

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior

GRADO EN INGENIERIA ELECTRONICA Y AUTOMÁTICA
INDUSTRIAL



Trabajo Fin de Grado

Diseño e implementación de un sistema de reconocimiento
biométrico multimodal sobre dispositivo FPGA.

ESCUELA POLITECNICA

Autor: José Ramón Navarro Benavente

Tutor/es: Ignacio Bravo Muñoz

2019

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

**GRADO EN INGENIERIA ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA
INDUSTRIAL**

Trabajo Fin de Grado

Diseño e implementación de un sistema de reconocimiento
biométrico multimodal sobre dispositivo FPGA

Autor: José Ramón Navarro Benavente

Tutor/es: Ignacio Bravo Muñoz

TRIBUNAL:

Presidente: Jesús Ureña Ureña

Vocal 1º: Alfredo Gardel Vicente

Vocal 2º: Ignacio Bravo Muñoz

FECHA:

CALIFICACIÓN:

Agradecimientos

Este trabajo ha supuesto un reto importante, el cual no habría sido posible su finalización sin el apoyo y consejo de muchas personas, que de cierta forma han influido con sus aportaciones. Por ello quiero agradeceréselo a todas ellas:

- A mi tutor Ignacio Bravo Muñoz, por dedicarme parte de su tiempo y el interés mostrado desde la finalización de la asignatura “Diseño Electrónico” a guiarme en este trabajo.
- A mis queridos padres y hermana por creer y confiar en mí más que yo mismo. Ellos han sido la razón por la que inicie la carrera por ello son y serán siempre las personas más importantes de mi vida.
- A Patricia, por darme la oportunidad tan deseada para conocerte y ese ‘sí’ tan extraño, pero a la vez tan especial. Además, gracias a ella estos años de carrera han sido mucho más amenos a su lado, gracias por todo y sobre todo por mostrarme la vida desde otro punto de vista.
- A Daniel de la Fuente, mi tutor en Indra por aportarme conocimientos nuevos y una oportunidad de entrar en el mundo laboral. Igualmente mencionar a mi increíble equipo de Firmware a los cuales solo puedo dedicar palabras de admiración por ser los mejores compañeros posibles.
- A Christian y Sergio, mis dos amigos de la infancia, con ellos he vivido todo tipo de experiencias y han demostrado estar siempre al lado.
- A Adrián Fernández Gómez por aguantarme y ser mi compañero durante los cuatro años de carrera.
- Por último, a toda mi familia, los cuales me han inculcado todos los valores y han aportado algo a mi forma de ser.

A todos vosotros, los mencionados y no mencionados sois, seréis y habéis sido el apoyo necesario para alcanzar este objetivo, de corazón ¡GRACIAS!

Resumen

En el presente trabajo se llevará a cabo la realización de un sistema de reconocimiento biométrico multimodal diseñado e implementado sobre una FPGA con la herramienta de ISE de Xilinx.

El diseño del sistema biométrico ostentará las competencias para el control y gestión del prototipo de sensor biométrico multimodal desarrollado, este tendrá la capacidad de captar las huellas dactilares y los patrones venosos de los dedos. Además, se genera un algoritmo de extracción de patrones venosos con MATLAB, para su posterior implementación en la FPGA dotando al sistema biométrico de una funcionalidad plena.

Palabras Claves

- Biometría
- Sensor biométrico multimodal
- FPGA
- Procesamiento de imágenes
- Algoritmo de extracción del patrón venoso

Abstract

In the present work will be carry out the realization of a multimodal biometric recognition system designed and implemented over one FPGA with the tool of ISE of Xilinx.

The design of the biometric system will have the competences for the control and management of the developed multimodal biometric sensor prototype, which will have the ability to capture fingerprints and venous finger patterns. In addition, an algorithm for the extraction of venous patterns with MATLAB is generated, for later implementation in the FPGA, giving the biometric system full functionality.

Keywords

- Biometry
- Multimodal biometric sensor
- FPGA
- Image processing
- Venous pattern extraction algorithm

Resumen Extendido

El concepto de seguridad desde el inicio de los tiempos hasta la actualidad ha ido unido de la mano de los seres humanos. En la antigüedad la seguridad hacía referencia a la supervivencia ya que existían múltiples peligros que ponían en riesgo la existencia a esta se denomina “seguridad física”. Este concepto ha evolucionado dejando atrás viejas amenazas, ya solventadas, para centrarse en los nuevos peligros. Las nuevas amenazas a las que el ser humano debe de afrontar es la ocultación de la información “seguridad de la información” [1], para ello es necesario un sistema que tenga la capacidad de identificar y validar a los usuarios autorizados a dicha información. Dentro de los sistemas de reconocimiento existe una vertiente, dicha vertiente se introduce en el ámbito de la biometría. La biometría se refiere a la identificación de personas a través de características físicas o conductuales de una persona.

Por ello el trabajo se centra en el desarrollo de un sistema de reconocimiento mediante la combinación de dos modos de identificación biométrica. Por ello dicho trabajo se constituye por diversas fases, en cada de ellas se consiguen diferentes aportaciones que al unirlo conforma un sistema de reconocimiento biométrico multimodal. La primera fase ha residido en la recolección de la información sobre las características de los sistemas de reconocimiento y una idea general de todos los tipos y técnicas biométricas existente hasta la fecha.

Se eligieron dos métodos de reconocimiento, la biometría dactilar y la biometría vascular. Dichas biometrías se encargan en determinar una plantilla digital de las huellas dactilares (surcos y crestas de las yemas de los dedos) y el patrón venoso (sistema circulatorio de los dedos). La selección de estos tipos biométricos se realiza debido a que ambas se encuentran en los dedos de la mano y presenta propiedades que lo hacen una elección adecuada.

Tras conocer y recabar toda la información para llevar a cabo el sistema, comienza la segunda fase en la cual consiste en el desarrollo del sistema de reconocimiento multimodal. Cualquiera de estos sistemas debe contener un sensor biométrico para recoger los datos provenientes de la fisiología humana y un núcleo encargada de procesar e interpretar los datos.

Por ello se decide generar en MATLAB un algoritmo de reconocimiento de patrones vasculares. Este algoritmo consiste en la localización y delimitación de las regiones que contienen las características de la zona fisiológica examinada. Una vez determinadas deben ser extraídas (forma del árbol venoso) y transformadas a una plantilla digital de ‘0’ y ‘1’. En la actualidad existen multitud de técnicas en lo referente a la extracción de patrones venosos [2][3][4][5]. Para tener unos resultados adecuados se ensayan diferentes formas de tratar las imágenes decidiendo aplicar una doble umbralización para determinar las zonas que contienen venas.

Además, es necesario elaborar un prototipo de sensor biométrico multimodal, el cual debe ser capaz de captar las huellas dactilares y los patrones venosos de los dedos. El sensor está formado por un sensor de huella digitales, un sensor de imagen, una fuente

de alimentación y varias PCB, que han sido previamente diseñadas y posteriormente fabricadas.

El centro de operaciones del sistema de reconocimiento biométrico reside en el interior de una FPGA. El diseño de la arquitectura del sistema se realiza a través de la plataforma ISE de XILINX y sus funciones principales se basan en la manipulación, control y configuración del sensor biométrico multimodal a las que han de incluirse la integración de la implementación del algoritmo generado y la validación de ambas plantillas digitales, huellas dactilares y patrón venoso.

Finalizada la segunda fase, el trabajo se adentró en la tercera y última fase, las pruebas al sistema de reconocimiento biométrico. Estas pruebas consistían en verificar todo el funcionamiento de la FPGA a través de la plataforma ISIM de XILINX y ver el grado de operatividad real del sistema de reconocimiento desarrollado.

El funcionamiento de la FPGA fue correcto dándose por buena la implementación del sistema de reconocimiento biométrico. Asimismo, en las pruebas impuestas al conjunto del sensor biométrico multimodal y FPGA, se elaboraron pruebas por separado de ambos métodos de reconocimiento. El método de reconocimiento a través de huellas es infalible mientras que el método de reconocimiento vascular genera un porcentaje del 36% de fallo. El sistema de reconocimiento biométrico multimodal tras ensayar y probar todas sus posibles combinaciones de error se llega a garantizar un alto porcentaje (70%) de funcionamiento correcto, es decir, identifica adecuadamente si el usuario debe ser rechazado o aceptado. Sin embargo, la operatividad del sistema de reconocimiento biométrico multimodal diseñado e implementado no tiene una efectividad del 100% en los reconocimientos, por este motivo debe ser calificado como no funcional.

