEXOS.....</i>                   | <i>46</i>        |
| <i>ANEXO I.....</i>                  | <i>46</i>        |
| <i>ANEXO II.....</i>                 | <i>47</i>        |
| <i>ANEXO III.....</i>                | <i>48</i>        |
| <i>ANEXO IV.....</i>                 | <i>49</i>        |
| <i>ANEXO V.....</i>                  | <i>50</i>        |
| <i>ANEXO VI.....</i>                 | <i>51</i>        |
| <i>ANEXO VII.....</i>                | <i>52</i>        |
| <i>ANEXO VIII.....</i>               | <i>53</i>        |
| <b><i>BIBLIOGRAFÍA.....</i></b>      | <b><i>54</i></b> |

# Índice de Figuras

- 1- **Figura 2.1:** Funcionamiento de un Sensor de Huellas Dactilares Optoelectrónico.
- 2- **Figura 2.2:** Funcionamiento de un Sensor de Huellas Dactilares Capacitivo.
- 3- **Figura 2.3:** Funcionamiento de un Sensor de Huellas Dactilares Térmico.
- 4- **Figura 2.4:** Factores Clave de cada Modalidad Biométrica.
- 5- **Figura 2.5:** Categorías de *Minutiae*, *detalles Galton*.
- 6- **Figura 2.6:** Preprocesado de la imagen y extracción de *Minutiae*.
- 7- **Figura 3.1:** Módulo CBM-E3 (IDEMIA GROUP) y dispositivo SenseFace7A (ZKTeco).
- 8- **Figura 3.2:** Reflejo Palmar y Complicaciones para abrir la mano de infantes.
- 9- **Figura 3.3:** Reflejos y Contraste en función del ángulo de la polarización relativo a la cámara.
- 10- **Figura 3.4:** Comparativa entre Distancia de Trabajo, FOV y Resolución.
- 11- **Figura 3.5:** Diseño optimizado de regulador de aperturas en función del tamaño del dedo.
- 12- **Figura 3.6:** Metodología de procesado llevada a cabo.
- 13- **Figura 3.7:** Conjunto Modular de configuraciones de la Primera Fase del Ensayo para evaluar distintas combinaciones de iluminación y soportes dactilares.
- 14- **Figura 3.8:** Versión optimizada del dispositivo “PANDA” para la Segunda Fase del Ensayo Clínico. Cuenta con un sistema de iluminación polarizada, una cámara, aperturas regulables y un encapsulado diseñado para favorecer la toma de huellas de recién nacidos.
- 15- **Figura 4.1:** Esquema del principio de funcionamiento de un sistema de Reflectografía NIR, donde la luz infrarroja incide sobre la dermis permitiendo la visualización de estructuras vasculares subcutáneas gracias a la absorción diferencial de la hemoglobina.
- 16- **Figura 4.2:** Imagen capturada por NIR, potenciación de características y segmentación.

- 17- **Figura 4.3:** Diagrama de del sistema *Sweet* para la captura de patrones vasculares de la mano, cuenta con cámaras NIR, fotodiodos, un sistema de iluminación y sensores ópticos para obtener reconstrucciones 3D a través de la estéreo-fotometría.
- 18- **Figura 4.4:** Gráfica Comparativa entre error y las medidas realizadas en las 700 pruebas (GelSight).
- 19- **Figura 5.1:** Tabla Comparativa de Métodos de Reconocimiento Biométricos.
- 20- **Figura 5.2:** Esquemático eléctrico del sistema híbrido propuesto. Se representa la interconexión entre microcontrolador (ESP32), cámara CMOS, módulo de LED, batería y pulsador de captura, con temporización coordinada para obtener imágenes secuenciales iluminadas desde distintos ángulos.
- 21- **Figura 5.3:** Presupuesto para la fabricación del prototipo (Hardware y Fungibles).

# Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial casi mil millones de personas carecen de una identificación o registro legal. Alrededor de un 50% de estos son menores de 10 años e incluso niños de corta edad. Con el propósito de abordar esta problemática la Organización de las Naciones Unidas propuso proveer de identificación legal y registro gratuito de nacimiento a partir del 2030, dentro de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible 16.9. La traba primordial de este propósito es la falta de una tecnología biométrica capaz de permitir el reconocimiento sistemático y fiable de los recién nacidos, los niños y en general a las personas.

Las tecnologías dactiloscópicas actuales que no estaban enfocadas en las características de los recién nacidos muestran muy poca fiabilidad. Otros dispositivos más enfocados en el reconocimiento de estos se ven limitados normalmente por la edad del niño, no siendo capaces de otorgar datos de reconocimiento sistemáticos a partir los seis meses(1).

## 1.1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN

Desde el servicio de Pediatría del Hospital Universitario de Getafe nace la necesidad de tener un sistema capaz de capturar con consistencia las huellas dactilares de los recién nacidos, con el fin de facilitar la identificación, el registro y la creación de bases biométricas seguras que puedan facilitar futuras intervenciones. Esta búsqueda sistemática tiene el propósito de encontrar la tecnología más acorde a las necesidades del problema.

Este trabajo surge gracias a Ricardo Sanz, Médico Emérito del Hospital de Getafe, Andrés Alcaraz, jefe del Servicio de Pediatría del Hospital y acorde a la tesis de la doctoranda Irene Cuadrado, Médico del Servicio de Pediatría.



## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad se dispone de distintas técnicas que permiten la correcta identificación de un recién nacido, no obstante, pocas de estas llegan a estar automatizadas por lo que el registro de estos datos no se realiza de forma eficiente.

Se plantea por lo tanto encontrar una tecnología capaz de obtener información biométrica coherente para su uso en reconocimiento a la vez que un almacenamiento de los datos que permita su comparación y tratado en momentos posteriores a la adquisición. A través de una revisión bibliográfica se busca resolver esta problemática y comparar las distintas opciones objetivamente. Además, se plantea dar una solución que procure resolver dicha problemática.

## 1.3 OBJETIVOS

En primer lugar, como **objetivos generales** de este proyecto tenemos, por una parte, la búsqueda e implementación de un sistema innovador de captura de huellas digitales que sea capaz de mejorar tanto el registro como la seguridad en entornos hospitalarios. Asegurando por tanto un proceso mínimamente invasivo, seguro, preciso y rápido. Por otra parte, está la significativa mejora en seguridad y trazabilidad de los recién nacidos de la cual se beneficiará el Sistema Nacional de Salud. Asociado a todo esto, se encuentra el objetivo principal y la necesidad de documentar los mayores hitos en este campo de modo a facilitar futuras investigaciones a través de una revisión bibliográfica de los avances hasta la fecha en este campo.

En segundo lugar, haciendo referencia a los **objetivos más específicos**, estos son, realizar una comparación/revisión de las tecnologías punteras más adecuadas a las necesidades indicadas, indagar sobre la complejidad de las crestas dactilares y su variación según el crecimiento del recién nacido. Comparar las modalidades de reconocimiento biométrico de manera objetiva y consecuente con su alcance y capacidad. En caso de encontrar una tecnología de reconocimiento que supere la dactiloscopia encontrar la metodología para su correcta implementación en el sistema de sanidad. Por otra parte, surge a su vez la necesidad de la creación de bases de datos biométricos seguras que permitan la futura implementación de aplicaciones de reconocimiento dentro de los ámbitos de la salud pública.

## **1.4 METODOLOGÍA**

A través de esta revisión bibliográfica se pretende en un principio recabar la mayor información posible sobre técnicas punteras de reconocimiento de recién nacidos en entorno hospitalarios, a su vez se trata de proporcionar información objetiva sobre las características generales de la mayoría de los estudios recientes con el fin de aunar la información y permitir un análisis conciso a la vez que detallado. En segundo lugar, se pretende revisar técnicas de vanguardia que no necesariamente dirigen la problemática actual pero que permiten una adaptación a ella. Por último, se trata de dar una solución que mejore la metodología de reconocimiento actual y por lo tanto la seguridad de los menores a nivel nacional o mundial en el entorno sanitario y sus adyacentes.

## **1.5 RESULTADOS OBTENIDOS**

A lo largo de esta revisión se puede constatar el gran avance que ha sufrido el mundo del reconocimiento a través de factores biométricos. Sobre todo, en los ámbitos industriales y militares este tipo de tecnologías se han visto implementadas en control de acceso, medidas de contención, etc.

El avance en la medicina y las tecnologías relacionadas ha permitido que surjan nuevas investigaciones constantemente y “nuevas” regiones anatómicas que conservan su invarianza en el tiempo. Muchos estudios tratan de abordar desde un nuevo punto de vista la problemática existente con los recién nacidos pero pocos sistemas son capaces de obtener la precisión y sensibilidad de la dactiloscopia.

Es debido a este motivo que el sistema propuesto pretende mantener el sistema dactiloscópico con mejores prestaciones que se ha podido encontrar y añadir la funcionalidad de la captura de imágenes topográficas de la epidermis dactilar. Aunque este dispositivo tiene una funcionalidad médica principalmente, puede verse implementado en otros servicios que requieran de su uso. El prototipo de sistema se plantea como solución para la correcta identificación de los recién nacidos sin necesidad de usar otros métodos paralelos.

## Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

La Organización Holandesa dedicada a la Investigación de las Ciencias Aplicadas, TNO, dirigió en 2004 una investigación con el propósito de evaluar la viabilidad de usar rasgos biométricos en los documentos de Identificación y Visado Holandeses. Se determinó que no era factible extraer características con repetitividad en niños menores de cuatro años debido a la especificidad del patrón de las crestas de sus dedos.

Un proyecto puntero denominado “Biometrics Data Experimented in Visas (BioDEV II)” fue puesto en marcha en 2007 por ocho países miembros de la Unión Europea para adquirir, almacenar y verificar datos biométricos de los aplicantes a visados del espacio Schengen. En este proyecto se basaron en 300 huellas dactilares obtenidas en Damasco, Siria y Ulan Bator, Mongolia para concluir que la obtención de huellas dactilares se dificulta con la juventud del individuo siendo muy difícil a partir de los 12 años.

El proveedor de dispositivos dactiloscópicos basados en ultrasonido Ultra-Scan realizó un estudio entre 2006 y 2009. EL propósito era crear modelos enlazando el crecimiento y las variaciones de los patrones dactilares en una población de niños y adolescentes sin embargo no proporcionó ningún tipo de información acerca de la adquisición de las huellas y los patrones de reconocimiento utilizados.

En 2013, el Centro Común de Investigaciones de la Unión Europea, JRC, publicó un informe sobre la toma de huellas dactilares en niños. Se basó en la toma de huellas por parte del gobierno portugués para la tramitación de pasaportes de 2 611 niños, de 0 a 12 años, con un sensor de una resolución de 550 PPI. Se determinó que la toma de huellas en menores de 6 años es una tarea compleja y a veces imposible(2).

### 2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS RECIÉN NACIDOS

En 2017 el Comité de Estándares de la Sociedad Española de Neonatología promulgó una serie de recomendaciones con el fin a garantizar la identificación inequívoca del recién nacido en su estancia en entorno clínico además de tratar de unificar procedimientos a nivel nacional.

Los artículos 7 y 8 de la Convención de los Derechos de los Niños de 1989 recogen el derecho, desde el nacimiento, de nombre y nacionalidad, y la obligatoriedad al Estado de proporcionar ambas si estas le hubieran sido negadas(3). En el ámbito nacional, la Ley Orgánica de Protección Jurídica del Menor de 1996 procura a los menores tanto los derechos propios de la Constitución como los derechos otorgados por tratados internacionales de los cuales España sea miembro(4).

Actualmente la Ley de medidas de reforma administrativa en el ámbito de la Administración de Justicia y del Registro Civil del 2015 incurre en mayor medida en «la seguridad de identificación de los recién nacidos y la determinación, sin género de dudas, de la relación entre la madre y el hijo, a través de la realización, en su caso, de las pruebas médicas, biométricas y analíticas necesarias»(5).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) incurre al personal sanitario a la cumplimentación de estos derechos y decreta que un sistema de identificación de recién nacidos debería cumplir:

- Una identificación temprana sin necesidad de desplazamiento intrahospitalario y previa a cualquier distanciamiento entre madre e hijo.
- La no intervención ante la creación del vínculo entre madre e hijo.
- Una correlación positiva durante toda la estancia hospitalaria entre madre e hijo.
- Fiabilidad, Longevidad de los datos y resolución pronta de dudas de identidad(6).

Las técnicas de identificación de recién nacidos se pueden clasificar de menor a mayor fiabilidad tal que, en primer lugar, las huellas plantares, huellas dactilares, pulseras identificativas, técnicas biométricas y por último el análisis de ADN. Por lo que, debido a que estas técnicas no suelen proporcionar fiabilidad total, se trata de combinar las primeras técnicas y obtener el consentimiento de ambos progenitores para poder realizar pruebas de ADN a partir del cordón umbilical con el único propósito de la identificación(6).

En cuanto a las huellas tomadas en papel o a través de dispositivos dactiloscópicos la principal limitación es por una parte la falta de diferenciación de las crestas dactilares y por otra parte la dificultad en la toma y prevalencia de estos datos debido al crecimiento del individuo. Las pulseras identificativas son útiles, pero pueden presentar holgura en el tobillo del recién nacido, las pinzas del cordón umbilical, que cuentan con código de barras o algún otro identificador digital, si tienen mayor utilidad y fijación, pero su uso está limitado por el tiempo. Sin embargo, la técnica más precisa sigue siendo la comparación de polimorfismos genéticos a través de la reacción en cadena de la polimerasa, se recoge una muestra de sangre del extremo placentario del cordón umbilical previo consentimiento de la progenitora, o ambos, a ser posible y una muestra de sangre de la madre y se conservan para su posterior uso si fuera necesario(6).

Por lo tanto, las recomendaciones y consideraciones que toma y hace públicas el Comité de Estándares de la Sociedad Española de Neonatología son las siguiente citadas:

- “La correcta identificación en el momento del nacimiento es un derecho del recién nacido y una obligación para el personal sanitario.
- La identificación del recién nacido debe ser realizada por el personal sanitario responsable de la atención al nacimiento, tras la ligadura del cordón umbilical, antes de cualquier eventual separación madre-hijo y preferiblemente en presencia de ambos progenitores. Cuando no estén presentes ambos progenitores o no sea viable una correcta comunicación con la madre por motivos clínicos (como por ejemplo sedación), la identificación del recién nacido se hará en presencia, como testigo, de un familiar o acompañante autorizado por la madre, o en su defecto de otro trabajador sanitario.
- Dicha identificación no debe interferir con el establecimiento del vínculo madre-hijo, y además debe favorecerse la no separación madre-hijo durante toda la estancia hospitalaria, salvo que lo impida la situación clínica de alguno de ellos.
- La identificación permitirá verificar la correlación positiva entre la madre y el neonato al nacimiento, durante toda la estancia hospitalaria y al alta.
- Las limitaciones de la impresión de la huella digital y/o plantar del recién nacido impiden que tengan valor identificativo por sí solas.
- El análisis de ADN es el patrón de oro para identificar inequívocamente a una persona y constituye un método fiable y rápido para resolver dudas de identidad.