Índice

1. Introducción.....	- 1 -
1.1 Motivaciones y Antecedentes.....	- 1 -
1.2 Objetivos	- 3 -
1.2.1 Principal	- 3 -
1.2.2 Secundarios	- 3 -
1.3 Arquitectura general del Proyecto.....	- 4 -
1.4 Estructura del Proyecto	- 5 -
2. Estado del arte	- 7 -
2.1 Sistema de reconocimiento: Definición y tipos.....	- 7 -
2.2 Biometría: Definición, historia, tipos y técnicas	- 8 -
2.2.1 Biométrica Estática	- 10 -
2.2.1.1 Biometría dactilar o de dermatoglifos	- 10 -
2.2.1.2 Biometría vascular.....	- 11 -
2.2.1.3 Biometría facial	- 12 -
2.2.1.4 Biometría ocular.....	- 12 -
Iris	- 12 -
Retina	- 13 -
2.2.1.5 Biometría de la geometría de la mano.....	- 13 -
2.2.1.6 Biometría auricular u otograma.....	- 14 -
2.2.1.7 Otros.....	- 15 -
2.2.2 Biometría dinámica	- 15 -
2.2.2.1 Biometría de firma digital o escritura.....	- 15 -
2.2.2.2 Biometría vocal	- 15 -
2.2.2.3 Biometría de la pulsación de teclas	- 16 -
2.2.2.4 Biometría de la cadencia de paso	- 16 -
2.2.2.5 Biometría de los pensamientos (Cerebral)	- 16 -
2.4 FPGA: Definición, arquitectura e historia.....	- 21 -
2.5 Entornos de desarrollo.....	- 23 -
2.5.1 Xilinx ISE.....	- 23 -
2.5.2 Matlab R2018a	- 23 -
2.5.3 Kicad	- 24 -
2.6 Fabricación PCB: Procesos y metodologías.....	- 25 -

2.6.1 Grabado de pistas y huellas de componentes	- 25 -
A) Manual	- 25 -
B) Planchado	- 25 -
C) Insolado	- 25 -
2.6.2 Revelado.....	- 26 -
2.6.3 Atacado	- 26 -
2.6.4 Rematado.....	- 27 -
2.6.5 CNC.....	- 27 -
2.7 Puertos, buses y protocolos de comunicación	- 28 -
3. Algoritmo Esqueletización y Comparación	- 31 -
3.1 Algoritmo Esqueletización.....	- 32 -
3.1.1 Obtención ROI	- 32 -
3.1.2 Extracción del árbol venoso	- 35 -
3.2 Algoritmo reconocimiento	- 39 -
4. Sensor Biométrico Multimodal	- 41 -
4.1 Sensor dactilar.....	- 42 -
4.2 Sensor Vascular.....	- 45 -
4.3 Placa de conexiones	- 49 -
4.4 Placa de alimentación.....	- 51 -
4.5 Indicadores LED	- 52 -
5. Sistema de reconocimiento biométrico	- 53 -
5.1 Tarjeta de desarrollo.....	- 53 -
5.1.1 Spartan3E (FPGA)	- 54 -
5.2 Implementación hardware del sistema de reconocimiento.....	- 55 -
5.2.1 Sistema biométrico.....	- 55 -
5.2.1.1 Estabilizador.....	- 56 -
5.2.1.2 Generador de relojes digitales	- 56 -
5.2.1.3 Interfaz sensor dactilar	- 57 -
5.2.1.4 Interfaz sensor vascular	- 63 -
Interfaz SCCB	- 63 -
Implementación algoritmo esqueletización y comparación	- 67 -
5.2.1.5 Representación	- 69 -
5.3 Conexionado tarjeta de desarrollo con FPGA.....	- 73 -
6.Resultados y pruebas	- 75 -
7. Conclusiones y líneas futuras	- 85 -
7.1 Conclusiones	- 85 -

7.2 Líneas futuras	- 86 -
8. Presupuesto	- 87 -
8.1 Materiales	- 87 -
8.1.1 Coste Hardware	- 87 -
8.1.2 Coste Software	- 87 -
8.2 Mano de Obra.....	- 88 -
8.3 Total	- 88 -
Anexo I: Esquemático y diseño de los fotolitos para las PCB's	- 89 -
Anexo II: Extensión de las simulaciones temporales	- 91 -
Bibliografía	- 95 -

Índice de figuras

Figura 1: Sistema de reconocimiento de diferentes empresas del sector [8]	2
Figura 2: Arquitectura del sistema biométrico multimodal	4
Figura 3: Técnicas del sistema antropométrico "Bertillonage" [9]	8
Figura 4: Portada de la obra "Fingerprint" [9]	9
Figura 5: Ramificación de los diferentes tipos de biometría	10
Figura 6: Caracterización de las peculiaridades de los diferentes métodos de comparación [11]	11
Figura 7: Ejemplos de las diferentes formas de biometría vascular y su plantilla digital	11
Figura 8: Rasgos medibles en la biometría facial	12
Figura 9: Procesamiento y tratamiento para la extracción del iris [12]	13
Figura 10: Patrón venoso de la retina	13
Figura 11: Rasgos medibles y longitudes utilizadas en la geometría de las manos [11]	13
Figura 12: Representación de las técnicas para los otogramas [13]	14
Figura 13: Ubicación y denominación de las peculiaridades medibles en la oreja [13]	14
Figura 14: Tipos de biometría dinámica	16
Figura 15: Arquitecturas de los sensores CCD y CMOS [14]	17
Figura 16: Diagrama de bloques de los modos de funcionamiento de un sistema biométrico	18
Figura 17: Curvas de FAR Y FRR con la intersección en ERR	20
Figura 18: Arquitectura interna de una FPGA con diversas estructuras de CLB	21
Figura 19: Métodos para el grabado de las pistas en una PCB	25
Figura 20: Revelado de la placa de conexiones	26
Figura 21: Atacado de las PCB	26
Figura 22: Procesos de rematado para las PCB	27
Figura 23: Máquina CNC para elaborar PCB	27
Figura 24: Conexión y protocolo de comunicación UART [19]	28
Figura 25: Conexión y protocolo de comunicación del I2C [19]	29
Figura 26: Capturas del dedo con su árbol venoso del dataset de los individuos 45, 50 y 67 [20]	31
Figura 27: Diagrama de bloques para la obtención del ROI	32
Figura 28: Imagen e histograma con referencia del umbral determinado por el método Otsu	33
Figura 29: Diagrama de flujo función 'ROI.m'	33
Figura 30: Resultado de las imágenes proporcionadas por MATLAB tras aplicar el algoritmo	34
Figura 31: Resultado erróneo tras aplicar el algoritmo en MATLAB	34
Figura 32: Máscara 3X3 y 5X5 para aplicar el filtro de la media [23]	35
Figura 33: Técnica de aplicación del filtro de la mediana [23]	35
Figura 34: Función Gaussiana y su homólogo en forma de máscara matricial [23]	36
Figura 35: Resultados de las imágenes al aplicar diferentes filtros	36
Figura 36: Diagrama de flujo 'Comprueba.m'	39
Figura 37: Curvas del FAR y FRR del algoritmo desarrollado	40
Figura 38: Sensor biométrico multimodal	41
Figura 39: Sensor de huellas digitales ZFM-Fingerprint	42
Figura 40: Características de alimentación del sensor ZFM Fingerprint [24]	42
Figura 41: Características eléctricas de las entradas y salidas del sensor ZFM Fingerprint [24]	43
Figura 42: Formato del paquete de datos del sensor ZFM Fingerprint [24]	44
Figura 43: Efecto de una radiación sobre la dermis [25]	45
Figura 44: Gráfica de absorción de los diferentes tipos de hemoglobina [25]	45
Figura 45: Espectro electromagnético	46
Figura 46: Estructura de los diferentes elementos del sensor vascular	46
Figura 47: Esquemático y visualización de la cara TOP de la PCB virtual y la real	47