- La combinación de los codificadores neonatales (pulsera de la madre y pulsera del recién nacido, ambas con cierre inviolable y pinza de cordón con un mismo número y con un código de barras idéntico y exclusivo para cada recién nacido), junto con una muestra de sangre materna y sangre del extremo placentario del cordón umbilical, constituyen actualmente el método más recomendable de identificación del recién nacido.
- La toma de muestra de sangre de cordón se recogerá siempre con el consentimiento materno y con el único fin de garantizar y poder comprobar, en caso de duda, la correcta identificación madre-hijo y no podrán ser utilizadas para pruebas de paternidad ni para otro tipo de estudios genéticos ni de investigación.
- La recogida de muestras de sangre de cordón con fines identificativos debería extenderse a todas las CCAA.
- Cada institución garantizará la correcta identificación y la conservación de las muestras de sangre materna y de cordón, pero sería deseable unificar los tiempos de custodia de las mismas.”(6)

## 2.2 CONSIDERACIONES ÉTICAS Y REGULATORIAS

La implementación de sistemas de reconocimiento biométrico en recién nacidos conlleva una serie de implicaciones legales y éticas que han de tenerse en cuenta durante todas las fases de desarrollo e implementación.

El consentimiento informado forma parte de la regulación vigente en materia sanitaria pero, dado que un recién nacido no es capaz de proporcionarlo este recae en el consentimiento informado proporcionado por parte de los padres o tutores legales según el noveno artículo de la Ley 41/2002 sobre la autonomía del paciente y los derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica(7).

Además, el uso de datos biométricos viene regulado de forma europea por el reglamento 679/2016 “*General Data Protection Regulation*” (GDPR) en el cual se especifica que, se considera dato biométrico únicamente la información que se obtiene a través de un tratamiento técnico específico dedicado a extraer características físicas, fisiológicas o de conducta, lo que permite la identificación o reconocimiento inequívoco del individuo, siendo ejemplos las tomas dactiloscópicas e imágenes faciales(8).

En el marco legal español, el reglamento 679/2016 europeo viene aplicado por la Ley Orgánica 3/2018 de protección de datos y garantía de derechos digitales donde se establece que el uso de datos biométricos y el acceso a estos está sujeto a estrictas medidas de protección y que el tratamiento de estos ha de efectuarse bajo garantías técnicas y organizativas(9).

En cuanto a regulación sobre dispositivos médicos el reglamento 745/2017 "*Medical Device Regulation*" (MDR) europeo que entró en vigor en mayo de 2021, establece nuevos criterios sobre cualquier dispositivo de índole médica y que actúe sobre el organismo o los datos asociados, incluyendo tanto dispositivos físicos como los softwares asociados. Se pasa a clasificar los dispositivos médicos según cuatro categorías según su finalidad, su invasividad, su duración en el organismo, si influye en aspectos anatómicos y fisiológicos y si tiene contacto con el sistema nervioso central o el sistema vascular coronario. Además hace clara distinción con los dispositivos *in vitro* los cuales cuentan con un reglamento propio(10).

Un sistema de identificación y reconocimiento de recién nacidos es claramente un dispositivo médico ya que debe tener conexión al sistema de información del hospital (HIS) y al sistema de comunicación de imágenes y archivos (PACS) para que se pueda efectuar el debido registro en la historia clínica y poder realizar la identificación a nivel sanitario correspondiente.

Por estas razones este dispositivo se clasificaría en la clase I de la MDR puesto que se trata de un sistema no invasivo y bajo este supuesto solamente estaría dedicado a la correcta identificación clínica sin implicaciones ni diagnósticas ni terapéuticas. No obstante, en el momento en el que se combine su uso con sistemas de trazabilidad de intervenciones, medicamentos, vacunas, etc. La clase respectiva del producto podría oscilar entre clase IIa y IIb según la utilidad que se le pretenda dar. En función por lo tanto de esto, si se pretende solamente la identificación clínica, se podrá realizar la autoevaluación del dispositivo de clase I para la obtención del marcado CE, en caso contrario deberá ser un Organismo Regulatorio Notificado el que lleve a cabo dicha evaluación(10).

Por lo tanto, los principales riesgos enfrentados a la hora de implementar un sistema de reconocimiento biométrico de recién nacidos son, por un lado, la errónea identificación causados por falsos positivos los cuales se pueden producir debido a la inmadurez de los patrones biométricos a capturar, los movimientos involuntarios y la no cooperación también juegan un gran papel en la calidad de la toma. Por otro lado, está la protección bajo la que están este tipo de datos y el riesgo que tiene un uso fraudulento o el acceso por parte de terceros a estos. Que un dato de este tipo se vea comprometido tiene grandes implicaciones puesto que los patrones biométricos tienen usos en reconocimiento debido a su invariabilidad y perduración en el tiempo.

En consecuencia, para poder garantizar los derechos fundamentales del individuo se debe cumplir con los estándares de anonimización y encriptación de comunicación en entorno sanitario como en HL7 y asegurar que no se pueda asociar los datos biométricos con un paciente en particular sin las claves correspondientes. A su vez se debe mantener un control y una trazabilidad en los accesos a esta tipología de datos de forma a limitar las posibles filtraciones de estos.

Por último, conforme al artículo 35 del GDPR, se debe realizar una Evaluación de Impacto en La Protección de Datos (EIPD) para asegurar que los riesgos que conlleva el sistema se han minimizado lo máximo posible(8).

## **2.3 TECNOLOGÍAS BIOMÉTRICAS DE IDENTIFICACIÓN DE RECIÉN NACIDOS**

Hoy en día existen varias aproximaciones tecnológicas que tienen como propósito dar solución a esta problemática. Muchas de estas hacen uso de la comparación de regiones anatómicas suficientemente diferenciables entre individuos como pueden ser, la cara, orejas y/o huellas dactilares, palmares o plantares. Otras modalidades también han sido caso de estudio, no obstante, predominan estos tipos de enfoques de reconocimiento biométrico.



### 2.3.1 Sensores de Huellas Dactilares

En cuanto a la captura de huellas digitales, palmares y plantares predominan los métodos de obtención optoelectrónicos, capacitivos y térmicos, aun así, se pueden encontrar dispositivos que usan ultrasonido y sistemas piezoeléctricos.

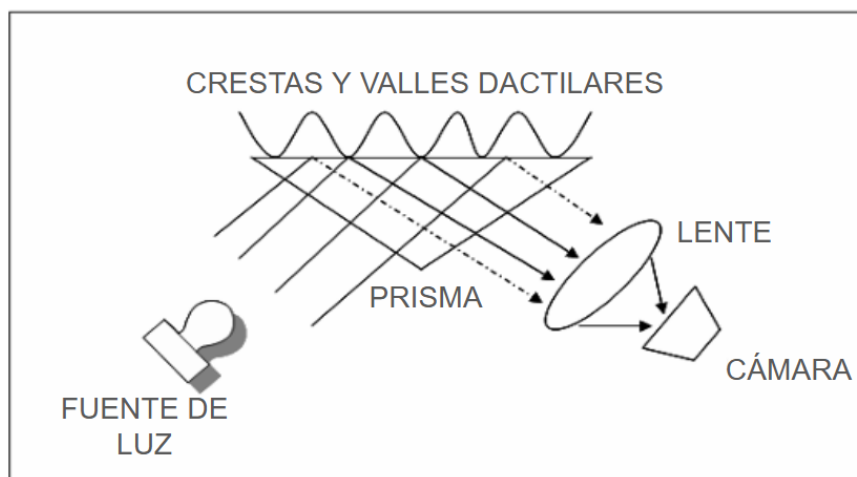


Figura 2.1: Funcionamiento de un Sensor de Huellas Dactilares Optoelectrónico(11).

Como muestra la figura anterior, los métodos optoelectrónicos se basan en la reflexión interna total y en incidir un haz de luz hacia las crestas y los valles de las huellas, primordialmente dactilares, con el fin de capturar a través de una cámara, una imagen de la cual extraer características. Con el avance de la resolución y capacidad de las cámaras este tipo de sensores sufren constantes mejoras a lo largo de los años. Se hace uso de prismas y lentes de modo a favorecer una longitud focal más corta y por lo tanto la miniaturización de este tipo de sensores. Este tipo de sensor es inmune al ruido electrostático que sí que influye a los sensores de tipo capacitivo. Permiten una captura amplia de la huella dactilar, pero son sensibles a posibles residuos depositados en el prisma y su tamaño generalmente los hace imprácticos para su implementación en dispositivos “móviles”(11).

Los métodos que usan sensores de estado sólido o capacitivos también son numerosos y se basan en que la epidermis de la huella dactilar es una superficie equipotencial. Estos están compuestos por una matriz bidimensional de superficies conductoras en la cual se pueden medir cambios de la capacitancia en regiones específicas. Al entrar en contacto la huella con la matriz se producen cambios de la capacitancia y se puede diferenciar entre valles y crestas gracias a esos valores(11).

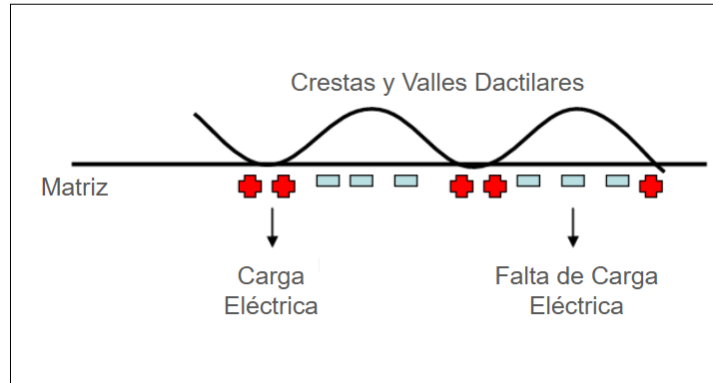
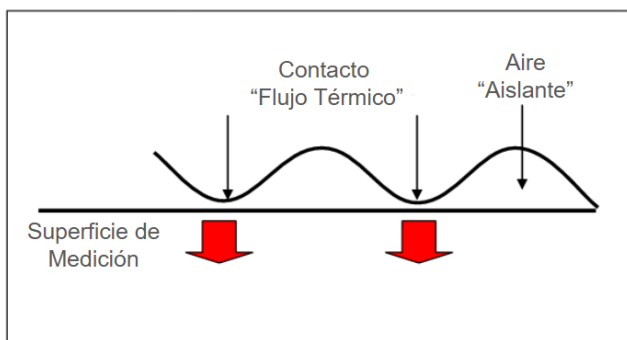


Figura 2.2: Funcionamiento de un Sensor de Huellas Dactilares Capacitivo(11).

Una de las desventajas que tienen este tipo de sensores es que son sensibles a las descargas electrostáticas, no obstante, se pueden obtener sensores de un tamaño considerablemente inferior a los optoelectrónicos. A su vez tienen grandes inconsistencias en sus medidas debido al posicionamiento de la huella y la humedad de esta, pero al contrario a los primeramente mencionados, no se ven afectados debido a la luz externa.

Los sistemas térmicos, como su nombre indican, funcionan midiendo las fluctuaciones térmicas entre crestas y valles. Debido a su método de funcionamiento son muy influenciados por la temperatura ambiente y se requiere al usuario de evitar posiciones estáticas y se promueve un ligero movimiento constante para mantener los cambios de temperatura en rangos medibles. Su uso es más limitado debido a la gran



desventaja de la temperatura ambiente, pero sigue teniendo utilidad en ciertos propósitos donde la temperatura se halle controlada, como por ejemplo en entorno hospitalario (11).

Figura 2.3: Funcionamiento de un Sensor de Huellas Dactilares Térmico(11).

En cuanto a las especificaciones características que los sensores deben tener para poder ser usados en estas situaciones tenemos por una parte la resolución, ya que debido a la suavidad de la epidermis se puede perder mucho contraste. Por lo tanto, para obtener una huella dactilar de un RN que sea reconocible por un modelo de captación de características se necesita un sensor con al menos una resolución de 1000 PPI para que pueda capturar con facilidad los detalles.

Debe ser compacto y ergonómico para que se pueda manejar con facilidad tanto el dispositivo como el dedo del RN simultáneamente para una mejor captura de la huella. Ha de tener en cuenta el tamaño y las condiciones de un dedo de un recién nacido para asegurarse de capturar de manera eficiente y repetitiva las huellas dactilares de un infante. Debido a la no cooperación de los usuarios, debe contar con un tiempo de captura relativamente corto para que no se vea afectado por el *Motion Blur* ni otros artefactos. Por último se ha de tener en cuenta las distintas condiciones en las que se puede encontrar el dedo de un RN, la epidermis puede sufrir descamaciones, se pueden desarrollar hábitos donde el RN se chupa el dedo y por lo tanto modificar las características del dedo y en consecuencia las de la huella(12).

### **2.3.2 Reconocimiento Facial de recién nacidos**

El uso de reconocimiento facial está a la orden del día ya que no requiere una gran intervención del usuario. Su uso ya se ve implementado en infraestructuras militares y aeropuertos, y cada vez se va ampliando su alcance hacia otro tipo de sectores. Normalmente las imágenes procesadas para el reconocimiento se ven afectadas por la iluminación, la postura, el ángulo y las expresiones faciales. En el caso de los recién nacidos estas últimas se ven exageradas lo que resulta en mayores inconsistencias a la hora de capturar una imagen útil. Debido a la no cooperación de los individuos de corta edad, se dificulta enormemente la creación de bases de datos sólidas que incluyan suficientes expresiones faciales para un reconocimiento fiable.

Además, los rasgos faciales de un recién nacido cambian sustancialmente a lo largo de las primeras semanas lo que obliga a realizar un seguimiento con el objetivo de mantener la máxima fiabilidad del algoritmo. Debido a estas razones no es recomendable el uso del reconocimiento facial en recién nacidos(13).

En 2010 un estudio realizado fue capaz de extraer las suficientes características como para montar un algoritmo de suma ponderada que era capaz de obtener una precisión de 86,9%. La base de datos correspondiente contaba con 34 recién nacidos y uno de los mayores problemas encontrados por los investigadores fue la incapacidad de poder obtener expresiones faciales neutrales con consistencia, la mayoría de las imágenes se podían clasificar en, durmiendo y llorando, por lo que para un mismo individuo no se tenía gran variabilidad de datos, como se desea para obtener un mejor reconocimiento(14).

Tiwari S. et al., en 2012 realizaron dos estudios independientes con 230 y 150 sujetos cada uno. En ellos se realizaron dos sesiones de tomas espaciadas en el tiempo para cada sujeto, la primera toma de imágenes, tres o cuatro horas posterior a su nacimiento y la siguiente entre las 20 y 70 primeras horas de vida(15). Se hizo uso de redes neuronales, máquinas de soporte vectorial (SVM), y la norma L2 o norma euclidiana para realizar el reconocimiento facial y se obtuvo una precisión del 87,04%. Uno de los principales obstáculos encontrados fue la fuerte semejanza de rasgos faciales entre individuos de corta edad, se remarca que ambas aproximaciones, tanto tradicionales como innovadoras, por si solas, tienen limitaciones y debilidades que repercuten en la seguridad de estos procedimientos(16).

Entre 2016 y 2021 Singh Rishav et al., desarrollaron una serie de estudios con entre 130 y 280 sujetos, 10 imágenes por sujeto y una serie de algoritmos. Con 210 sujetos se hizo uso de modelos de redes neuronales convolucionales con la característica principal de las expresiones faciales de los recién nacidos, sin aplicar métodos de preprocesamiento. Contaba con una exactitud máxima del 91,02% y las poses de cada sujeto y la no cooperación sigue suponiendo un problema. Además la iluminación también es clave ya que las sombras pueden ser detectadas como falsos positivos de características(17). En 2021 a través de un algoritmo de SURF y LBP semisupervisado se consiguió obtener una mejoría de la precisión hasta el 93,65%, no obstante, el modelo no era capaz de trabajar con distintas oclusiones y las trabas de estudios anteriores prevalecían ya que estandarizar este tipo de métodos no es tarea fácil.

### **2.3.3 Reconocimiento de recién nacidos a través del Pabellón Auricular**

La anatomía del Pabellón Auricular ofrece una gran cantidad de características únicas al individuo además de presentar una variabilidad relativamente baja frente al tiempo. Esto y su estabilidad ante cambios de expresiones faciales convierten a esta región en un marcador biométrico de confianza. Al contrario a otros marcadores, no es necesaria la cooperación plena del recién nacido como puede ser en modalidades de reconocimiento facial o de iris. Aun así, se requiere una iluminación y oclusión correcta a la vez que una cierta inmovilidad del infante para la correcta captura de la imagen.

Debido a que no se requiere demasiada interacción entre trabajador-paciente se trata de una modalidad muy útil en entornos sanitarios además de ser una opción que, de implementarse, sería rentable económicamente por su gran utilidad(13).

Varios estudios concluyen que el Pabellón Auricular es apto para poder diferenciar entre recién nacidos, en 2011 un grupo de investigadores en India llevo a cabo una investigación en la cual se hizo uso de un algoritmo comparativo de características geométricas en una base de datos con 230 infantes y se obtuvo una precisión en el reconocimiento del individuo del 83,67%. En el estudio se recalca la importancia de una buena iluminación y el ángulo y orientación de la cabeza, de forma que se requiere estandarizar en cierta medida la captura de estas imágenes para que sean consecuentes y aptas para su extracción de características(18). Se trata de una técnica que ha sido validada por distintos investigadores y una de sus más grandes ventajas es la invariabilidad y estabilidad que esta región tiene con el paso del tiempo lo que mejora la seguridad de la identificación y del reconocimiento. Sin embargo, en muchos casos las características no son lo suficientemente distintas como para diferenciar entre recién nacidos solamente con estas(18).

### **2.3.4 Reconocimiento de recién nacidos a través de la huella plantar/palmar**

Dentro de la identificación y el reconocimiento de recién nacidos, la toma de huellas es una modalidad que ya sea digital o analógicamente, se ve implementada hasta cierto punto en muchas naciones. Debido a que las palmas y huellas digitales son de un tamaño considerablemente menor se suele optar por la captura de las huellas plantares

del infante, lo habitual es el uso de tinta para capturar dicha huella y la huella de la progenitora como forma de registro(19).

Weingaetar et al., en 2008 desarrollaron un sensor de alta resolución de 1400 DPI para la captura de huellas plantares y palmares de hasta 106 recién nacidos en dos intervalos temporales, entre las primeras veinticuatro horas, y las primeras cuarenta y ocho horas. Tal sensor fue desarrollado debido a la necesidad del modelo utilizado de procesar imágenes con una alta calidad. Sin embargo, gracias a este nuevo sensor y del modelo la precisión fue del 100% tanto en reconocimiento de huellas plantares como palmares. Se determinó que las huellas palmares contaban con una mayor cantidad de información característica lo que beneficiaba la extracción de propiedades además de la calidad de la imagen, no obstante la toma de huellas plantares es de una menor complejidad y suele ser más implementada en el día a día(19).

Entre 2010 y 2012, Jia et al., llevaron a cabo un estudio en el cual se recogieron hasta 20 imágenes de plantas de un mismo individuo, sobre 101 sujetos, la mayoría de las huellas fueron tomadas en un intervalo de tiempo de dos días y las imágenes eran de baja resolución. Se trató los datos en un primer instante a través de métodos de análisis de componentes principales y otros métodos similares(20), y por otra parte haciendo uso de código competitivo y secuencial. Obteniendo precisiones del 98,04% y 98,71% respectivamente. Unos de los mayores problemas aparte de la resolución de las imágenes fue la orientación propia de la huella y la falta de variedad temporal de las huellas de un mismo individuo(21). Además se usó un método solamente basado en la *"Band-Limited Phase-only Correlation"* BLPOC para la extracción de características y la identificación sin embargo se obtuvo una precisión del 97% debido a que la base de datos de imágenes fue la misma para las tres pruebas(22).

Lemes et al., llevaron a cabo una investigación de hasta 1221 imágenes de 250 recién nacidos de los cuales se determinó que solo veinte de estos tenían huellas que eran utilizables. Se estableció un protocolo específico de captura de imágenes, llegando a incluir herramientas especializadas y diseñadas para este propósito con el fin de asegurar cierta calidad y consistencia en la captura de imágenes. Se trataban los datos con un preprocesado de once pasos, un registro de las imágenes y un reconocimiento basado en la extracción de *Minutiae*. Uno de los retos enfrentados como en anteriores estudios fue la necesidad intrínseca del modelo de procesar imágenes de alta resolución. Se consiguió un ratio de reconocimiento 78 % (23).

En 2017 un estudio se llevó a cabo analizando 756 imágenes de 42 sujetos en tres espacios temporales, al mes de vida, a los tres meses y al medio año de vida. Los datos se trataron a través de una red neuronal de deflexión profunda y se obtuvo para cada intervalo la correspondiente precisión con la identificación de *Minutiae* y el reconocimiento de individuos, un 61 %, un 55 % y un 83 %. Cabe a destacar que se recolectaron los datos de forma no específica ni repetible y que no se realizó ningún tipo de preparación para la creación de la base de datos y la recolección de estos.

### **2.3.5 Reconocimiento de recién nacidos a través de la Huella Digital**

La huella digital es uno de los marcadores biométricos más usados según una encuesta de mercado de *International Biometric Group* y normalmente se necesita un mínimo de cooperación por parte del usuario para una adquisición adecuada(24).

En 2011, Gottschlich et al., llevaron a cabo un estudio del aumento de la superficie de la epidermis digital en relación con el tiempo, las distancias y características extraídas para ser capaces de extraer la escala de cada dedo y poder predecir por lo tanto la huella a futuro. Uno de los problemas enfrentados fue la falta de cooperación de los sujetos y se introdujo la huella dactilar juvenil por primera vez(25).

Jain et al., entre 2014 y 2016 llevaron a cabo una serie de investigaciones primeramente realizando la fusión de varios dispositivos comerciales de captura de huellas digitales de la marca SDK, para realizar la captura de datos. Cabe a destacar la no cooperación de los recién nacidos y que los dedos de ciertos sujetos eran demasiado pequeños como para realizar la captura de las huellas(26). Un segundo estudio con 66 sujetos tuvo lugar, aplicando técnicas de mejora de calidad de imagen con énfasis en el primer plano y haciendo uso de redes neuronales convolucionales para estimar las características de crestas dactilares y conseguir la identificación de recién nacidos de edades desde los cero hasta los doce meses(27).

Un tercer estudio de 2016 se llevó a cabo con 90 sujetos, de cero a cinco años y haciendo uso de métodos estadísticos mixtos para analizar la semejanza entre huellas en 54 recolecciones de datos a lo largo de un año, haciendo uso de un sensor con una resolución de 500 PPI se estableció que la identificación de recién nacidos e infantes es viable y efectiva a partir de los seis meses de edad(28).

| S. No | Biometrics Modalities | Features identifyes                                             | Key Finding                                                                                                                                                                    |
|-------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Face                  | Utilizes facial features for identification                     | Challenges include the dynamic facial changes in newborns, necessitating adaptive algorithms. Promising results observed in controlled lighting conditions                     |
| 2     | Ear                   | Explores unique features of the ear for identification          | Ear recognition shows potential for newborn identification, with promising accuracy levels. Limited studies suggest the need for further exploration                           |
| 3     | Footprint             | Focuses on unique patterns in newborn footprints                | Footprint recognition emerges as a reliable modality, particularly due to the uniqueness of patterns. Successful implementation demonstrated with inkless footprinting systems |
| 4     | Palmprint             | Examines features in the palm for identification                | Limited studies on newborn palmprint recognition. Challenges include the smaller size of newborn palms. Further research is recommended for conclusive insights                |
| 5     | Fingerprint           | Analyzes unique patterns in newborn fingerprints                | Limited applicability due to the small size and lack of distinct patterns in newborn fingerprints. Challenges include obtaining clear prints                                   |
| 6     | Other Modalities      | Encompasses biometric methods beyond the conventional categorie | Varied findings in this category, with emerging technologies like DNA-based identification showing potential but requiring extensive research                                  |

Figura 2.4: Factores Clave de cada Modalidad Biométrica(13).

## 2.4 SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DACTILAR

Un sistema de reconocimiento de huellas dactilares de recién nacidos (RN) e infantes necesita comparar una huella ya registrada con una nueva muestra y ser capaz de dar un veredicto. Para ello se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

- **Registro del RN:** En cuanto al sistema de registro, cada conjunto de características extraídas por huella debe de guardarse junto a la información del RN como plantilla. Esta última pudiendo ser generada a partir de múltiples muestras de la misma huella. El registro es el paso principal ante la verificación e identificación de los sujetos.
- **Verificación del RN:** Se entiende como verificación la comparación uno a uno, es decir, se compara la muestra que se acaba de tomar con la creada en el registro del individuo, o la última entrada. De esta forma se puede verificar tanto la identidad como algún otro parámetro deseado y por tanto aprobar o denegar cada uno de estos.



- **Identificación del RN:** La identificación del RN comprende la comparación uno a muchos, es decir, la muestra que se acaba de tomar se expone ante la base de datos entera y se compara para saber si se obtiene alguna coincidencia positiva. Se puede por lo tanto buscar ante posibles equivocaciones incluso ante largos periodos de tiempo, siempre y cuando se efectuara el registro.

Esta morfología de procedimiento se refleja por lo tanto en los todos componentes del sistema, ya sea el sensor de huellas, como el extractor de características, la base de datos biométrica o el propio algoritmo de concordancia y toma de decisiones(12).

## 2.5 MÓDULO DE EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Una imagen de huella dactilar se caracteriza por tener regiones oscuras denominadas, crestas, y regiones claras denominadas, valles. A través de las distintas formaciones que se pueden encontrar en una huella digital se puede extraer el suficiente número de características únicas como para determinar la unicidad de la muestra.

A partir de las características globales se pueden categorizar las huellas en tres grandes categorías de regiones, en inglés denominadas, “*Whorl*” (*Verticilo*), “*Loop*” (*Lazo*) y “*Delta*” (*Arco*), que se asemejan con  $\bigcirc$ ,  $\cap$  y  $\Delta$  respectivamente. Combinando las categorías resulta en cinco familias principales, una huella Whorl suele componerse de dos Loops o un Whorl y dos Deltas. Por otra parte, tenemos las huellas Loops hacia la derecha y hacia la izquierda conformadas normalmente por un Loop y un Delta. Por último tenemos las huellas en Arco, las cuales siguen patrones de onda y se pueden categorizar como Arcos y Arcos Prominentes(12).

En cuanto a características locales, las discontinuidades y propiedades de crestas suelen denominarse “*Minutiae*” del latín, haciendo referencia al tamaño muy reducido y la especificidad de las características. Desde 1892, gracias a Francis Galton, se tienen registros de estudios e investigaciones llevadas a cabo con el fin de categorizar estas *Minutiae* y de probar su invariación ante el paso del tiempo. Se conocen por lo tanto como detalles de Galton las siete categorías que creó, sin embargo, los grupos predominantes son los finales de crestas y las bifurcaciones de estas. Este análisis de

crestas puede complicarse en los recién nacidos donde el espacio entre crestas no supera los cuatro o cinco píxeles y dependiendo del sensor, puede que no superen el píxel y por lo tanto no se pueda capturar dicha característica local (12).

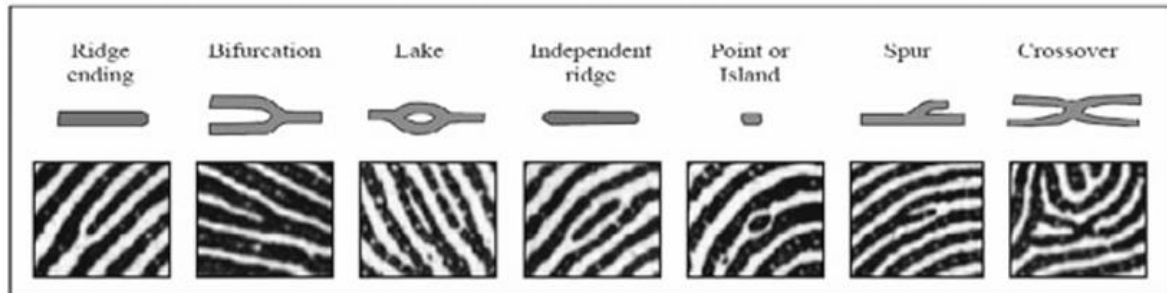


Figura 2.5: Categorías de *Minutiae*, detalles Galton.

En mayor profundidad, se pueden extraer características de una sola cresta como puede ser su forma, orientación, curvatura, contornos e incluso glándulas sudoríparas propias a la cresta. Se necesitan sensores de entre 1000 y 1500 PPI para tener imágenes de suficiente resolución como para ser tratadas por modelos de reconocimiento basados en los poros de las glándulas(29).

La extracción de *Minutiae* es una tarea compleja la cual es realizada por un algoritmo que debe contar con los siguientes criterios mínimos. La mayoría de estos modelos pasan primeramente por una binarización de la imagen en escala de grises, una vez realizado este proceso se erosiona la imagen binaria resultante para reducir el grosor de las crestas a uno o dos píxeles.

Habiendo realizado ambos pasos se puede comenzar con la extracción de *Minutiae*, se analiza píxel a píxel la imagen y se aplica la teoría de grafos, en concreto el número de cruce para encontrar los puntos de las *Minutiae*. Se define el número de cruce de un píxel como la mitad de la suma en diferencias de los 8 píxeles vecinos y dependiendo del valor de este número de cruce se puede determinar la categoría de la *Minutiae*(12).

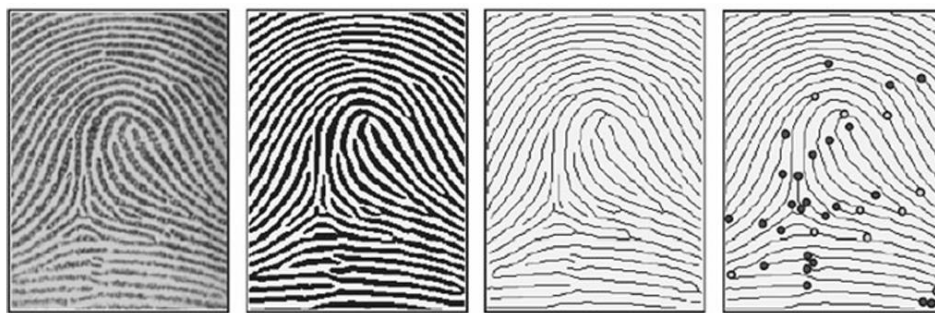


Figura 2.6: Preprocesado de la imagen y extracción de *Minutiae*(12).

## Capítulo 3. REVISIÓN DE TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO BIOMÉTRICO POR DACTILOSCOPIA

La dactiloscopia puede definirse como un método científico que se usa para analizar, identificar y clasificar huellas dactilares. Los grandes hitos que dieron vida a este campo tuvieron lugar a partir del siglo XIX. Estos fueron, su innovador uso como manera de identificación en la India por William Herschel, la clasificación y demostración de la unicidad de las huellas por parte de Francis Galton y la introducción a un sistema de clasificación de huellas dactilares con amplios usos forenses realizado por Juan Vucetich. Se trata de una técnica que ha ganado mucha importancia sobre todo en criminalística para ayudar a resolver muchos casos de manera efectiva y certera.