Figura 48: Sensor de imagen OV7670	47 -
Figura 49: Diagrama de bloques de la arquitectura interna del OV7670 [26]	48 -
Figura 50: Terminales y especificaciones eléctricas del OV7670 [26].....	48 -
Figura 51: Esquemático de la placa de conexiones	49 -
Figura 52: Protección de las líneas serie del interfaz SCCB [27]	50 -
Figura 53: Filtrado de ruido producido por un condensador de desacoplo [28].....	50 -
Figura 54: Caras TOP de la PCB placa de conexiones virtual y real	51 -
Figura 55: Modulo de alimentación MB102 y la disposición de sus componentes.....	51 -
Figura 56: Esquemático y caras TOP de las PCB virtual y real de los indicadores LED	52 -
Figura 57: Placa madre DVK600 con la localización de sus componentes [30].....	53 -
Figura 58: Núcleo de la placa DVK600 con la localización de sus componentes [30].....	53 -
Figura 59: Contenido y características de la SPARTAN 3E [31]	54 -
Figura 60: Arquitectura interna de la SPARTAN-3E y la disposición interna de los SLICES dentro de cada CLB [31].....	54 -
Figura 61: Módulo TOP del sistema biométrico y su arquitectura interna.....	55 -
Figura 62: Simulación temporal del módulo "Estabilizador"	56 -
Figura 63: Simulación temporal del módulo "Generador de relojes digitales"	56 -
Figura 64: Fragmentos de las capturas del osciloscopio módulo "Generador de relojes".....	57 -
Figura 65: Estructura interna del módulo "interfaz sensor dactilar".....	57 -
Figura 66: Flujo de trabajo del módulo "Habilita comandos"	58 -
Figura 67: Comandos del sensor Fingerprint	59 -
Figura 68: Simulación temporal del módulo "TX_UART"	59 -
Figura 69: Fragmento de la línea serie TX y su reloj CLK_BAUDIOS	59 -
Figura 70: Máquina de estados del módulo "TX_UART"	60 -
Figura 71: Simulación temporal del módulo "RX_UART"	61 -
Figura 72: Fragmento de simulación temporal del módulo "RX_UART"	61 -
Figura 73: Máquina de estados del módulo "RX_UART"	62 -
Figura 74: Comandos de configuración sensor de imagen OV7670	63 -
Figura 75: Condición de Start del datasheet y fragmento de la simulación temporal del módulo "Control SCCB"	64 -
Figura 76: Condición de Stop del datasheet y fragmento de la simulación temporal del módulo "Control SCCB"	64 -
Figura 77: Características "Don't Care bits" del datasheet y la simulación temporal del módulo "Control SCCB"	65 -
Figura 78: Ciclo de transmisión del datasheet y su simulación temporal del módulo "Control SCCB"	65 -
Figura 79: Máquina de estados del módulo "Control SCCB"	66 -
Figura 80: Diagrama de bloques del algoritmo de esqueletización y comparación	67 -
Figura 81: Simulación temporal "Captura frame" para buscar el 4 frame.....	67 -
Figura 82: Simulación temporal "Captura frame" para encender los iluminadores LED.....	67 -
Figura 83: Simulación temporal "Captura frame" determinando la región de interés.....	68 -
Figura 84: Simulación temporal del módulo "Filtro homogéneo y conversión"	68 -
Figura 85: Simulación temporal de los módulos "Verificador" e "Interpreta matchescore"	69 -
Figura 86: Diagrama de flujo del módulo "Convertir información"	70 -
Figura 87: Simulación temporal de los módulos "Seleccionador de display" y "Seleccionador de ánodo" ..-	71 -
Figura 88: Resumen de los recursos ocupados en la SPARTAN 3-E	75 -
Figura 89: Captura del osciloscopio de la transmisión TX	76 -
Figura 90: Captura del osciloscopio determinando los tiempos entre CLK_BAUDIOS (azul) y TX (amarillo)..-	76 -
Figura 91: Indicador de fallo ante una huella dactilar no almacenada	77 -
Figura 92: Indicadores de verificación ante un buen enrolamiento	77 -
Figura 93: Pruebas de reconocimiento de diferentes huellas dactilares	77 -
Figura 94: Captura del osciloscopio de las señales SIOC y SIOD	78 -

<i>Figura 95: Captura del osciloscopio de la configuración del sensor de imagen</i>	<i>78 -</i>
<i>Figura 96: Transformación de las imágenes tras concluir la configuración del sensor</i>	<i>79 -</i>
<i>Figura 97: Venas del autor de diferentes dedos recolectadas por el sensor de imagen</i>	<i>79 -</i>
<i>Figura 98: Resultado de las pruebas de reconocimiento vascular</i>	<i>80 -</i>
<i>Figura 99: Intento 2 de la prueba al sistema de reconocimiento biométrico multimodal</i>	<i>81 -</i>
<i>Figura 100: Intento 3 de la prueba realizada al sistema de reconocimiento biométrico multimodal</i>	<i>82 -</i>
<i>Figura 101: Intento 4 de la prueba realizada al sistema de reconocimiento biométrico multimodal</i>	<i>82 -</i>
<i>Figura 102: Resultado de la prueba realizada al usuario 3</i>	<i>83 -</i>
<i>Figura 103: Esquemático de la placa de conexiones, iluminadores NIR e indicadores</i>	<i>89 -</i>
<i>Figura 104: Simulación temporal del módulo "Interfaz Dactilar"</i>	<i>91 -</i>
<i>Figura 105: Simulación temporal del módulo "Interfaz SCCB"</i>	<i>92 -</i>
<i>Figura 106: Simulación temporal del sistema de reconocimiento biométrico multimodal</i>	<i>94 -</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Niveles de los factores de los sistemas biométricos según su tipo</i>	- 19 -
<i>Tabla 2: Ventajas e inconvenientes de los dispositivos ASIC y CPLD frente a las FPGA</i>	- 22 -
<i>Tabla 3: Transformaciones ejecutadas en las imágenes por los comandos</i>	- 37 -
<i>Tabla 4: Procesamiento de la imagen al aplicar algoritmo</i>	- 38 -
<i>Tabla 5: Terminales del sensor ZFM Fingerprint</i>	- 43 -
<i>Tabla 6: Iluminación de los indicadores en función de su modo de operación</i>	- 52 -
<i>Tabla 7: Ponderación por la coincidencia de la línea</i>	- 69 -
<i>Tabla 8: Valores del display</i>	- 71 -
<i>Tabla 9: Trazabilidad pines FPGA-DVK600-SENSOR</i>	- 73 -
<i>Tabla 10: Resultado de la esqueletización de las venas del dedo corazón del autor</i>	- 80 -
<i>Tabla 11: Resultados de las pruebas del sistema biométrico multimodal</i>	- 81 -
<i>Tabla 12: Resultados del sistema biométrico multimodal en diferentes usuarios</i>	- 83 -
<i>Tabla 13: Importes de los componentes hardware</i>	- 87 -
<i>Tabla 14: Importe de las licencias de los IDE</i>	- 87 -
<i>Tabla 15: Importe de la mano de obra</i>	- 88 -
<i>Tabla 16: Importe total del trabajo</i>	- 88 -

Glosario de Acrónimos y Abreviaturas

ANSI: “American National Standards Institute”

ABIS: “Sistema Automatizado de Identificación Biométrica”

FPGA: “Field Programmable Gate Array”

VHDL: Es un acrónimo doble de *VHSIC* “Very High-Speed Integrated Circuit” y

HDL “Hardware Description Language”.

PCB: “Printed Circuit Board”

AC: “Alternating Current”

DC: “Direct Current”

LED: “Light Emission Diode”

NIR: “Near Infra-Red”

IR: “Infra-Red”

UART: “Universal Asynchronous Receiver-Transmitter”

SCCB: “Serial Camera Control Bus”

I2C: “Inter-Integrated Circuit”

I/O: “Input-Output”

ADN: “Ácido Desoxirribonucleico”

CCD: “Charge-Coupled Device”

CMOS: “Complementary Metal Oxide Semiconductor”

FRR: “False Reject Rate”

FAR: “False Accept Rate”

EER: “Equal Error Rate”

CLB: “Configurable Logic Block”

LUT: “Lookup Table”

RAM: “Random Access Memory”

CPLD: “Complex Programmable Logic Device”

ASIC: “Application Specific Integrated Circuit”

SoC: “System on Chip”

IDE: “Integrated Development Environment”

ISE: “Integrated Software Environment”

UV: “Ultra-Violet”

CNC: “Computer Numeric Control”

PC: “Personal Computer”

SDA: “Serial Data Line”

SCL: “Serial Clock Line”

ACK: “Acknowledgement”

ROI: “Region of Interest”

DSP: “Digital Signal Processing”

TTL: “Transistor-Transistor Logic”

bps: “baudios per second”

SMD: “Surface-Mount Device”

fps: “frames per second”

ADC: “Analog to Digital Converter”

USB: “Universal Serial Bus”

DCM: “Digital Clock Manager”

LVTTL: “Low Voltage Transistor-Transistor Logic”

LVC MOS: “Low Voltage Complementary Metal Oxide Semiconductor”

CE: “Chip Enable”

1. Introducción

1.1 Motivaciones y Antecedentes

Durante estos últimos siglos se ha observado un fuerte crecimiento en los avances tecnológicos, como consecuencia, la sociedad se encuentra cada vez más vinculada a dichas mejoras tecnológicas. Tradicionalmente todos los trabajos eran realizados por las personas, ya que no se tenían los medios ni los conocimientos necesarios para poder desempeñarlos de una forma autónoma. Actualmente muchos de estos trabajos han ido incorporando sistemas automatizados, debido a que el tiempo empleado es menor y la precisión es bastante mayor, obteniendo unos resultados equivalentes o superiores a las personas [6].

Muchas de las acciones cotidianas de cualquier ser humano pertenecen a la identificación y el reconocimiento. Algunos ejemplos básicos pero familiares para todos podrían ser: una simple conversación telefónica, a través de la tonalidad del interlocutor o una conducta única que describa a la perfección a una persona.

El deseo de automatizarlo todo en colaboración a la habilidad de las personas para identificar a los seres humanos de forma segura, se traslada a la biometría, siendo el punto de partida para el desarrollo de los sistemas de reconocimiento biométrico. Estos sistemas han ido experimentado un auge importante en estas últimas décadas [7]. A consecuencia de ello en algunos sectores y campos de aplicación se ha convertido en una necesidad la incorporación de estos sistemas, principalmente en aquellos donde solo puedan acceder los usuarios que estén destinados a consultar la información. Debido al futuro crecimiento y los avances tecnológicos en este campo se podrá incorporar esta tecnología a ámbitos más cotidianos como acceso a los domicilios, vehículos e incluso de manera de identificación universal para cualquier espacio público con el fin de focalizar la seguridad en estos espacios. Además de todo ello se suma que el pasado 8 de marzo de 2019 entró en vigor el “*Decreto-Ley de medidas urgentes de protección social y de lucha contra la precariedad laboral en la jornada de trabajo*”. Tras darse a conocer este decreto trajo consigo una serie de repercusiones, la más influyente en el tema a desarrollar es la de fichar durante la jornada laboral, por ello las empresas se ven en una tesitura complicada porque deberán incorporar o desarrollar algún método para que sus trabajadores queden identificados. Un sistema de reconocimiento biométrico podría ser la solución a estos problemas, aunque son caros y en casos particulares llegando a ser fácilmente vulnerables a los fraudes.