### 3.1 SISTEMAS DACTILOSCÓPICOS ACTUALES

Hoy en día, existen numerosas empresas que comercializan dispositivos de control de acceso que cuentan con sistemas biométricos de reconocimiento. Los más usuales suelen ser los escáneres faciales, palmares y dactilares. A continuación se muestran algunos de los ejemplos más viables en cuanto a implementación, no obstante, se ha de tener en cuenta la regulación con respecto a dispositivos médicos anteriormente mencionada. Esto se refiere a que en Europa y España se debe aprobar el uso de este sistema dentro del entorno clínico como dispositivo médico antes de cualquier implementación.

El grupo empresarial IDEMIA proporciona módulos biométricos compactos (CBM), que se ven integrados en distintos formatos según la necesidad. El nombre del propio módulo de adquisición de huellas es el CBM-E3, uno de los más compactos y con una superficie de captura de 22 x 14mm. Hace uso de un sensor óptico monocromático de 500 PPI que como se ha podido verificar es una resolución espacial demasiado baja para obtener precisión en la identificación de recién nacidos e infantes. El propio módulo mide 53,7 x 33,7mm lo que lo hace ideal para la integración en dispositivos móviles. Además de esto ofrecen varias opciones de implementación según las necesidades que tenga el proyecto de control de acceso.



Figura 3.1: Módulo CBM-E3 (IDEMIA GROUP) y dispositivo SenseFace7A (ZKTeco).

Otra de las líderes en este sector es ZKTeco la cual tiene gran variedad de productos, pero el más destacable es el SenseFace7A el cual proporciona además de la posibilidad de reconocimiento a través de la huella dactilar, el reconocimiento a través de la cara o de la huella palmar. Sin embargo, como sucede con el anterior componente, este dispositivo cuenta con un sensor de una resolución de 500 PPI lo cual no es conveniente para realizar la detección de huellas en RN.

El mercado se centra entorno a sensores de entre 400 y 1000 PPI puesto que son más que suficientes para realizar un registro y verificación en las huellas dactilares de adultos(11). Las condiciones de las huellas de un recién nacido difieren sustancialmente de las características en adultos. Debido a esta razón la mayoría de los dispositivos comerciales fallarán en el registro y verificación de los individuos de corta edad.

### 3.2 TÉCNICA DACTILOSCÓPICA INNOVADORA

Como anteriormente ha sido mencionado, existen ciertos tipos de sensores que permiten la captura de huellas de forma consistente en individuos. Los sensores ópticos cuentan con una buena resolución para captar las crestas y los surcos dactilares pero el tamaño reducido y la constante humedad de los dedos de un recién nacido dificultan mucho la captación. A pesar de ello suelen ser la opción más viable debido a su coste y rápida adquisición.

La principal traba para conseguir un método dactiloscópico para recién nacidos e infantes es conseguir una captura de imágenes consistente. Esto se debe a como se mencionado en varias ocasiones a la falta de cooperación por parte de los individuos de corta edad, que debe tenerse en cuenta para implementar un sistema que priorice adaptarse a la forma de trabajo de los sanitarios y los protocolos establecidos en detrimento de usar las tecnologías más punteras(1). Esto se debe a que la mayoría de las técnicas de captura de huellas dactilares residen en la cooperación del usuario para la correcta toma de imágenes. En el caso de infantes, estos deben ser guiados a lo largo de todo el proceso de captura de huellas digitales y se ha de hacer especial atención con los reflejos propios de estos como son el reflejo palmar y de agarre, cerrando la mano al sentir contacto en la zona ventral de esta. Como se muestra en la figura siguiente, el dispositivo a implementar debe tener en cuenta este tipo de problemática.



Figura 3.2: Reflejo Palmar y Complicaciones para abrir la mano de infantes(1).

Otra de las características clave es que los recién nacidos muestran factores dérmicos únicos en las primeras semanas de vida, tales como una mayor humedad de la piel y/o descamación de la epidermis. Además, influyen a su vez el desarrollo de colágeno y la queratina. Algunas de estas características pudiendo no estabilizarse hasta pasado el año de vida(1). Por otro lado, la gran maleabilidad de la piel de las huellas de los bebés las hace propensas a la deformación por lo que cualquier dispositivo que necesite entrar en contacto con el dedo deformará la huella en cierta medida haciendo que se fusionen características. La separación que podemos encontrar entre las crestas de la huella de un recién nacido puede ser tan pequeña como de 125 micrómetros mientras que en adultos la distancia entre crestas suele ser del orden de las 450 micras(1).

Debido a todo esto, Saggese et al., en 2019 propusieron el uso de un dispositivo óptico sin contacto para mejorar sustancialmente las capturas. Se menciona el uso por anteriores investigadores de sensores de alrededor de 1500 PPI, pero tras realizar pruebas se determinó que se debería incrementar la resolución espacial del dispositivo. Esto es porque en un sistema de contacto se lleva una estructura en tres dimensiones como es la huella a un plano en dos dimensiones y la cámara puede distinguir las crestas que están todas a la misma distancia del sensor. En un dispositivo “sin contacto” las crestas más predominantes serán las centrales y se pierden características conforme se acerca al borde de la huella llegando a tener distancias entre crestas que son virtualmente cero(1). Esta es la razón por la cual se decidió hacer uso de un sensor con mayor resolución espacial de hasta 3400 PPI ya que normalmente se mide el tamaño de pico a pico entre crestas el cual ronda los 250 micrómetros, no obstante, el tamaño de los valles puede no sobrepasar las 50 micras y de esta manera se obtuvo un número de entre 5 y 7 píxeles por valle. El objetivo de esta investigación era el desarrollo de un dispositivo portátil capaz de obtener imágenes reproducibles, de alto contraste y que fuese idóneo para reducir los fallos de captura(1).

Para llevar a cabo la creación del dispositivo se centró el desarrollo en tres grandes factores, la iluminación, el propio sistema de imagen y la colocación del dedo e interacción con el dispositivo.



La iluminación juega un gran papel puesto que contribuye a la intensidad de señal y por lo tanto al nivel de detalle de la superficie de la huella dactilar. Hacer incidir un haz de luz blanca polarizada produce que se de una fuerte reflexión superficial con la misma polarización. La luz que se vea absorbida por la superficie cambiará de polarización y no necesariamente se verá reflejada en la misma dirección. Las longitudes de onda mas cortas son reflejadas antes por la superficie mientras que la luz de una longitud de onda más larga penetran más en los tejidos y pueden reducir la características de superficie debido a la superposición de información espacial. Otra característica crucial de la iluminación es el ángulo de incidencia y el ángulo de detección, si estos dos resultan ser iguales se producen reflexiones especulares de alta intensidad lo que satura el sensor. Por esta razón el ángulo de la polarización con respecto al sensor es muy importante ya que en función de este se obtendrán mayores o menores reflexiones especulares que producen brillos en la imagen. En la siguiente figura se observa como el cambio del ángulo de polarización relativo al sensor afecta a las reflexiones y al contraste de la toma de imágenes, siendo mayores con una polarización paralela y los más bajos con una polarización cruzada(1).

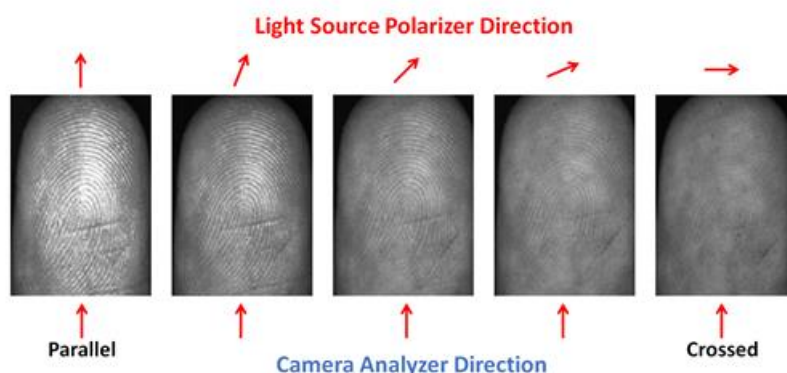


Figura 3.3: Reflejos y Contraste en función del ángulo de la polarización relativo a la cámara(1).

Con una polarización paralela la mayoría de imágenes muestran zonas con brillos lo que implica que la cámara tenga un amplio rango dinámico para evitar la saturación. Haciendo uso por lo tanto de una combinación correcta de color, polarización y el ángulo de incidencia se puede reducir la cantidad de reflejos y rechazar ciertas características de superficie como puede ser la escamación de la dermis(1).

El sistema de imagen que se implementó hacía uso de una cámara CMOS monocromática de 5 MegaPíxeles (MP), que cuenta con un tamaño de píxel de  $2.2\mu\text{m}$  y una lente FL acoplada de 9,6 mm. Se hizo uso de una lente de tipo M12 para reducir la distancia focal a 2 - 3 pulgadas, todo esto teniendo en cuenta que debe ser un dispositivo transportable, pequeño y que sea coste efectivo. Se implementó una cámara monocromática puesto que cuentan con una mejor resolución y sufren menos por el aliasing(1).

Con esta combinación de componentes se pudieron conseguir resoluciones de entre 1900 y 4100 PPI y basandose en las necesidades tanto del dispositivo como prioritariamente del usuario se estableció usar una configuración con 3400 PPI para conseguir un *Field of View* (FOV) vertical de alrededor de dos centímetros. A continuación se muestra una figura donde se comparan la distancia de trabajo con el FOV según el sistema construido y se resalta la opción elegida.

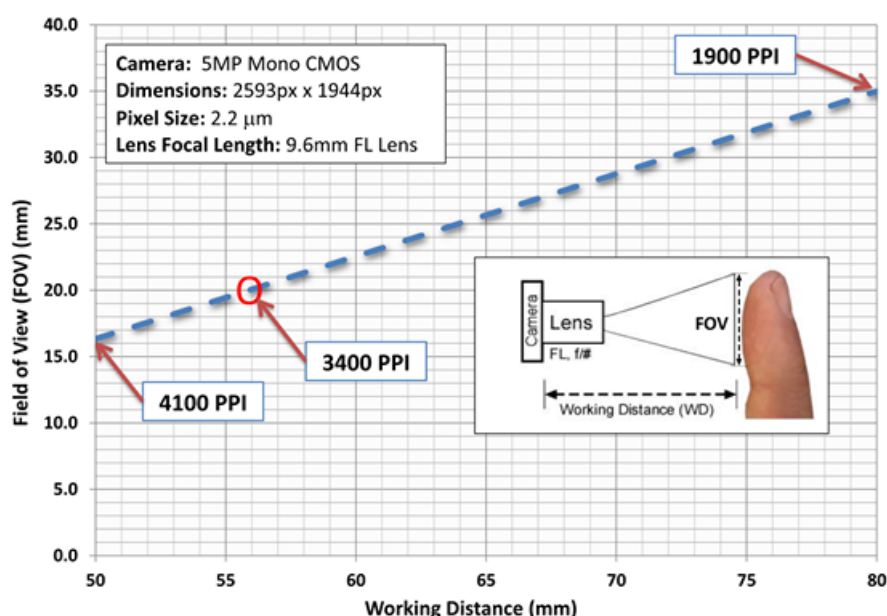


Figura 3.4: Comparativa entre Distancia de Trabajo, FOV y Resolución(1).

Además, se modificó la apertura de la lente M12 para pasar de una F/3 a una F/10, con una fabricada por láser a medida para reducir la apertura y de esta manera mejorar la profundidad de campo (DOF) (1). Esto se realizó debido a que tener una



apertura con una F mayor implica una mejora tanto en la DOF como en el contraste, lo que es de gran ayuda en situaciones que requieren gran resolución. No obstante, implica que la luz que será recibida por la cámara será de un orden de magnitud menor, así que se implementó una luz LED para compensar con esa pérdida(1).

La interacción entre el infante y el dispositivo es una tarea compleja puesto que el dedo de un recién nacido puede variar entre los 5 y 10 mm de diámetro, por lo que se precisa contar con un rango variable de aperturas para conseguir una adquisición de calidad. Para ello se realizaron pruebas con distintos prototipos y encajes con el fin de determinar que acercamiento sería el más adecuado(1).

Después de llevar a cabo varias iteraciones y ensayos clínicos se terminó por definir el modo en el que se ajustaría la apertura donde vendrá apoyado el dedo del infante, el resultado se muestra en la siguiente figura. Cuenta con distintas aperturas fijas regulables a través de un dial(1).



Figura 3.5: Diseño optimizado de regulador de aperturas en función del tamaño del dedo(1).

La diferencia con las técnicas por contacto es que las imágenes resultantes son de un alto contraste y por lo tanto el preprocesado de la imagen se limita a unos pocos pasos, un reescalado de esta, posteriormente se aplica una corrección de campo plano para corregir desigualdades en intensidad y contraste, y por último se realiza una supresión de ruido(1). Una vez realizado esto se hace uso de un software comercial para la binarización, erosión de la imagen y extracción de características según los estándares en interoperabilidad norteamericanos. De esta manera se consigue obtener los datos biométricos para la verificación y/o identificación de un individuo(1). A continuación, se muestra la metodología del preprocesado y procesado de imágenes llevado a cabo.

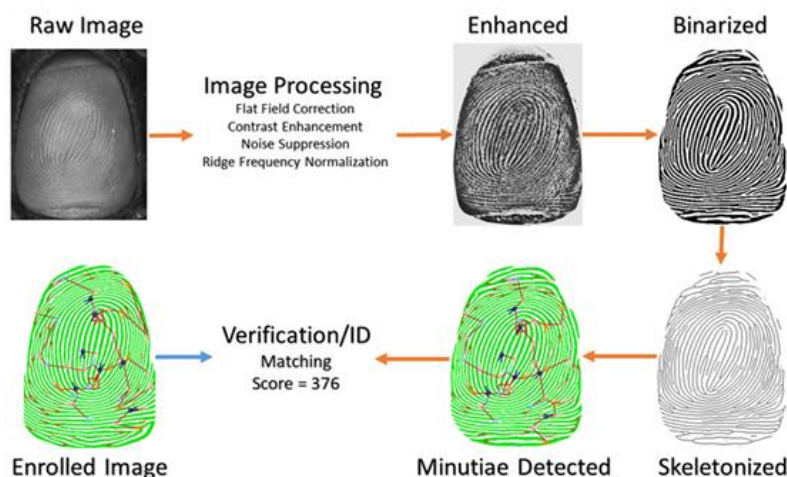


Figura 3.6: Metodología de procesado llevada a cabo(1).

Además, se introduce una normalización para la frecuencia de las crestas debido a que el software que se utilizó estaba concebido para huellas dactilares de adultos y se hace énfasis en que la huella dactilar de un recién nacido o infante puede variar significativamente de tener entre 20 píxeles por cresta hasta 40 píxeles y se necesitaba normalizar las huellas a 60 píxeles por cresta para que el software no produjera tantos fallos(1).

Se llevó a cabo un ensayo clínico en dos fases, la primera con el objetivo de probar distintos componentes para optimizar el dispositivo en su uso real. Por esta razón se compuso un kit de campo para poder realizar pruebas de manera rápida con varias configuraciones(1).

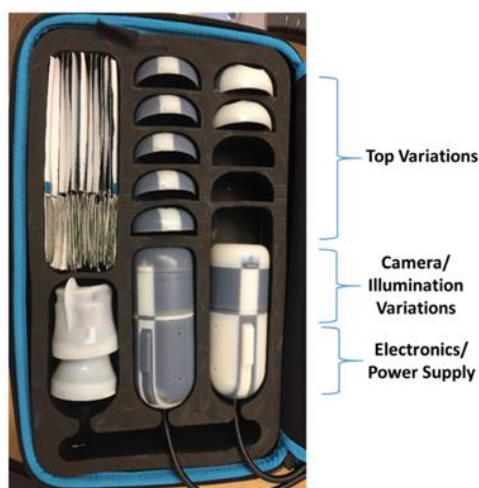


Figura 3.7: Conjunto Modular de configuraciones de la Primera Fase del Ensayo para evaluar distintas combinaciones de iluminación y soportes dactilares(1).

La segunda tenía como propósito, con un sistema ya fijo, proporcionar datos objetivos sobre el rendimiento del dispositivo y la configuración utilizada. Para ello se diseñó la versión optimizada del dispositivo para su uso denominándolo “Panda”. La configuración final cuenta con un LED azul que ilumina a través de un polarizador y dispersa la luz de forma uniforme y a un ángulo óptimo que permite reducir la luz directa a la cámara y los reflejos y centelleos. La cámara como anteriormente se ha mencionado es una monocromática CMOS con lentes y aperturas a medida para optimizar la resolución a 3400 PPI, cuenta con una profundidad de campo superior a un centímetro y un tiempo de exposición inferior a los 20 ms para mitigar los artefactos por movimiento. Se implementó el dial optimizado para seleccionar las aperturas y se diseñó un encapsulado que resulta atractiva para la población infantil(1).

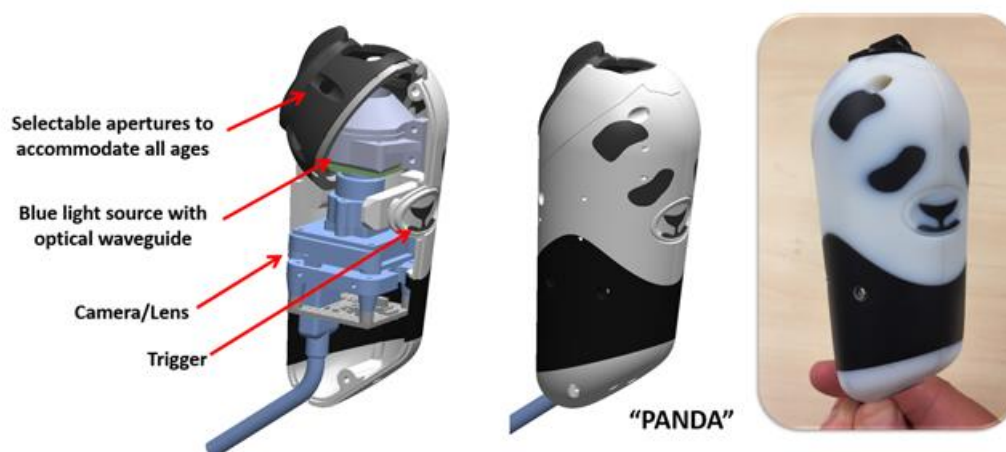


Figura 3.8: Versión optimizada del dispositivo “PANDA” para la Segunda Fase del Ensayo Clínico. Cuenta con un sistema de iluminación polarizada, una cámara, aperturas regulables y un encapsulado diseñado para favorecer la toma de huellas de recién nacidos(1).

Tras finalizar el estudio y llevar a cabo el análisis de los datos se pudo concluir que el uso de un sistema de reconocimiento dactiloscópico “sin contacto” supera los problemas causados por la deformación de las técnicas actuales, no obstante introduce nuevos retos en la fabricación de tecnología. Se resalta el gran papel que tiene prestar atención a los participantes para facilitar el trabajo clínico y por lo tanto obtener una mayor disposición a continuar en el estudio. Se destaca un tiempo de registro inferior a los cinco minutos y tiempos de verificación de entre 20 segundos y 2 minutos(30). En el análisis cuantitativo se menciona la posibilidad de considerar el dispositivo en aplicaciones clínicas ya que muestra una precisión del 77 % con un solo dedo para recién nacidos de 0-3 días y un 96 % en mayores a 3 días lo que mejora significativamente otros

dispositivos utilizados en ensayos clínicos anteriores. Se hace énfasis en que un registro temprano y largos intervalos entre visitas afectan negativamente a la precisión del sistema(30).

Los problemas que se encontraron en ese desarrollo fueron por una parte, que el análisis de los rendimientos fue realizado *post-hoc* por lo que realizar optimizaciones en el algoritmo era muy difícil. Aparte la mayoría de recién nacidos fueron solamente registrados y no se pudo realizar ninguna identificación. A su vez la escala del ensayo no pudo tener en cuenta las previsiones en tamaño y diversidad de la población que recomienda el Instituto Nacional para Estándares y Tecnología (NIST) de los EE.UU. (31). A diferencia de los adultos, los datos recolectados indican que cuanto más dedos se registren mayor precisión y rendimiento se obtendrá(30).

## Capítulo 4. LÍNEAS FUTURAS

A continuación, se muestran los avances técnicos que podrían llegar a permitir la implementación de un sistema de reconocimiento de recién nacidos dentro del SNS. La mayor parte de estas técnicas y dispositivos se encuentran todavía bajo fases de investigación, no obstante aunar todas ellas permite tener un punto de vista general y facilitar una comparación objetiva.

### 4.1 ANGIOMETRÍA POR *NEAR-INFRA-RED* (NIR)

Numerosos estudios hacen referencia a la capacidad de visualización del sistema venoso de la extremidad superior a través de la segmentación de imágenes de NIR, normalmente enfocándose en la venopunción. Estos se basan en la propiedad de la hemoglobina desoxigenada a absorber longitudes de onda de entre 700 y 900nm(32).

Un estudio del Instituto Politécnico Nacional de la Ciudad de México hizo uso de una cámara comercial con una película fotográfica modificada usada a modo de filtro para permitir solamente el paso de longitudes de onda infrarrojas. Se basa en el principio de funcionamiento de la reflectografía, de forma análoga a los sensores ópticos de

huellas, se hace incidir un haz de luz y se detecta a través de una cámara modificada en este caso para captar iluminación infrarroja(32).

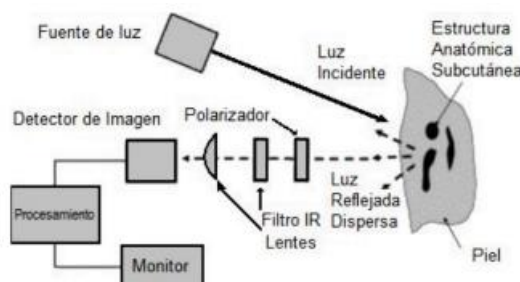


Figura 4.1: Esquema del principio de funcionamiento de un sistema de Reflectografía NIR, donde la luz infrarroja incide sobre la dermis permitiendo la visualización de estructuras vasculares subcutáneas gracias a la absorción diferencial de la hemoglobina(32).

Para poder realizar un procesamiento de la imagen con características resaltadas se acudió al uso filtros para mejorar el contraste y enfatizar los distintos niveles de grises. Se aplicaron algoritmos de ecualización adaptable del histograma de modo a realzar las venas con respecto a la dermis. Las imágenes tomadas a una longitud de onda de 830nm presentan una mejor relación *Signal to Noise Ratio* (SNR) y un mejor contraste de modo a discernir los patrones venosos(32).

Finalmente se obtuvo una imagen la cual se trató a través de dos métodos de forma a comparar su eficacia, uno fue *Fuzzy C-means*, y el otro un algoritmo de probabilidad bayesiana. Se estableció que el primero era capaz de obtener una mejor segmentación de la imagen(32). A pesar de esto todavía no es suficiente como para poder implementar un sistema de reconocimiento ya que las técnicas utilizadas no permiten discernir de forma eficiente el patrón venoso de un individuo para habilitar el reconocimiento de este.

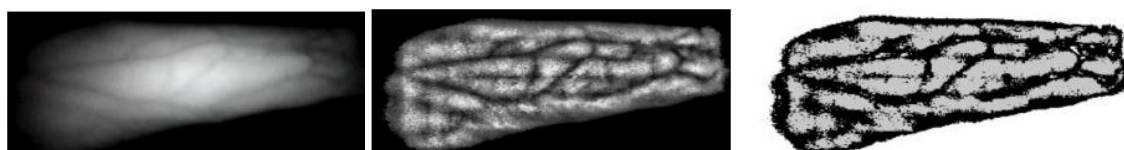


Figura 4.2: Imagen capturada por NIR, potenciación de características y segmentación(32).

Este tipo de técnicas se encuentra todavía en fase de desarrollo y pese a tener gran utilidad en el campo de la venopunción aun no se cuenta con la suficiente información como para poder considerarlo como método de reconocimiento biométrico. Aunque los patrones venosos son específicos a cada individuo se necesita encontrar la manera de medirlos y ser capaces de cuantificar su distribución de modo a crear plantillas usables en la verificación e identificación de individuos.

## 4.2 TÉCNICAS DE ESTÉREO-FOTOMETRÍA

La estéreo-fotometría consiste en realizar la captura de un mismo objeto con distintos ángulos de iluminación de manera a poder crear un mapa de profundidades en función de las sombras. Esto permite crear imágenes en tres dimensiones(33). Este tipo de técnica es muy conveniente pues se puede combinar con métodos vistos anteriormente como la angiometría por NIR e incluso la dactiloscopia sin pletina.

Un estudio suizo menciona el uso de esta técnica en el desarrollo de un método de reconocimiento biométrico a través de los patrones venosos en la mano y nombró a su dispositivo *sweet*. Se hace uso de un sistema compuesto por tres cámaras con un buen dominio en el NIR y un conjunto de LEDs, láseres, fotodiodos y espejos MEMS. Gracias al uso de la estéreo-fotometría y técnicas de optimización de imágenes se consiguen unos resultados ampliamente mejores, sin embargo el dispositivo es aparatoso y necesita que el usuario mantenga la extremidad superior suspendida al menos 2 segundos lo que dificulta enormemente su uso en recién nacidos(33).

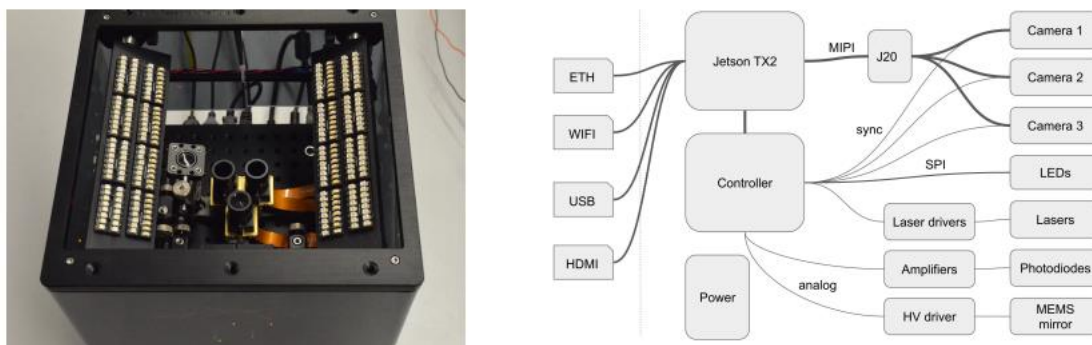


Figura 4.3: Diagrama de del sistema *Sweet* para la captura de patrones vasculares de la mano, cuenta con cámaras NIR, fotodiodos, un sistema de iluminación y sensores ópticos para obtener reconstrucciones 3D a través de la estéreo-fotometría (32).



El estudio consiguió implementar un análisis del patrón venoso de hasta cuatro dedos a la vez, lo que permite realizar la fusión de características y reducir de manera significativa el error. Cada mano registrada es única y debe estar descrita por al menos tres dedos de esta. De esta manera al combinar la información de varios dedos a la vez se consigue un mejor rendimiento del algoritmo. Es relevante señalar que se encontró un mejor rendimiento de identificación en la mano derecha de los sujetos, sin encontrar la razón de esta ligera variación(33).

Existe una empresa llamada GelSight la cual proporciona un sistema de medición topográfica 3d que tiene numerosas aplicaciones en robótica y aeronáutica. Más concretamente su dispositivo GelSight Mobile™ hace uso de una superficie elastomérica altamente deformable recubierta por su parte interior por una película reflectante. Además, utiliza la estéreo-fotometría para crear un mapa en tres dimensiones de superficies de un tamaño cuasi microscópico e ilumina a través de seis segmentos LED distintos la región de interés para capturar las distintas sombras y así crear la imagen 3D.

Estudios proporcionados por la empresa demuestran tener un error máximo medio de cuatro micrómetros realizando la media de 700 pruebas con diez mediciones repartidas de 9 a 85 micrómetros.

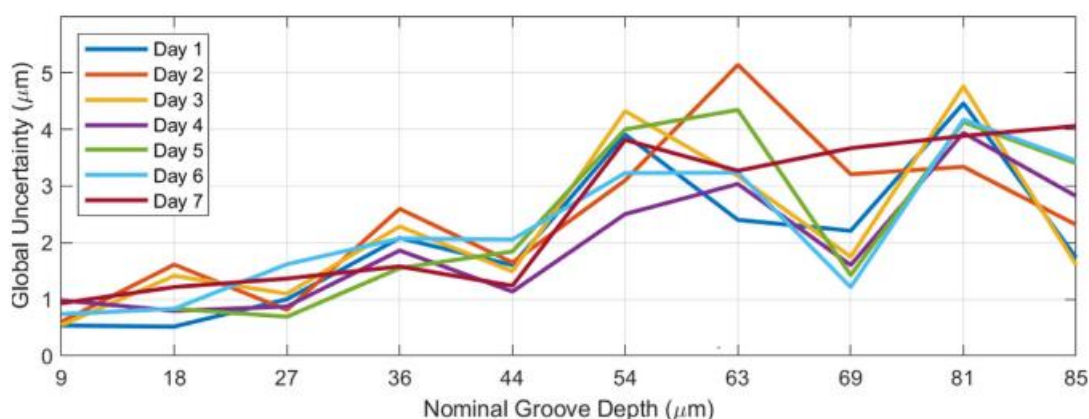


Figura 4.4: Gráfica Comparativa entre error y las medidas realizadas en las 700 pruebas (GelSight).

Mencionan que el error incrementa con la profundidad del objeto a medir. No obstante, debido a las características de las huellas dactilares esto no debería suponer un problema.

Si bien es cierto que esta tecnología y/o dispositivo no están reconocidos como método de reconocimiento biométrico por sí solos, tienen grandes posibilidades de ser implantados en sistemas híbridos que se benefician de las características de múltiples técnicas.

## **Capítulo 5. COMPARATIVA Y PROPUESTA DE SISTEMA DE RECONOCIMIENTO HÍBRIDO**

Las metodologías expuestas anteriormente permiten realizar una comparativa objetiva para brindar solución al problema inicial. Muchos de estos métodos no cumplen con los criterios necesarios para su debida implementación en la identificación de recién nacidos hoy en día. El reconocimiento de iris no sirve ya que mantener la mirada de un infante en un punto por al menos 10 segundos es una tarea casi imposible, por la misma parte el reconocimiento facial es complicado, puesto que las expresiones faciales de un infante son pocas y difíciles de caracterizar(13). La angiometría de miembros superiores a través de NIR u otros métodos podrían implementarse para la parte dorsal de la mano debido a que por el reflejo palmar de los recién nacidos sería imposible capturar una imagen de la palma sin intervención externa excesiva. Los métodos basados en la voz son claramente descartables puesto que no tendrían la entrada de datos necesaria para su funcionamiento óptimo. Hoy en día la única opción verdaderamente viable es la identificación de los recién nacidos a través de la dactiloscopia. No obstante, como se observa en apartados anteriores existe ya un planteamiento de método dactiloscópico “sin contacto” adaptado a las necesidades de los recién nacidos(1). Esto permite sobrevenir ciertos problemas que son, la deformación por contacto con una superficie y que la humedad y otros residuos no interfieren en la captura. Otros son persistentes como puede ser la descamación de la epidermis(1). Aun así, gracias a su tiempo de captura tan bajo se puede plantear su implementación. A continuación, se muestra una tabla comparativa sobre métodos de reconocimiento biométricos, las metodologías disponibles en el mercado, la velocidad media de captura y las ventajas y desventajas más relevantes(11).