Estos sistemas son vistos cotidianamente en todos los *Smartphones* (teléfonos móviles inteligentes) de media y alta gama. Una de las empresas pioneras en soluciones y sistemas biométricos es DERMALOG Identification Systems GmbH (Alemania). En ella han desarrollado el primer ABIS multimodal que funciona con reconocimiento de iris, huella dactilar, rostro y palmar [8]. Esto la convierte en el primero en desarrollar e implementar este tipo de sistema, ofreciendo una mayor seguridad y fiabilidad. En España hay multitud de empresas dedicadas a este sector como HITACHI o Kimaldi Tecnología,

que suelen desarrollar sistemas con un solo método identificativo perteneciente a la rama de la biometría.



Figura 1: Sistema de reconocimiento de diferentes empresas del sector [8]

Con estas soluciones que proponen cada una de las empresas del sector, se puede determinar que un sistema de las características que presenta DERMALOG se encarecería en exceso; por otro lado, los ABIS que solo cuentan con un método de identificación son igualmente caros y en ocasiones poco seguros. Se alcanza una posible conclusión de lo que ocurriría si un sistema decrementase su coste implementando dos métodos, posibilitando así más complejidad y un mayor blindaje frente a los fraudes.

Todos los productos que ofrecen las marcas del sector se implementan con un núcleo del tipo microcontrolador. Estos componentes utilizan la forma secuencial cuando comienzan a procesar y ejecutar las instrucciones, que previamente han sido programadas. Por esto mismo, es una desventaja si necesitas paralelizar las ejecuciones para así optimizar y minimizar los tiempos de la ejecución de dichas instrucciones. Gracias a los avances tecnológicos, existen los dispositivos FPGA, estos tienen las características mencionadas, a las cuales han de añadirse el bajo consumo, implementación de un hardware a medida, como el crear un sistema específico para una aplicación determinada, pruebas del diseño rápidas y la flexibilidad de conseguir con un mismo hardware un efecto totalmente diferente. Por lo tanto, al ser integrado como núcleo del ABIS, se obtiene una tecnología novedosa.

1.2 Objetivos

A continuación, se van a describir los objetivos que se persiguen con este trabajo para satisfacer y aportar una visión diferente en cuanto a los sistemas de identificación biométricos existentes hasta la fecha.

1.2.1 Principal

La finalidad específica o primaria del trabajo consiste en el diseño y la implementación de un sistema de reconocimiento capaz de captar a través de un sensor biométrico multimodal (prototipo) y manipular las señales por una FPGA que será el núcleo de todo el sistema. Dentro de esta finalidad se incluyen unos objetivos académicos, que corresponden a la adquisición de conocimientos específicos dentro de la modalidad del diseño electrónico y electrónica digital.

1.2.2 Secundarios

Dentro de estos objetivos se diferencian objetivos personales, en los que se incluyen las capacidades de enfrentarse ante las posibles adversidades y una mayor autonomía en la toma de decisiones, y objetivos del ámbito profesional de una ingeniería, destacando la recogida de información proveniente de los fabricantes de cada componente a utilizar (datasheet), estudio y manejo de programas para el lenguaje de programación en VHDL, creación de algoritmos para determinar patrones biométricos, diseño de placas PCB's, realización de pruebas de validación y la elección de componentes según sus propiedades.

1.3 Arquitectura general del Proyecto

Todo sistema está definido con una estructura llamada arquitectura, dicha arquitectura la conforman cada una de las estructuras internas y sus uniones. Se presenta la distribución del sistema de reconocimiento biométrico:

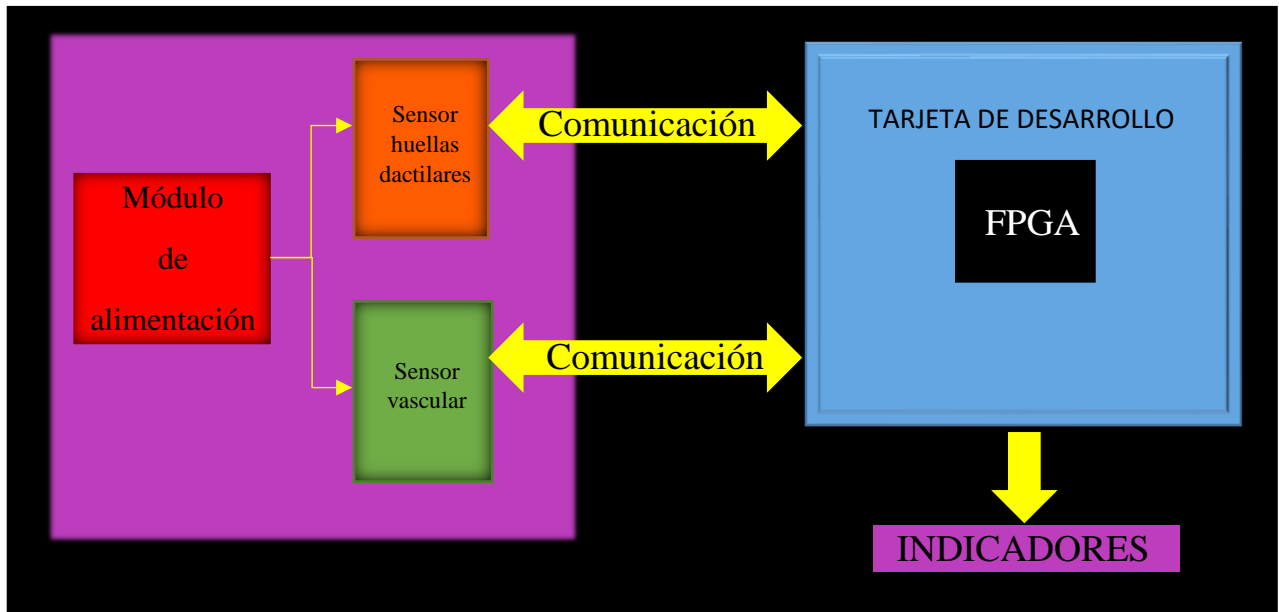


Figura 2: Arquitectura del sistema biométrico multimodal

A continuación, se mencionará cada uno de los elementos que representan la arquitectura del sistema:

- **Módulo de alimentación:** Se trata de un módulo de alimentación para breadboard (MB102). Alimentado con un transformador de AC a DC de 230-12V, proporcionando dos salidas estables e independientes de 3,3V o 5V según sean seleccionadas.
- **Sensor de huellas dactilares:** Es un dispositivo (ZFM FINGERPRINT) encargado de recoger las imágenes procedentes de las huellas dactilares y reportar la información necesaria para que sea interpretada.
- **Sensor vascular:** Es un dispositivo capaz de recoger el árbol venoso de los dedos de la mano a través de una imagen y transmitirla. Dentro de este dispositivo cuenta con los siguientes componentes: una cámara digital (OV7670), un filtro para la cámara de IR y unos LED con la capacidad de iluminar en el espectro NIR.
- **Comunicación:** Dicha comunicaciones enviadas en diferentes protocolos de comunicación corresponden a una UART y un SCCB (versión del I2C) para el sensor de huellas dactilares y el sensor vascular respectivamente.
- **Tarjeta de desarrollo:** Es una placa electrónica que integra multitud de puertos I/O y algunos periféricos, donde se mostraran los resultados, contando como núcleo una FPGA del modelo Spartan3E, dicha tarjeta es denominada DVK600.
- **Indicadores:** Son LED que permiten una visualización de los resultados de manera más sencilla.

1.4 Estructura del Proyecto

En este apartado se dará un planteamiento de lo que va a ser tratado y desarrollado en cada capítulo de este trabajo. La estructura del proyecto será la siguiente:

- Capítulo 1 → Tratará de enseñar de una manera breve una visión general del proyecto, además de incluir un pequeño contexto sobre la situación actual de los sistemas biométricos.
- Capítulo 2 → En la sección se describe toda la información general del trabajo, facilitando así los conocimientos necesarios para una buena comprensión. La información está compuesta por los orígenes, los conceptos y la variedad de los campos que van a ser desarrollados con posterioridad.
- Capítulo 3 → Se explicará todo el desarrollo del algoritmo de reconocimiento (Software) en donde se incluirán los mejores resultados a implementar en el capítulo 5.
- Capítulo 4 → Este apartado se centrará en determinar y detallar todas las características del sensor biométrico multimodal (Hardware).
- Capítulo 5 → Se focalizará en el diseño y la implementación del sistema operativo (Firmware) que se encarga de interactuar con el sensor y gestionar toda la información con la finalidad de representar la respuesta sobre la identificación.
- Capítulo 6 → Proporcionará los resultados de las pruebas impuestas sobre el trabajo realizado.
- Capítulo 7 → Se analizan los resultados y se determinan aquellas características que hacen del sistema una buena elección. Además, se complementa con un listado de las futuras aportaciones del sistema.
- Capítulo 8 → Se proporciona un presupuesto aproximado del trabajo al realizarse en un entorno profesional.