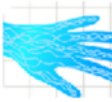
| Comparative Aspects                                                                           | Method                          | Market    | Speed/Person | False Rejection Rate/% | Advantage                      | Disadvantage                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|--------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|  Iris        | optical                         | about 7%  | 1–25 s       | About 10               | Not easy to age and wear       | Difficult collection                                          |
|  Facial      | optical                         | about 18% | ≤5 s         | <0.2                   | Non-contact                    | Affected by the light, posture, and facial expression         |
|  Finger vein | optical, capacitive, ultrasonic | about 3%  | 1–10 s       | 5                      | A wide range of identification | Large-size                                                    |
|  Voice       | magnetoelectric, capacitive     | about 5%  | 1–3 s        | About 10               | Non-contact                    | Affected by the volume, speed, and sound quality of the sound |
|  Fingerprint | optical, capacitive, ultrasonic | about 58% | ≤1 s         | About 5                | Small equipment                | Marks on the screen                                           |

Figura 5.1: Tabla Comparativa de Métodos de Reconocimiento Biométricos(11).

## 5.1 SISTEMA HÍBRIDO PROPUESTO

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se plantea un prototipo de sistema que mezcle la dactiloscopia sin contacto y los sistemas de estéreo-fotometría de modo a que sea capaz de capturar una imagen con la suficiente resolución para su tratamiento y que pueda obtener una imagen 3D creando un mapa topográfico de cada huella. Para ello se toma muchas de las características del dispositivo que ya tiene una prueba clínica aceptable, el dispositivo Panda(1). Se ha modificado en cierta medida la disposición de la iluminación del dispositivo anterior para tener una disposición de LEDs circular por tramos que permitan tanto una iluminación conjunta como la captura de imágenes con iluminación independiente por tramos. Al igual que el dispositivo de *GelSight* se pretende que el dispositivo cuente con 6 tramos LED cada uno cubriendo aproximadamente 60° de una circunferencia. Se ha de tener en cuenta que se usará una cámara CMOS de al menos 5 MP con una lente focal de tipo M12 y a ser posible hacer uso de una apertura modificada para limitar la entrada de luz innecesaria al sensor óptico lo que puede saturar regiones de la imagen. El controlador usado debe ser capaz de transmitir los datos tanto por cable como inalámbricamente por lo que se puede optar por una Raspberry o ESP32/ESP86. Un botón será el encargado de accionar tanto

el aro de LEDs como la cámara en sus respectivos intervalos para conseguir siete imágenes de la misma huella.

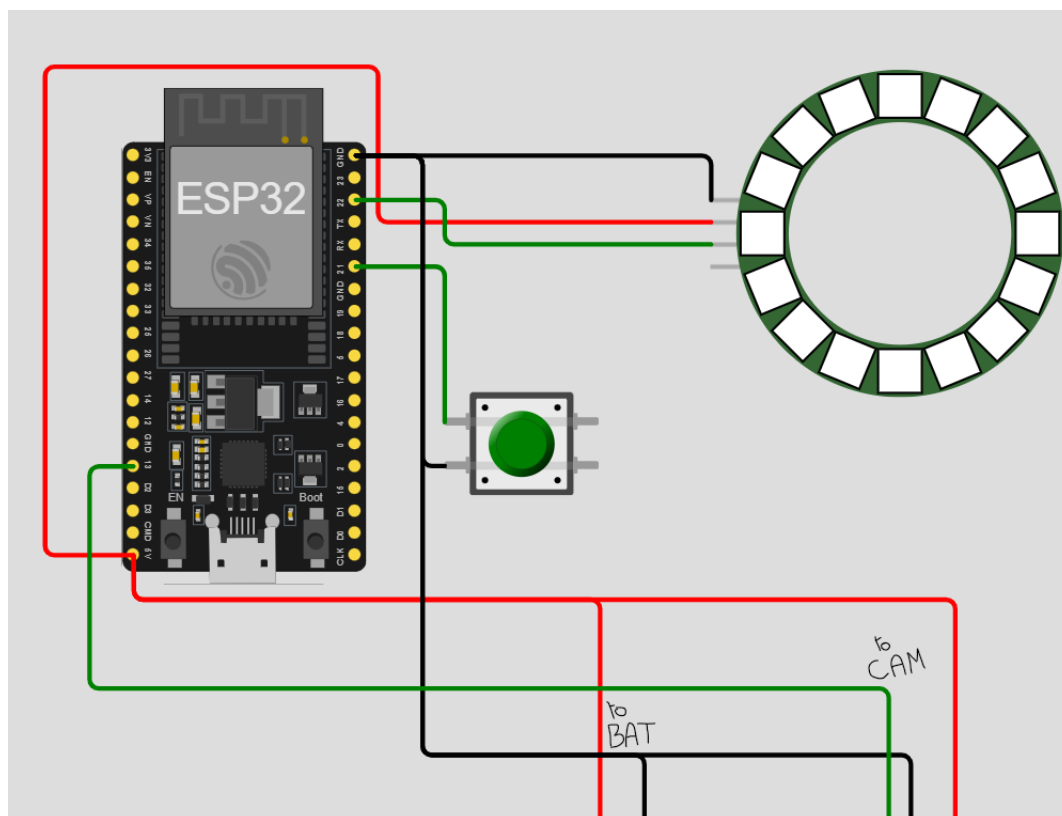


Figura 5.2: Esquemático eléctrico del sistema híbrido propuesto. Se representa la interconexión entre microcontrolador (ESP32), cámara CMOS, módulo de LED, batería y pulsador de captura, con temporización coordinada para obtener imágenes secuenciales iluminadas desde distintos ángulos.

Se trata de un circuito relativamente simple, la complejidad radica en cuadrar bien los intervalos de tiempo. Para ello se plantea que el tiempo de exposición sea el menor posible para evitar artefactos por movimiento y se pretende que la toma de las 7 imágenes no supere el segundo de duración y de esta manera intervenir lo mínimo posible y ser la más eficiente posible. El intervalo temporal del script prototipo, sin implementar la captura de imagen pero teniendo en cuenta su duración, es de 530 milisegundos, pero podría ampliarse hasta 1000 milisegundos por precaución. El script prototipo se encuentra en los anexos de este trabajo.

Para poder realizar la toma de huellas es necesario diseñar un encapsulado que en una primera instancia permita ciertos cambios que ayuden a calibrar y mejorar el producto final. Para ello se plantea una base circular con una apertura lateral para poder introducir los componentes. La parte superior de este base cuenta con una apertura para la cámara y su respectiva lente y cuenta con cuatro orificios más. Los tres orificios roscados permiten el soporte de las pletinas superiores mientras que el último sirve para hacer pasar los cables que suben hacia la primera pletina.

Cuenta con tres varillas de 5mm de diámetro y 20cm de largo con un tipo de rosca M4 que sirven de soporte para las pletinas superiores. Además, se ha modelado un tubo hueco de 1cm de diámetro y 10cm de largo con una ranura longitudinal para facilitar el paso de cables hacia la pletina directamente superior.

La primera pletina tiene la función de servir como soporte para el botón y el arco de LEDs y viene sujeta por dos tuercas por varilla. Esto permite que la altura del arco de LEDs sea regulable y por lo tanto permite optimizar el dispositivo. La segunda pletina cuenta con un orificio amplio y una ranura que permite la inserción de distintas superficies donde apoyar los dedos. Esto permite diseñar múltiples accesorios sin tener que modificar enormemente el sistema. A su vez se ve sujeta por dos tuercas por varilla y permite modificar su altura de modo a poder realizar pruebas rápidas con configuraciones distintas.

Tanto la captura de imágenes como la iluminación se efectúan de abajo hacia arriba por lo que el FOV debe estar bien definido y así capturar correctamente la región dactilar sin capturar de más o de menos. En los anexos se puede encontrar esquemas de cada componente modelado y su ensamblaje. Los materiales no han sido definidos pero las varillas y tuercas son de acero inoxidable y los demás modelados pueden realizarse tanto en plástico como madera, pero se ha de tener en cuenta que esto solo sirve en la etapa de prototipo. Una vez con un sistema fijo se debe pasar al uso de materiales de grado sanitario para evitar irritaciones y/o reacciones alérgicas.

Todo esto sirve para montar un prototipo de sistema híbrido que comprende tanto una prueba dactiloscópica como la adquisición de una imagen 3D a través de la estéreo-fotometría. Para que un sistema de este calibre sea efectivo, debe tener una precisión y repetitividad altas, a la vez que ser coste-efectivo, por lo tanto se plantea un presupuesto aproximado de los fungibles y el hardware que se puede llegar a utilizar para la implementación de este sistema.

| <b>HARDWARE Y MATERIAL</b>                   | <b>Coste medio</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Coste por Producto</b> |
|----------------------------------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| ESP32                                        | 15 €               | 1               | 15 €                      |
| Arco WS2812B 50mm 12 LED                     | 5 €                | 1               | 5 €                       |
| Cables por metro                             | 4 €                | 2               | 8 €                       |
| Kit Termoretráctiles                         | 15 €               | 1               | 15 €                      |
| Pulsador                                     | 3 €                | 1               | 3 €                       |
| Cámara 5MP Sony Pregius IMX264               | 550 €              | 1               | 550 €                     |
| Lente M12 con apertura f-10                  | 45 €               | 1               | 45 €                      |
| Batería 12V y regulador                      | 50 €               | 1               | 50 €                      |
| Impresión 3D (Base, Pletinas, Encajes, Tubo) | 75 €               | 1               | 75 €                      |
| Varillas roscadas M4 200mm x 5mm             | 3 €                | 3               | 9 €                       |
| Tuercas M4 5mm diámetro                      | 2 €                | 12              | 24 €                      |
| Arandelas silicona 5mm diámetro              | 1 €                | 12              | 12 €                      |
| <b>Total</b>                                 |                    |                 | <b>811 €</b>              |

Figura 5.3: Presupuesto para la fabricación del prototipo (Hardware y Fungibles).

## Capítulo 6. CONCLUSIONES

Durante la realización de este trabajo se ha podido observar como de difícil es realmente llevar a cabo una propuesta de valor para dar solución a una problemática. Dentro de los Derechos Humanos la identidad es uno de los primordiales y este Trabajo de Fin de Grado aúna los métodos más relevantes y susceptibles de ser implementados en un futuro cercano relacionados a la identificación y el reconocimiento.

Además, se trata de dar solución a la necesidad del Hospital de Getafe de obtener información sobre métodos de reconocimiento biométrico punteros a la par que brindar una opción de desarrollo que cuenta con los beneficios de la dactiloscopia sin contacto y de la estéreo-fotometría. Gracias a este trabajo se puede comprobar que muchas de las técnicas presentes en el mercado no se adaptan bien a la anatomía y fisiología de los recién nacidos. La solución propuesta trata de reducir el tiempo de contacto al máximo para evitar artefactos y ser eficiente como dispositivo.

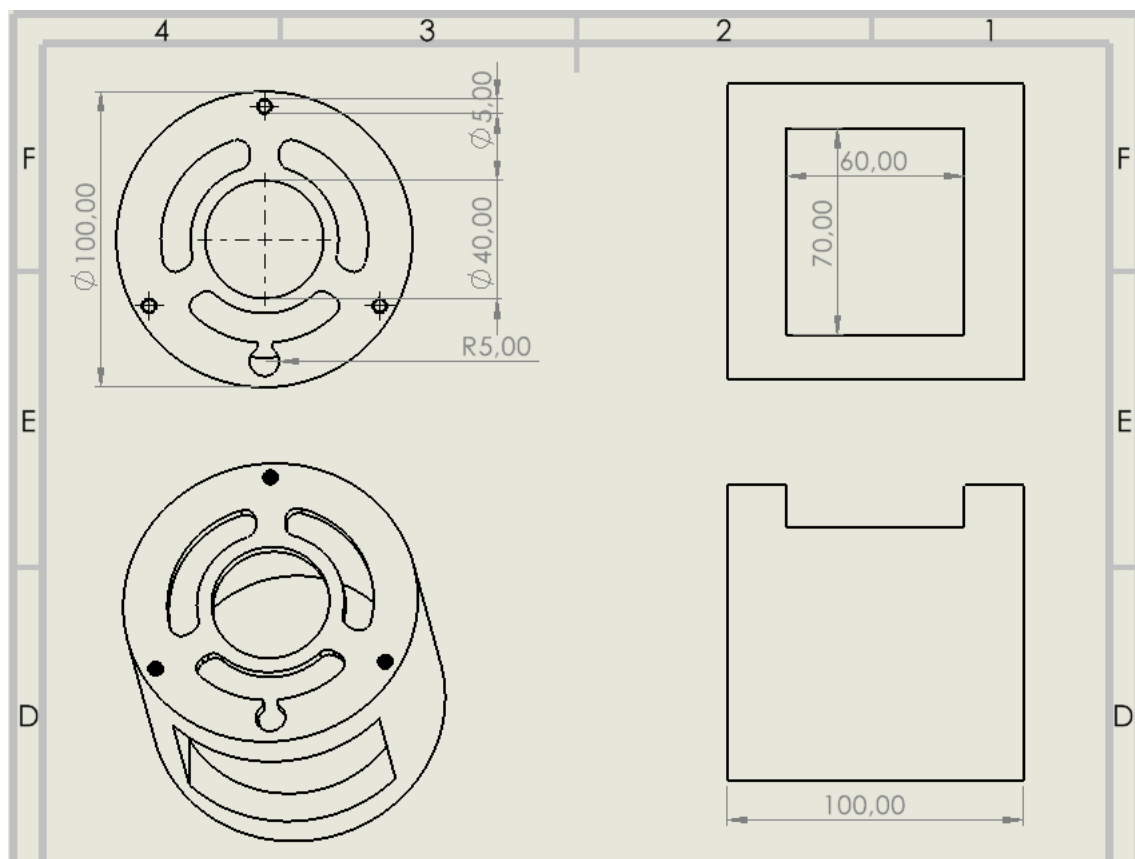
Las mayores adversidades para obtener huellas de recién nacidos en primera instancia es la edad, infantes menores a los 4 días de vida sufren numerosos cambios de la epidermis en poco tiempo y el reconocimiento no es efectivo. Los reflejos y movimientos involuntarios también juegan un papel por esa razón es tan importante una captura rápida. Cabe a destacar a su vez la necesidad de sensores ópticos de alta resolución con el fin de capturar bien las características de las huellas y poder realizar los modelos resultantes para el registro, identificación y/o verificación.

En lo personal este proyecto me ha ayudado en cuanto a la gestión propia del tiempo y la metodología en investigación. Pese a que el prototipo presentado no es físico debido a temas de presupuesto, se basa en un sistema revisado con ojo crítico y objetivamente. Además, siendo una problemática muy real sobre todo en regiones del mundo menos desarrolladas. A mi parecer, haber realizado esta revisión me ha permitido obtener grandes conocimientos en muchos ámbitos y sobre todo reforzar las aptitudes desarrolladas a lo largo del grado. Una de las partes más bonitas de la Ingeniería Biomédica es ser capaz de proporcionar ayuda a través de un desarrollo o una innovación de la que se ha formado parte. El contacto humano y el bienestar a su vez hacen de la profesión algo por lo que seguir desarrollando nuevas tecnologías y nuevos métodos.