2. Estado del arte

2.1 Sistema de reconocimiento: Definición y tipos

Un sistema de reconocimiento se entiende como un conjunto de elementos o procesos que, al ser relacionados entre sí, racional y ordenadamente, contribuyen a realizar la acción de explorar algo o alguien para obtener una información determinada. La información procedente de estos sistemas será evaluada en dos modos:

- Verificación o autenticación: compara una información con otra de la que queremos saber la identidad, conocidas por búsqueda “1:1”. El sistema confirmará o rechazará la identidad de la información.
- Identificación o reconocimiento: compara la información obtenida con todas las informaciones conocidas que se encuentran en una base de datos para determinar su identidad, se conoce como búsqueda “1: N”.

Estos sistemas necesitan una forma de operar, por ello, los procesos que son realizados para la recolección de dicha información son los siguientes:

- Manuales: son aquellos que requieren la comprobación de la información por una persona que la verifique (Identificarse en una votación o prueba oficial).
- Automáticos: son aquellos que no requieren la intervención humana en el momento de la verificación, solo para el momento de la creación de la plantilla, siendo con posterioridad la comprobación de forma que lo que se verifica en la plantilla guardada en el equipo de control, concuerda con el medio de identificación.

Los medios de identificación pueden ser calificados en:

- “Algo que sepas” [2]: parte abstracta como pueden ser contraseñas, preguntas, claves que solo conozca el usuario.
- ”Algo que se posea” [2]: parte física relacionado a objetos (llaves, tarjetas)
- “Algo que se es” [2]: parte física relacionada con la anatomía humana (biometría).

También existe la opción de hacer una fusión entre ambas consiguiendo un medio mucho más seguro, se suele dar en la tecnología móvil de última generación o en los bancos entre muchos otros.

2.2 Biometría: Definición, historia, tipos y técnicas

La biometría (del griego *bios* “vida” y *metron* “medida”) es un estudio mensurativo estadístico de los fenómenos o procesos biológicos. Otra definición más apta corresponde al estudio para el reconocimiento inequívoco de personas basado en uno o más rasgos conductuales o físicos intrínsecos de las personas.

El concepto de biometría se remonta a la antigua babilonia, donde los reyes firmaban con sus huellas dactilares. Posteriormente sobre el año 640 se utiliza en la cultura occidental (China) que solicitaban la identificación dactilar para formalizar el proceso de divorcio entre parejas.

Un escritor y explorador conocido como Joao de Barros redactó que los comerciantes chinos utilizaban las palmas de las manos de los niños para marcar impresiones y documentos, empleándolo como método de reconocimiento entre los niños.

Alphonse Bertillon, miembro del cuerpo policía parisino, diseñó en el año 1883 un sistema antropométrico (Bertillonage) dando el pistoletazo de salida al estudio en el campo de la biometría. Este sistema se basaba en la medición de forma precisa de ciertas zonas de la cabeza y el cuerpo, incluyendo rasgos más característicos y personales ajenos a la fisiología como son las cicatrices y los tatuajes. Dicho sistema tuvo gran repercusión en 1884 debido a su gran precisión el sistema fue capaz de detectar a 241 criminales, aunque sufriría defectos ya que no existía un estándar a la hora de recolectar la medida. Estos defectos eran el método de obtener la medida de las zonas deseadas y las unidades métricas.

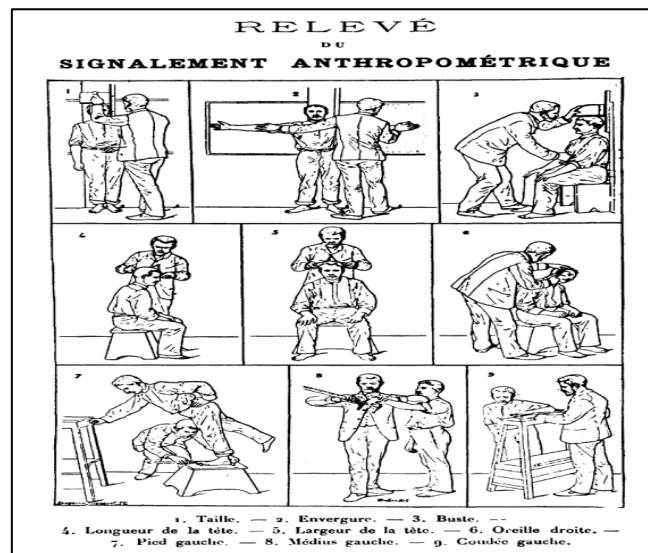


Figura 3: Técnicas del sistema antropométrico “Bertillonage” [9]

Tras los posibles fallos detectados en el sistema Bertillonage, las fuerzas policiales iniciaron el uso de las huellas dactilares como método de identificación como se hacía en la antigua China.

La primera publicación científica data del 1880 en la revista “Nature” siendo escrita por Henry Faulds, médico británico en el hospital Tsukiji (Tokio). Henry Faulds pasó por un suceso desagradable en su puesto de trabajo, tras una pequeña colaboración

con la policía para demostrar la inocencia de compañero de trabajo, en el cual propuso que las huellas dactilares eran únicas, irrepetibles e inalterables de por vida.

En 1892, Francis Galton publicaba su obra *Fingerprints* contemplándose como el sistema de clasificación definitivo, en ella se comentan los 40 rasgos para el uso de las huellas dactilares. La aparición de este método identificativo a través de las huellas digitales conllevando así la eclipsación de la antropometría.

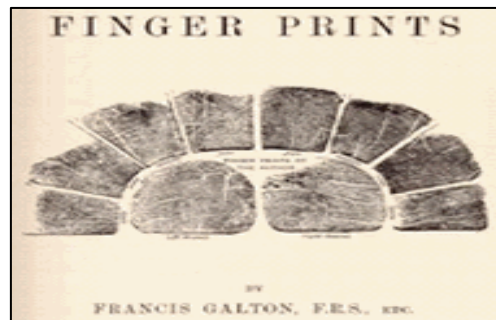


Figura 4: Portada de la obra "Fingerprint" [9]

El Jefe de Policía de Buenos Aires encomendó a un investigador que asentara las bases para realizar un sistema de identificación personal fiable. El investigador llamado Juan Vučetić desarrollo y puso en marcha el primer sistema eficaz de identificación de personas por huellas digitales, que se basaban en la obra mencionada anteriormente. La mejora de Juan fue descomunal llegando a 101 rasgos para clasificarlas después en cuatro grupos. En base a sus métodos, la policía bonaerense inició en 1891, por primera vez en el mundo, el registro dactiloscópico de las personas. En el año 1892 hizo por primera vez la identificación de una asesina, en base a las huellas dejadas por sus dedos ensangrentados. El método fue detalladamente presentado en sus escritos "*Instrucciones Generales para el sistema antropométrico e impresiones digitales, Idea de la identificación antropométrica*" (1894) y "*Dactiloscopía comparada*" presentado en el Segundo Congreso Médico de Buenos Aires (1904) [9].

Otro método de identificación propuesto en 1936 por el oftalmólogo Frank Burch consta en la interpretación de los patrones que forma el iris. En 1985 los doctores Leonard Flom y Aran Safir comenzaron la investigación propuesta por Frank Burch. En 1989 recurrieron a John Daugman para crear algoritmos para el reconocimiento de iris, dichos algoritmos fueron patentados en 1994 y en la actualidad son propiedad de Iridian Technologies, siendo esta la base de todos los productos de reconocimiento de iris [10].

Gracias a toda esta evolución se aprecia que se diversificaron obteniendo una ramificación de este campo, tal y como refleja en el siguiente esquemático:

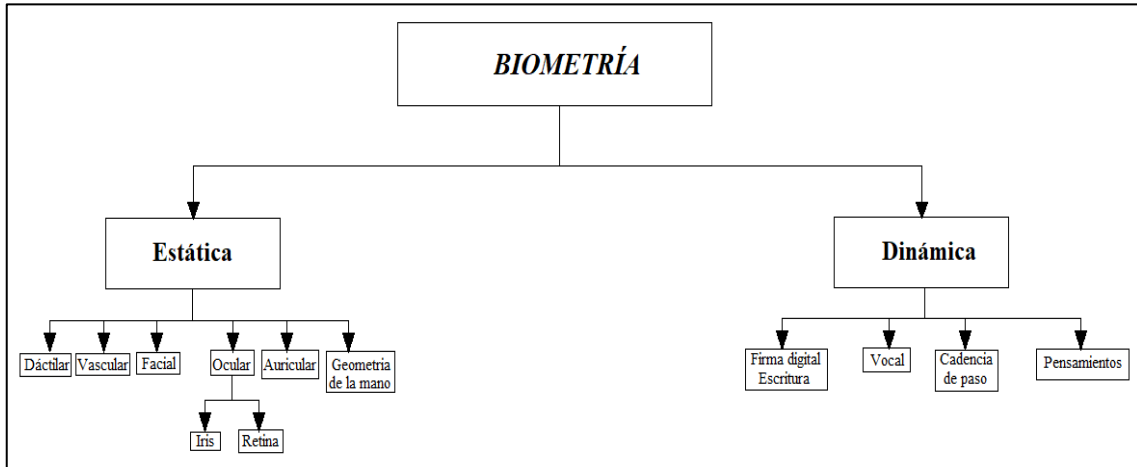


Figura 5: Ramificación de los diferentes tipos de biometría

En cada una de las ramas se han estudiado y experimentado para conseguir novedosas técnicas, permitiendo conseguir patrones únicos. Por ello se profundizará de manera más detallada en los próximos apartados.