## ANEXOS

### ANEXO I

#### Base del Sistema



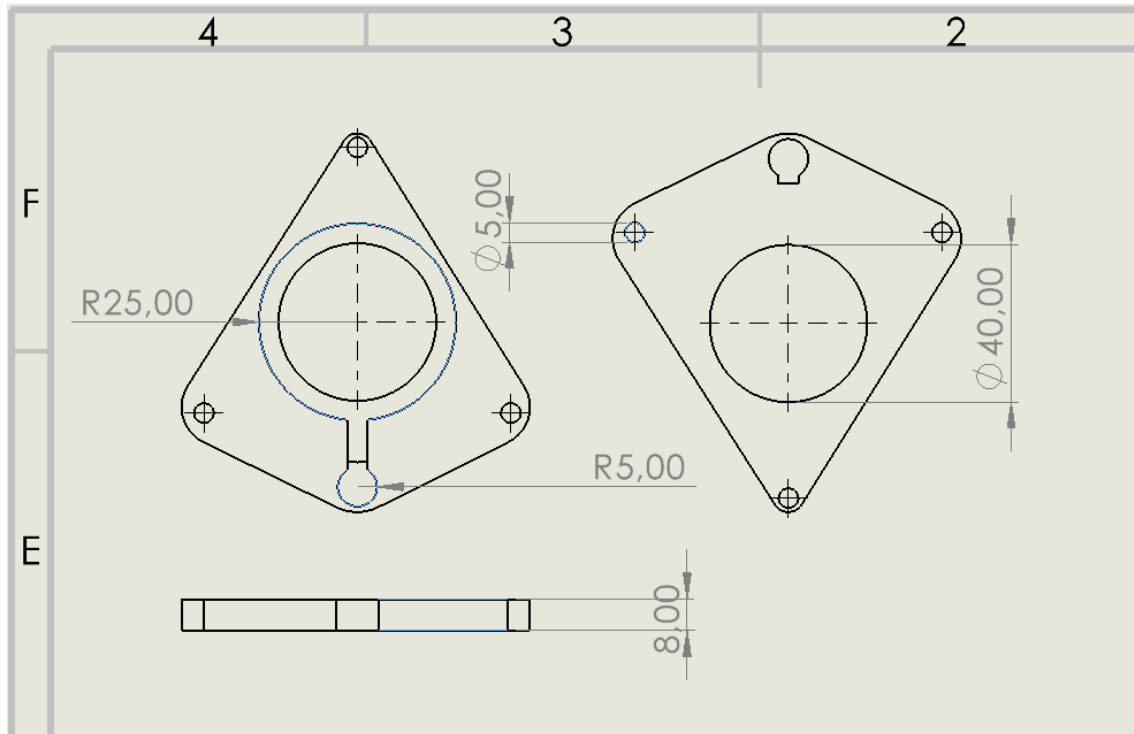
## ANEXO II

Varillas roscadas M4 5mm x 200mm



### ANEXO III

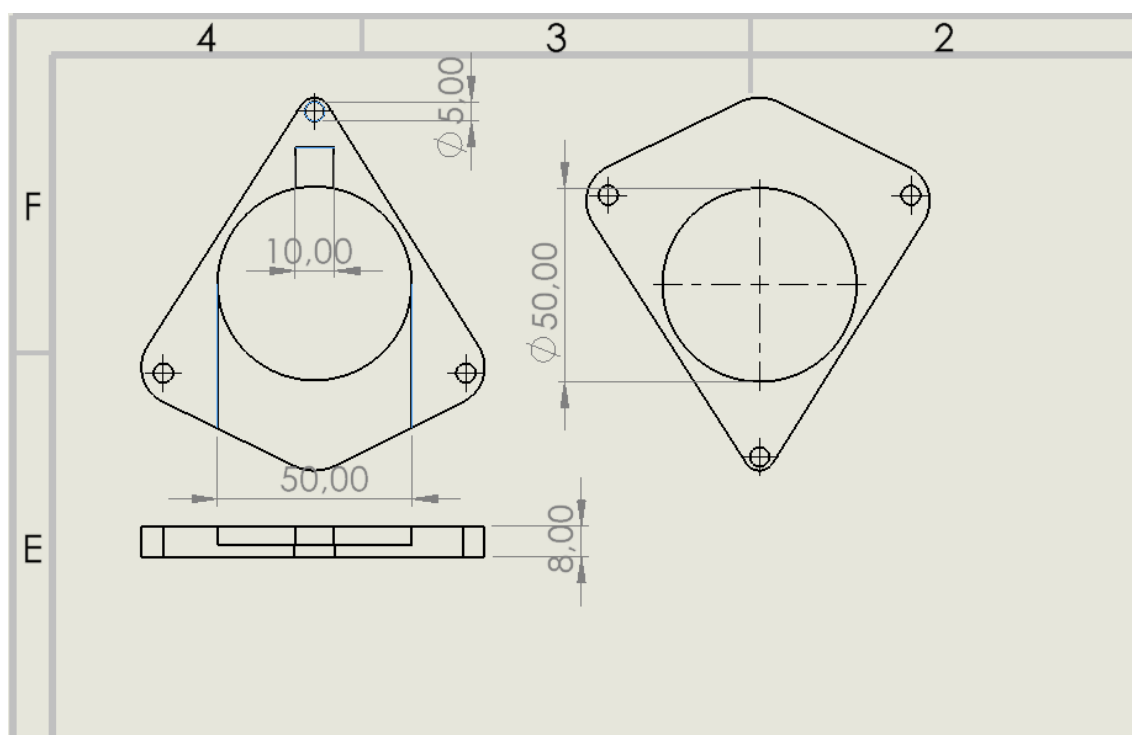
#### Pletina de soporte del arco de LEDs





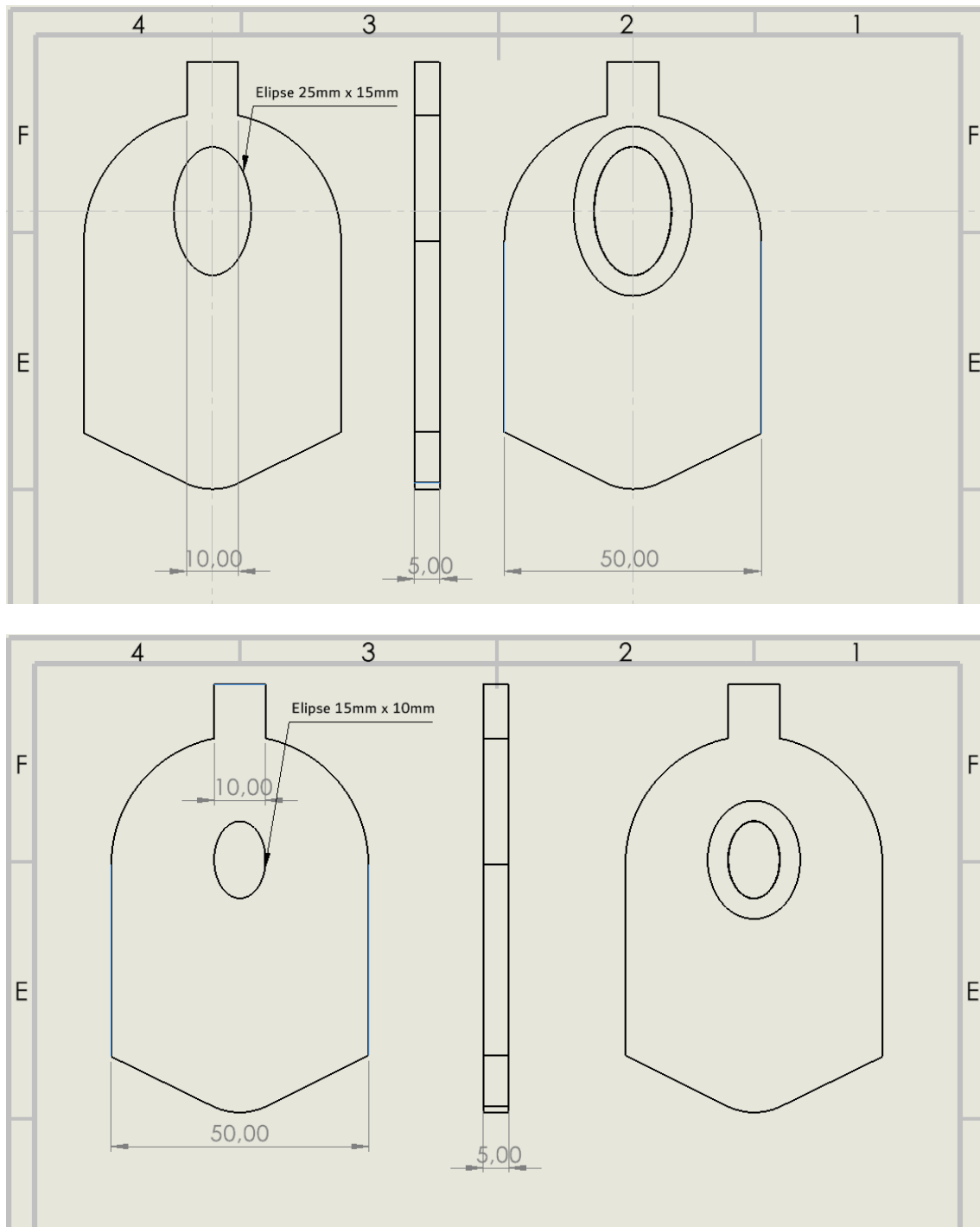
## ANEXO IV

### Pletina soporte de encaje del dedo



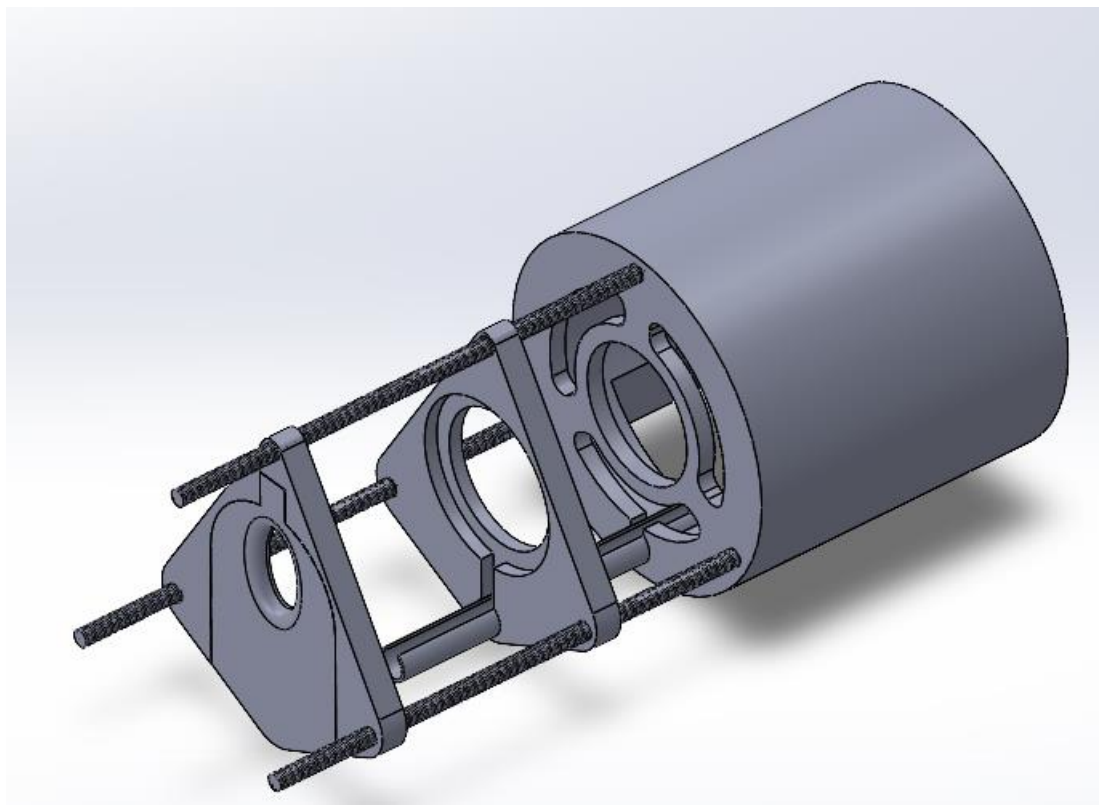
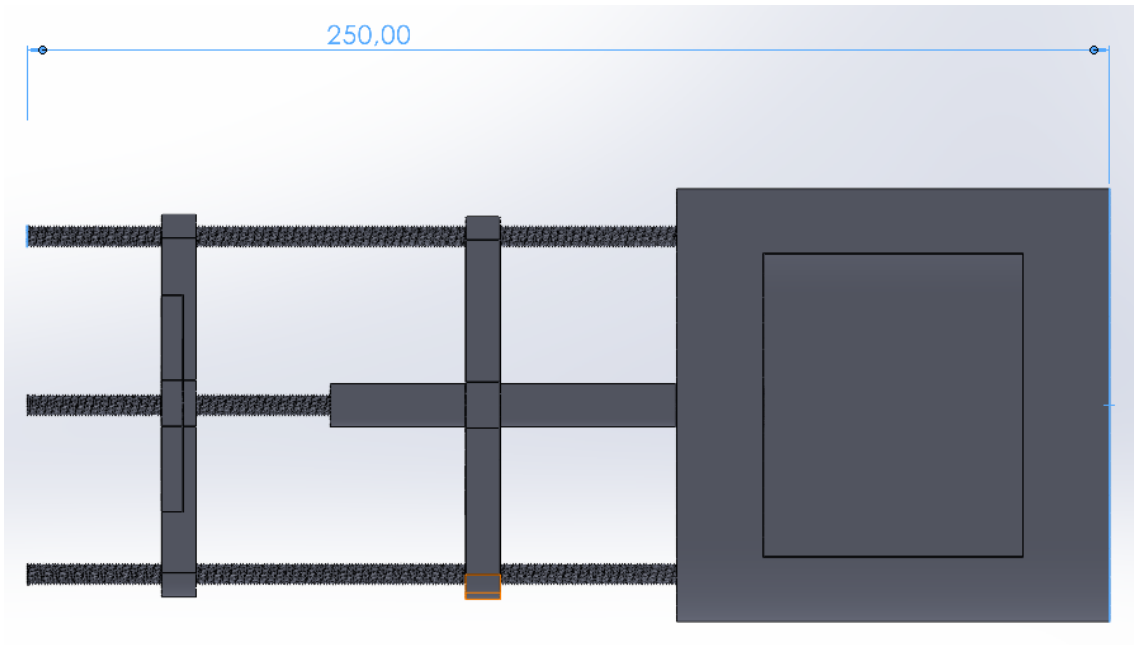
## ANEXO V