2.2.1 Biométrica Estática

Son aquellos métodos que se registran en un instante de tiempo determinado y que su información prevalece constante o muy poco variante con el tiempo.

2.2.1.1 Biometría dactilar o de dermatoglifos

Es el método más utilizado debido a su gran facilidad de obtención y la alta tasa de precisión, que reporta. Consiste en medir el conjunto de surcos y crestas que se distribuyen por las palmas de las manos, los pies y especialmente en la yema de los dedos (dactilar). Las formas que se generan son específicas para cada individuo y permanecen invariables a lo largo de la vida [11].

Existen dos técnicas de búsquedas de coincidencias entre las muestras de las huellas siendo:

- Basadas en minucias [11]: Se centra en la localización de formas cuyo patrón es fácilmente identificable. Una vez localizadas se especifica la posición dentro de la plantilla de la huella, generando la información correspondiente a cada usuario. factores externos se presentan dificultades que complican la generación de la información.
- Basada en correlación [11]: Se basa en examinar la plantilla global de la huella, en vez de centrarse en minucias. Esta técnica requiere mucha precisión, lo cual no se puede conseguir siempre, debido a la orientación cuando es capturada la huella.

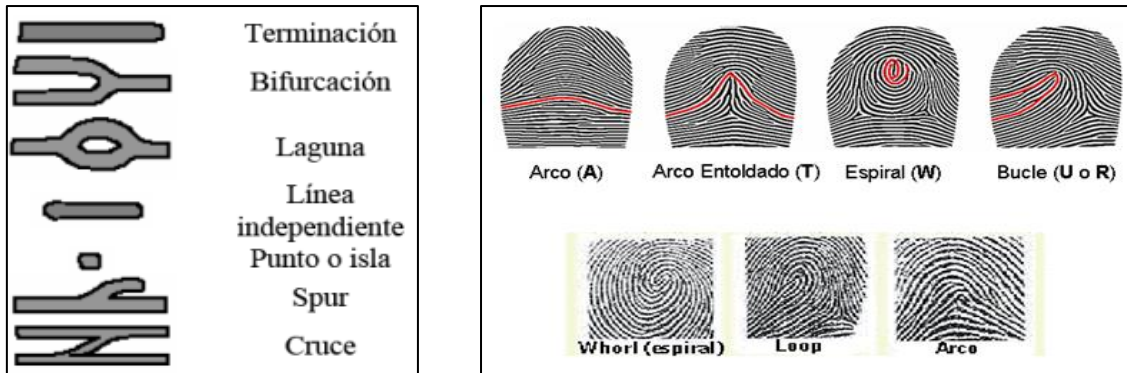


Figura 6: Caracterización de las peculiaridades de los diferentes métodos de comparación [11]

2.2.1.2 Biometría vascular

Se interpreta la geometría del aparato circulatorio de las venas procedentes de la mano, dedos u muñeca. La técnica consiste en procesar los patrones de los arboles venosos para convertirlos en una plantilla numérica de 0 y 1 “binaria”.

La estructura del aparato circulatorio permanece incorporada internamente en la fisiología humana y presenta una forma aleatoria para cada individuo, siendo imposible la suplantación de identidad. Además, se añade que la estructura de los arboles venosos permanecen estables en el tiempo.

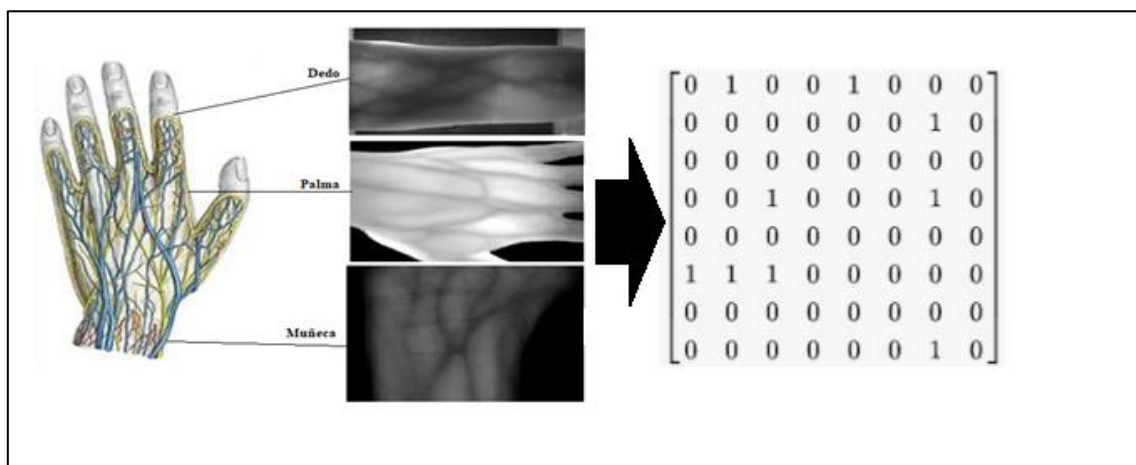


Figura 7: Ejemplos de las diferentes formas de biometría vascular y su plantilla digital

2.2.1.3 Biometría facial

Otro método bastante estandarizado es el reconocimiento facial. Se basa en medición de las facciones de la cara o el rostro para poder determinar los patrones que caracterizan a cada individuo. Las mediciones más usadas en este tipo de biometría se basan en las distancias entre ojos, ojo-nariz, longitud de la nariz o boca, inclinación de la mandíbula. Esta información de las diferentes medidas se guarda, creando así una base de medidas únicas para cada usuario. Existen problemas con el reconocimiento facial ya que si algún objeto oculta u en su defecto crece el vello en el rostro siendo de gran dificultad realizar las medidas para que el usuario sea reconocido adecuadamente.

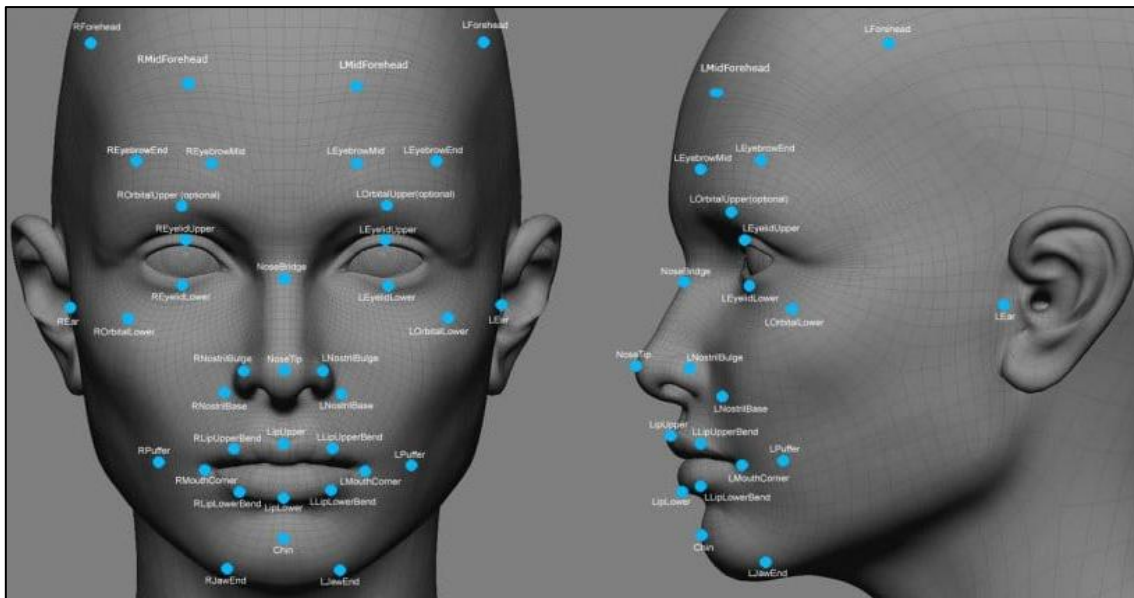


Figura 8: Rasgos medibles en la biometría facial

2.2.1.4 Biometría ocular

El ojo o globo ocular es el órgano con la capacidad de recibir la luz y enviar las señales eléctricas al cerebro, siendo así el sentido de la vista. Dentro del globo ocular nos encontramos con una estructura amplia y compleja. La pared del ojo se forma de tres capas (externa, media e interna). En este tipo de biometría se adquiere la información del iris (capa media) o de la retina (capa interna).

Iris

El iris es la membrana coloreada que se aprecia en el globo ocular. Tiene una longitud determinada y la región a medir puede variar en función de la luz incidente, debido a la pupila.

Se basa en aislar toda la región coloreada del resto del globo ocular para una modificación de coordenadas polares a rectangulares [12]. El resultado de dichas transformaciones proporciona un patrón único y con mucha información, muy resistente al fraude. Esta plantilla puede convertirse en una secuencia de números.

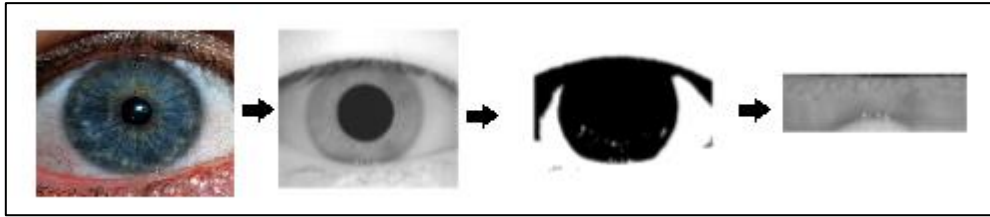


Figura 9:Procesamiento y tratamiento para la extracción del iris [12]

Retina

La retina es el tejido sensible a la luz que se sitúa en la parte interior del ojo. En este caso la información se encuentra en el patrón venoso del tejido. El estudio es semejante a la biometría vascular y suele ser implementada en entornos de alta seguridad.



Figura 10:Patrón venoso de la retina

2.2.1.5 Biometría de la geometría de la mano

Se centra en la interpretación de la geometría de su mano, es similar al reconocimiento facial, pero en este caso las características son extraídas de la distancia entre dedos y articulaciones, longitudes, curvaturas y anchuras de los dedos. Otro tipo de características que suelen ser recogidas son la altura y en ancho del dorso de la palma de la mano [11]. Estas características pueden verse afectadas por lesiones, es decir, una inflamación por luxación en alguno de los dedos podría diagnosticarse como usuario no reconocido.

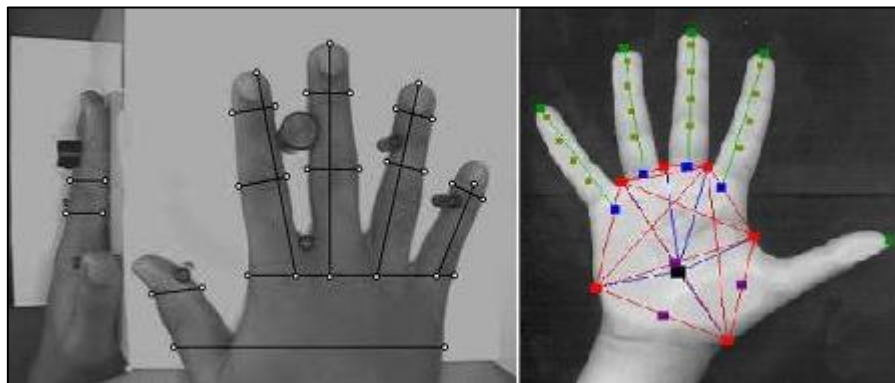


Figura 11:Rasgos medibles y longitudes utilizadas en la geometría de las manos [11]

2.2.1.6 Biometría auricular u otograma

Suele ser un campo bastante extraño de encontrar. Su estudio se focaliza a sacar las características del pabellón auditivo, ya que proporciona un gran valor informativo acerca del usuario. Las técnicas que se utilizan son:

- De lado a lado [13]: Se basa principalmente en una comparación directa, posicionando una muestra paralelamente a la otra para identificar las diferencias y semejanzas entre ellas.
- Disección [13]: Se divide la muestra en cuatro partes iguales para intercambiar las partes, consiguiendo así una visualización de las líneas que conforman las orejas, obteniendo las discontinuidades y coincidencias.

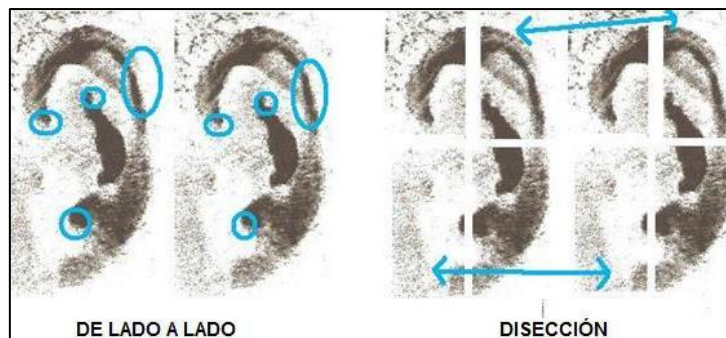


Figura 12: Representación de las técnicas para los otogramas [13]

- Transparencia [13]: Se trata de la superposición entre las imágenes obteniendo las semejanzas directas para verificar y proporcionar un resultado.

Las formas del pabellón auditivo que son examinadas se muestran en la imagen inferior donde el color amarillo representa el tubérculo de Darwin, el color azul claro la bifurcación, el color morado la cresta, el color rosa es el fragmento, el color verde es la concavidad, el color rojo la interrupción, el color azul oscuro el istmo y por último el color naranja que representa el valle.

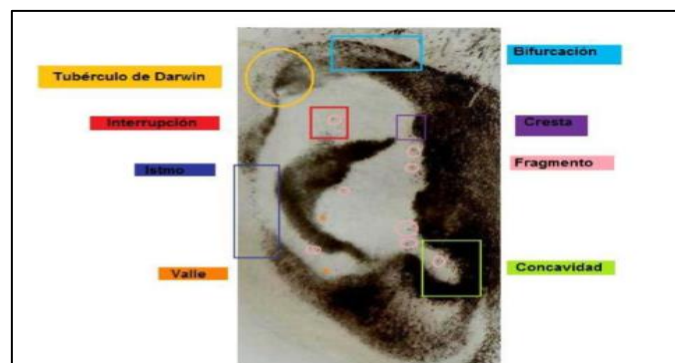


Figura 13: Ubicación y denominación de las peculiaridades medibles en la oreja [13]

2.2.1.7 Otros

Además de todos campos que hemos mencionado con anterioridad existen otros frentes que están abiertos a la investigación para obtener una información única que permita identificar a cualquier persona. Unos pocos de estos frentes se pueden encontrar en las líneas de la palma de la mano, ADN, textura de superficie dérmica, olor corporal y lengua.

2.2.2 Biometría dinámica

Son aquellos métodos que se registran durante un breve periodo de tiempo y su información puede variar ya que principalmente la información viene de habilidades motoras. Las habilidades motoras no pueden imitarse a la perfección, algunas de ellas son controladas por el subconsciente ejecutándose de forma automática e involuntaria, es decir, suelen ser únicas e irrepetibles entre individuos. A continuación, se describirán algunas de las ramas:

2.2.2.1 Biometría de firma digital o escritura

Este tipo se centra en la forma de los grafos que los usuarios han de plasmar sobre algún tipo de superficie electrónica. Se pueden encontrar dos métodos de comparación:

- Comparación simple [11]: Compara el nivel de parecido entre el grafo de la base de datos y el que está siendo verificado. Si el nivel que proporciona dicha comparación sobrepasa o iguala un umbral reportara un resultado positivo.
- Verificación dinámica [11]: Es el método más complicado y a su vez el que mejores resultados plasma. Su funcionamiento está basado en considerar los parámetros como la velocidad de la escritura, la presión ejercida, el tiempo empleado, el grado de inclinación y en un segundo plano la forma del grafo.

2.2.2.2 Biometría vocal

Es uno de los tipos más complicado de interpretar los datos recolectados. El sistema vocal es complejo ya que interactúan muchos músculos y articulaciones. Algunos de ellos son la mandíbula, lengua, laringe, faringe, fosas nasales y cuerdas vocales. Las vibraciones que se emiten por todo el sistema deben ser procesadas midiendo la longitud, amplitud y frecuencia del tono proveniente de la muestra de voz. Para ello se usa la inteligencia artificial (redes neuronales) capaz de amoldarse frente a las adversidades como pueden ser el ruido de fondo.

No suele ser un buen método de reconocimiento ya que al depender de muchos factores puede no tener las peculiaridades que se buscan en el individuo.

2.2.2.3 Biometría de la pulsación de teclas

Tiene un principio de funcionamiento bastante similar a la biometría de la firma digital ya que las características son la fuerza de presión en las teclas, la velocidad de tecleo, la duración de pulsación en cada tecla y el tiempo de desplazamiento entre teclas. Al medirse todas ellas pueden compararse con una base de datos en la que se recojan todas ellas, para verificar así una identidad.

2.2.2.4 Biometría de la cadencia de paso

Se centra en la forma de movilizarse de cada individuo, la información que se observa para la identificación consiste en la longitud de la zancada, ángulo de la rodilla, zonas de presión de la planta del pie (pronador o supinador), frecuencia de cada zancada y trayectorias. Estas peculiaridades han sido más desarrolladas en campos de la biomedicina, para la realización de prótesis, o en deportes de alto rendimiento, para lograr mejores resultados.