### Encajes para los dedos



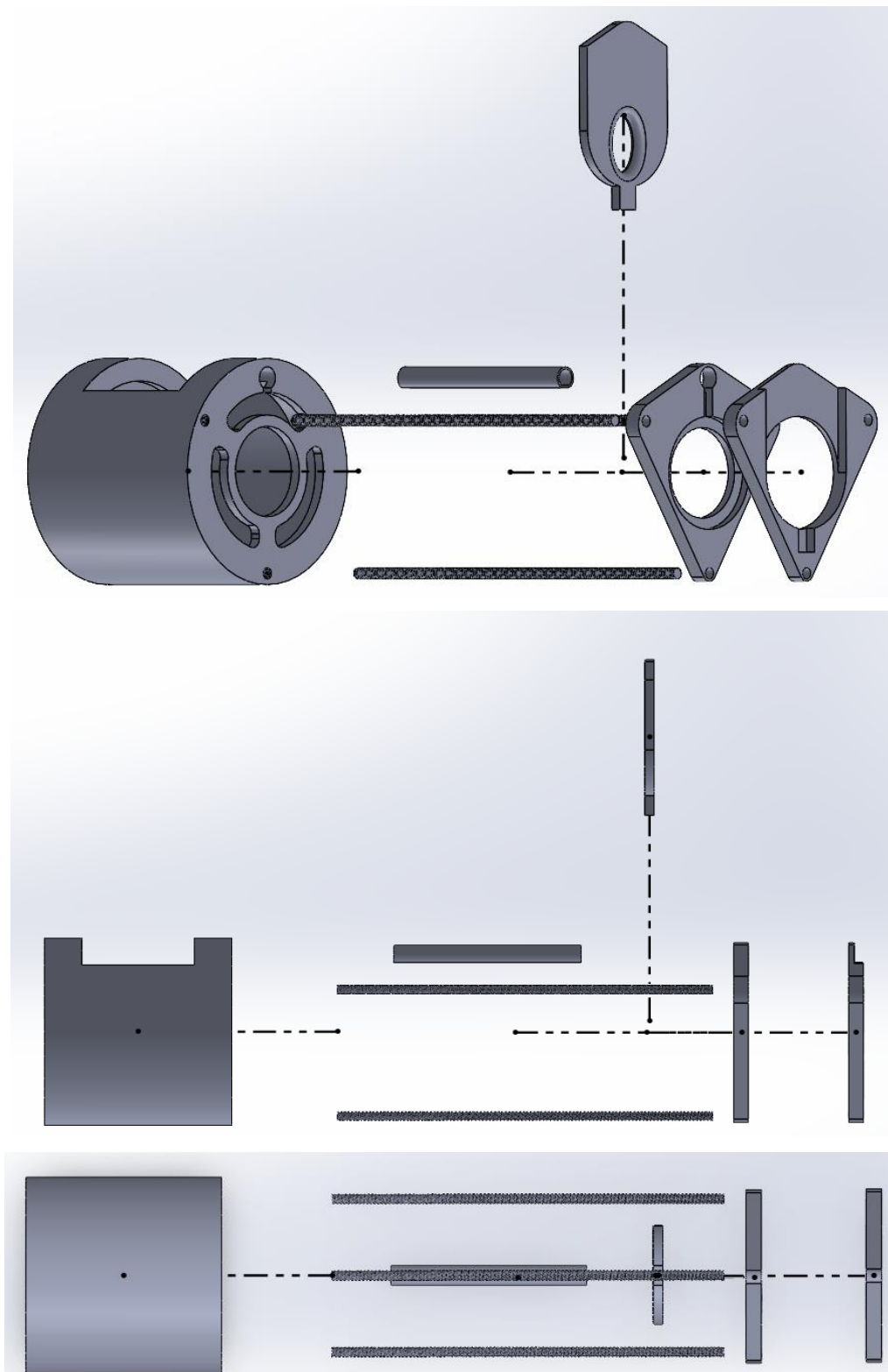
## ANEXO VI

### Vistas Lateral e Isométrico del Ensamblaje prototipo



## ANEXO VII

### Vistas Expandidas Laterales e Isométrica del Ensamblaje prototipo



## ANEXO VIII

### Script Prototipo para el funcionamiento del ciclo de LED según activación por botón

```
Script_Iluminacion_Sistema_Hibrido.ino
1  #include <FastLED.h>
2
3  #define BUTTON_PIN 21
4  #define LED_PIN 22
5  #define NUM_LEDS 12
6
7  CRGB leds[NUM_LEDS];
8
9  // Variables
10 int lastState = HIGH; // Estado previo
11 int currentState;     // Estado actual
12
13 void setup() {
14   Serial.begin(115200);
15   pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);
16   FastLED.addLeds<WS2812, LED_PIN, GRB>(leds, NUM_LEDS);
17 }
18
19 void loop() {
20   // Leer estado boton
21   currentState = digitalRead(BUTTON_PIN);
22
23   if(lastState == LOW && currentState == HIGH)
24     Serial.println("The state changed from LOW to HIGH");
25   for (int i = 0; i <= 11; i++) {
26     leds[i] = CRGB ( 0, 0, 255);
27     FastLED.show();
28     delay(1);
29   }
30   delay(70); //Intervalo mínimo para tomar una imagen -> 20ms
31   for (int i = 0; i <= 11; i++) {
32     leds[i] = CRGB ( 0, 0, 0);
33     FastLED.show();
34     delay(1);
35   }
36   leds[0] = CRGB(0, 0, 255);
37   FastLED.show();
38   delay(1);
39   leds[1] = CRGB(0, 0, 255);
40   FastLED.show();
41   delay(70); //Intervalo mínimo para tomar una imagen -> 20ms
42   leds[0] = CRGB(0, 0, 0);
43   FastLED.show();
44   delay(1);
45   leds[1] = CRGB(0, 0, 0);
46   FastLED.show();
47   delay(1);
48   leds[2] = CRGB(0, 0, 255);
49   FastLED.show();
50   delay(1);
51   leds[3] = CRGB(0, 0, 255);
52   FastLED.show();
53   delay(70); //Intervalo mínimo para tomar una imagen -> 20ms
54   leds[2] = CRGB(0, 0, 0);
55   FastLED.show();
56   delay(1);
57   leds[3] = CRGB(0, 0, 0);
58   FastLED.show();
59   delay(1);
60   leds[4] = CRGB(0, 0, 255);
61   FastLED.show();
62   delay(1);
63   leds[5] = CRGB(0, 0, 255);
64   FastLED.show();
65   delay(70); //Intervalo mínimo para tomar una imagen -> 20ms
66   leds[4] = CRGB(0, 0, 0);
67   FastLED.show();
68   delay(1);
69   leds[5] = CRGB(0, 0, 0);
70   FastLED.show();
71   delay(1);
72   leds[6] = CRGB(0, 0, 255);
73   FastLED.show();
74   delay(1);
75   leds[7] = CRGB(0, 0, 255);
76   FastLED.show();
77   delay(70); //Intervalo mínimo para tomar una imagen -> 20ms
78   leds[6] = CRGB(0, 0, 0);
79   FastLED.show();
80   delay(1);
81   leds[7] = CRGB(0, 0, 0);
82   FastLED.show();
83   delay(1);
84   leds[8] = CRGB(0, 0, 255);
85   FastLED.show();
86   delay(1);
87   leds[9] = CRGB(0, 0, 255);
88   FastLED.show();
89   delay(70); //Intervalo mínimo para tomar una imagen -> 20ms
90   leds[8] = CRGB(0, 0, 0);
91   FastLED.show();
92   delay(1);
93   leds[9] = CRGB(0, 0, 0);
94   FastLED.show();
95   delay(1);
96   leds[10] = CRGB(0, 0, 255);
97   FastLED.show();
98   delay(1);
99   leds[11] = CRGB(0, 0, 255);
100  FastLED.show();
101  delay(70); //Intervalo mínimo para tomar una imagen -> 20ms
102
103  // Guardar ultimo estado
104  lastState = currentState;
105 }
```

## BIBLIOGRAFÍA

1. Saggese S, Zhao Y, Kalisky T, Avery C, Forster D, Edith Duarte-Vera L, et al. Biometric identification of newborns and infants by non-contact fingerprinting: lessons learned. *Gates Open Res.* 29 de mayo de 2019;3:1477.
2. Jain AK, Arora SS, Cao K, Best-Rowden L, Bhatnagar A. Fingerprint Recognition of Young Children. *IEEE TransInformForensic Secur.* julio de 2017;12(7):1501-14.
3. de M, Legendre M., Naciones Unidas, Convención sobre los Derechos del Niño. Asamblea General. Resolución A/RES/54/263 del 25 de mayo de 2000, Art 7 y 8.
4. España, Ley Orgánica 1/1996, de 15 de enero, de Protección Jurídica del Menor, de modificación parcial del Código Civil y de la Ley de Enjuiciamiento Civil, Boletín Oficial del Estado nº 15, 17 de enero de 1996.
5. España, Ley 19/2015, de 13 de julio, de medidas de reforma administrativa en el ámbito de la Administración de Justicia y del Registro Civil, Boletín Oficial del Estado nº 167, 14 de julio de 2015.
6. Sanz López E, Sánchez Luna M, Rite Gracia S, Benavente Fernández I, Leante Castellanos JL, Pérez Muñuzuri A, et al. Recomendaciones para la identificación inequívoca del recién nacido. *Anales de Pediatría.* octubre de 2017;87(4):235.e1-235.e4.
7. España, Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica, Boletín Oficial del Estado nº 274, 15 de noviembre de 2002.
8. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. REGLAMENTO (UE) 2016/679 de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación d estos datos (Reglamento general de protección de datos, RGPD), Diario Oficial de la Unión Europea L 119, 4 de mayo de 2016. p1-88.
9. Samper MB. Protección de datos personales: Esquemas [Internet]. 1.<sup>a</sup> ed. Dykinson; 2020 [citado 22 de mayo de 2025]. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctv17hm980>
10. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. REGLAMENTO (UE) 2017/45 de 5 de abril de 2017 sobre los productos sanitarios. Diario Oficial de la Unión Europea L 117, 5 de mayo de 2017. p 1-175.
11. Yu Y, Niu Q, Li X, Xue J, Liu W, Lin D. A Review of Fingerprint Sensors: Mechanism, Characteristics, and Applications. *Micromachines.* 14 de junio de 2023;14(6):1253.

12. Chaman S. Revolutions in Infant Fingerprint Recognition —A Survey. En: Gupta D, Goswami RS, Banerjee S, Tanveer M, Pachori RB, editores. Pattern Recognition and Data Analysis with Applications [Internet]. Singapore: Springer Nature Singapore; 2022 [citado 20 de abril de 2025]. p. 1-14. (Lecture Notes in Electrical Engineering; vol. 888). Disponible en: [https://link.springer.com/10.1007/978-981-19-1520-8\\_1](https://link.springer.com/10.1007/978-981-19-1520-8_1)
13. Tiwari S, Singh R, Singh SK, Kilak AS, Alkhayyat A, Vidyarthi A. Biometrics recognition of newborn: a review. Multimed Tools Appl. 12 de febrero de 2024;83(33):80129-59.
14. Bharadwaj S, Bhatt HS, Singh R, Vatsa M, Singh SK. Face recognition for newborns: A preliminary study. En: 2010 Fourth IEEE International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS) [Internet]. Washington, DC, USA: IEEE; 2010 [citado 22 de abril de 2025]. p. 1-6. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5634500/>
15. Tiwari S, Singh SK. Face recognition for newborns. IET Biometrics. diciembre de 2012;1(4):200-8.
16. Tiwari S, Singh A, Kumar Singh S. Intelligent Method for Face Recognition of Infant. IJCA. 30 de agosto de 2012;52(4):36-50.
17. Singh R, Om H. Newborn face recognition using deep convolutional neural network. Multimed Tools Appl. septiembre de 2017;76(18):19005-15.
18. Tiwari S, Singh A, Singh SK. Newborn's ear recognition: Can it be done? En: 2011 International Conference on Image Information Processing [Internet]. Shimla, Himachal Pradesh, India: IEEE; 2011 [citado 22 de abril de 2025]. p. 1-6. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6108944/>
19. Weingaertner D, Bellon ORP, Silva L, Cat M. Newborn's biometric identification: can it be done? In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP 2008); 22-25 de enero de 2008, Funchal, Portugal. Setúbal: INSTICC Press. p 200-205.
20. Jia W, Gui J, Hu RX, Lei YK, Xiao XY. Newborn Footprint Recognition Using Subspace Learning Methods. En: Huang DS, Zhao Z, Bevilacqua V, Figueroa JC, editores. Advanced Intelligent Computing Theories and Applications [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2010 [citado 23 de abril de 2025]. p. 447-53. (Lecture Notes in Computer Science; vol. 6215). Disponible en: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-14922-1\\_55](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-14922-1_55)
21. Jia W, Cai HY, Gui J, Hu RX, Lei YK, Wang XF. Newborn footprint recognition using orientation feature. Neural Comput & Applic. noviembre de 2012;21(8):1855-63.
22. Jia W, Hu RX, Gui J, Lei YK. Newborn Footprint Recognition Using Band-Limited Phase-Only Correlation. En: Zhang D, Sonka M, editores. Medical Biometrics [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2010 [citado 23 de abril de 2025].

- 2025]. p. 83-93. (Hutchison D, Kanade T, Kittler J, Kleinberg JM, Mattern F, Mitchell JC, et al., eds. *Lecture Notes in Computer Science*; vol. 6165). Disponible en: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-13923-9\\_9](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-13923-9_9)
23. Lemes RP, Bellon ORP, Silva L, Jain AK. Biometric recognition of newborns: Identification using palmprints. En: 2011 International Joint Conference on Biometrics (IJCB) [Internet]. Washington, DC, USA: IEEE; 2011 [citado 23 de abril de 2025]. p. 1-6. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6117475/>
24. Uhl A, Wild P. Comparing verification performance of kids and adults for Fingerprint, Palmprint, Hand-geometry and Digitprint biometrics. En: 2009 IEEE 3rd International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems [Internet]. Washington, DC, USA: IEEE; 2009 [citado 23 de abril de 2025]. p. 1-6. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5339069/>
25. Gottschlich C, Hotz T, Lorenz R, Bernhardt S, Hantschel M, Munk A. Modeling the Growth of Fingerprints Improves Matching for Adolescents. *IEEE TransInformForensic Secur.* septiembre de 2011;6(3):1165-9.
26. Jain AK, Cao K, Arora SS. Recognizing infants and toddlers using fingerprints: Increasing the vaccination coverage. En: IEEE International Joint Conference on Biometrics [Internet]. Clearwater, FL, USA: IEEE; 2014 [citado 23 de abril de 2025]. p. 1-8. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6996252/>
27. Jain AK, Arora SS, Best-Rowden L, Cao K, Sudhish PS, Bhatnagar A, et al. Giving Infants an Identity: Fingerprint Sensing and Recognition. En: Proceedings of the Eighth International Conference on Information and Communication Technologies and Development [Internet]. Ann Arbor MI USA: ACM; 2016 [citado 23 de abril de 2025]. p. 1-4. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2909609.2909612>
28. Jain AK, Arora SS, Cao K, Best-Rowden L, Bhatnagar A. Fingerprint Recognition of Young Children. *IEEE TransInformForensic Secur.* julio de 2017;12(7):1501-14.
29. Cao K, Nguyen DL, Tymoszek C, Jain AK. End-to-End Latent Fingerprint Search. *IEEE TransInformForensic Secur.* 2020;15:880-94.
30. Kalisky T, Saggese S, Zhao Y, Johnson D, Azarova M, Duarte-Vera LE, et al. Biometric recognition of newborns and young children for vaccinations and health care: a non-randomized prospective clinical trial. *Sci Rep.* 29 de diciembre de 2022;12(1):22520.
31. Garri MD, Wilson CL. NIST biometrics evaluations and developments [Internet]. 0 ed. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology; 2005 [citado 24 de mayo de 2025] p. NIST IR 7204. Report No.: NIST IR 7204. Disponible en: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir7204.pdf>
32. Azueto-Ríos A. Implementation of an infrared imaging system for vascular detection in the forearm and hand [Internet]. *Revista Mexicana de Ingeniería*



---

Biomédica; 2017 [citado 24 de mayo de 2025]. Disponible en:  
<http://www.rmib.mx/index.php/rmib/article/view/66>

33. Geissbühler D, Bhattacharjee S, Kotwal K, Clivaz G, Marcel S. An Open Source Modular Platform for Contactless Hand Vascular Biometric Experiments [Internet]. arXiv; 2024 [citado 25 de mayo de 2025]. Disponible en:  
<http://arxiv.org/abs/2404.09376>