2.2.2.5 Biometría de los pensamientos (Cerebral)

Las personas cuando elaboran un pensamiento son capaces de generar unos biopotenciales (señales eléctricas) debido a unos cambios electroquímicos producidos en las neuronas. Estas pueden ser recolectadas a través de electrodos que se colocan en la superficie dérmica. Los puntos de información relevantes de estas señales que llevadas a análisis son los picos de amplitud, la amplitud media y el tiempo de duración de los pensamientos. Nuevamente al igual que en casos posteriores este campo está más enfocado a la biomedicina, para reconocer patologías precozmente y atender a los pacientes con las terapias que se consideren oportunas.



Figura 14: Tipos de biometría dinámica

2.3 Sistemas de reconocimiento biométrico

Estos sistemas se pueden definir como el conjunto de procesos que relacionados entre sí son capaces de medir una característica o conducta proveniente de la fisiología humana.

Para conseguir los tipos de sistemas que se mencionan, se debe de tener en cuenta que principalmente están compuestos por dos partes que son esenciales para alcanzar la funcionalidad total y completa. La parte física (Hardware) conocida como sensor, dispositivo capaz de convertir cualquier magnitud física o química en señales eléctricas. En la actualidad existen multitud de sensores, exponiéndose algunos de ellos:

- Sensores ópticos o de imagen: Son los más utilizados e incorporados en estos tipos de sistemas. Los sensores ópticos son capaces de recoger la luz que ha sido reflejada o emitida transformándola en señales eléctricas. En los sistemas biométricos interesan los sensores ópticos de imagen, que tienen la misma funcionalidad, pero las señales eléctricas conforman una imagen digital. En el mercado actual, se pueden encontrar dos tipos denominados CCD o CMOS.
 - CCD: Es un circuito integrado que contiene una multitud de condensadores enlazados o acoplados en forma matricial.
 - CMOS: Es un circuito integrado que contiene una multitud de transistores dobles, para constituir un fotodiodo, en forma matricial.

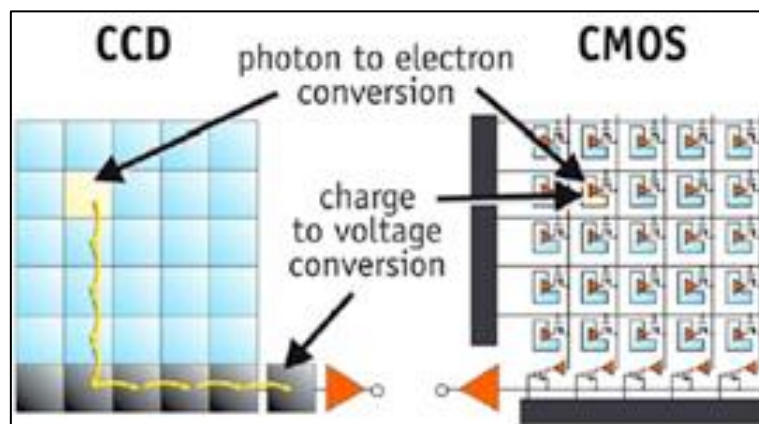


Figura 15: Arquitecturas de los sensores CCD y CMOS [14]

Cada uno de los elementos que conforman la matriz son los denominados píxeles, a mayor cantidad de celdas o píxeles, se tiene mejor resolución

Determinados ambos se proceden a determinar las principales diferencias permitiendo así conocer las ventajas e inconvenientes de cada uno. Los CMOS tratan cada píxel de forma individual, se logra una menor circuitería, mientras que los CCD van trasladando la carga entre los condensadores que conforman al sensor. Al tener una menor circuitería conlleva una reducción en el coste. Los CMOS presenta una mejor respuesta a la baja iluminación, por la amplificación que sufren en la propia celda, que los CCD. Gracias a los avances la balanza se decanta a favor de los CMOS ya que han ido evolucionando y mejorando [14].

- Sensores capacitivos: Otro tipo de sensor bastante utilizado, expandiéndose en mayor medida sobre las pantallas táctiles. El principio de funcionamiento se basa en los cambios de nivel, producido en los condensadores, tras una aproximación a su superficie activa. Principalmente son utilizados en sistemas biométricos de tipo dactilar o firma digital.
- Sensores piezoeléctricos: Estos sensores tienen una menor presencia en estos sistemas, usuales en sistemas de reconocimiento de voz. Son sensibles a la vibración que producen las ondas acústicas convirtiéndolas en pulsos eléctricos de mayor o menor amplitud en función de la perturbación producida en la membrana receptora.

Mientras que la otra parte conocida como sistema operativo (Software) es la formada por un subconjunto de fases o procesos intermedios siendo la recolección de las señales proporcionadas por los sensores, el tratamiento de las señales, la extracción de las características o peculiaridades. Por último, se resolverá si terminan almacenándose o verificándose las características.

A continuación, se presenta un diagrama de bloques para tener un mejor concepto de los posibles modos de funcionamiento de estos sistemas operativos.

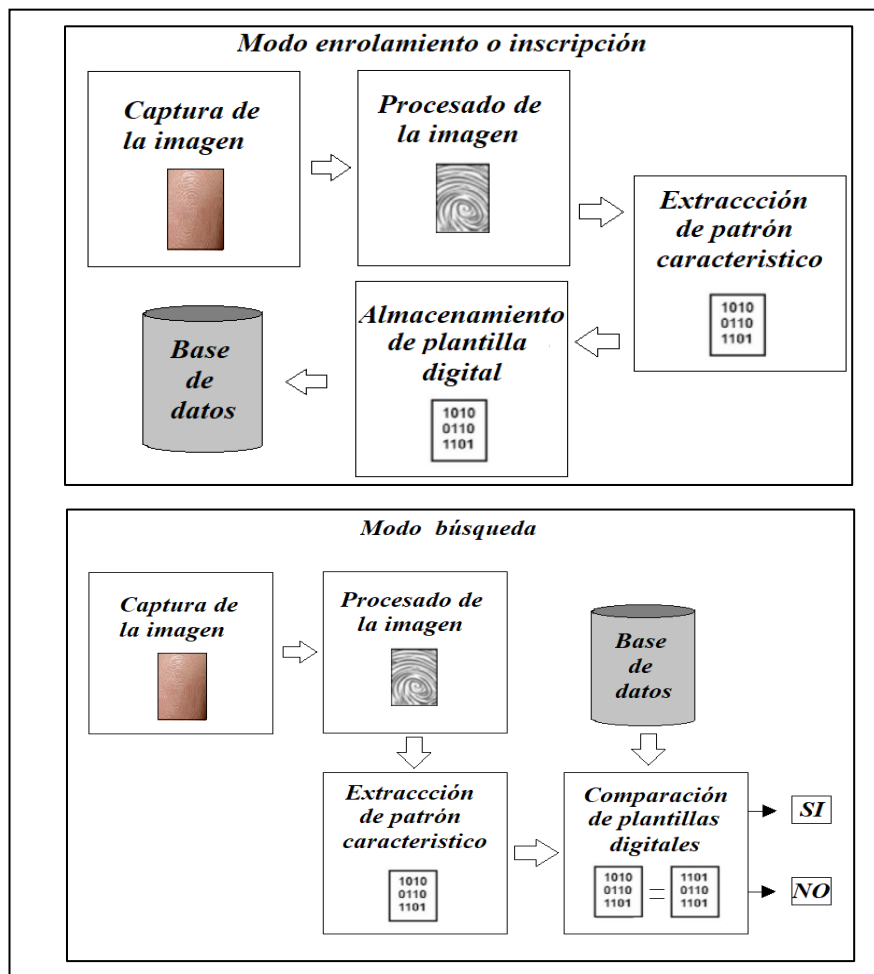


Figura 16: Diagrama de bloques de los modos de funcionamiento de un sistema biométrico

Los factores que deben cumplir los sistemas biométricos son [15]:

- **Universalidad:** Cualidad que es válida para todos los sujetos. Este factor debe intentar ser lo más alto posible.
- **Singularidad:** Cualidad de que es único, es decir, que las muestras a comparar solo tengan una coincidencia posible.
- **Estabilidad:** Cualidad para que las muestras permanezcan invariantes con el tiempo. En algunos casos es difícil de conseguir este factor.
- **Facilidad y confortabilidad:** Este factor solo influye sobre la parte hardware, debe intentar ser lo más cómodo y accesible cuando se vaya a realizar una medida.
- **Coste:** Suele ser un parámetro fundamental para los consumidores por ello hay que buscar la manera de abaratar lo máximo posible.
- **Aceptación:** Al igual que el factor anterior va destinado a los usuarios, por ello se busca el beneplácito o la aceptación de estos.
- **Fiabilidad frente al fraude:** Cualidad del correcto funcionamiento del dispositivo en su acción por identificar.

Los factores mencionados anteriormente en combinación con las diferentes ramas dentro del campo biométrico permiten una visión más sencilla para saber el sistema a implementar. Dicha información se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 1: Niveles de los factores de los sistemas biométricos según su tipo

Clases	Característica						
	Universalidad	Singularidad	Estabilidad	Facilidad de uso	Coste	Aceptación	Fiabilidad al fraude
Huella Dactilar	Muy Alta	Alta-Media	Alta-Media	Muy Alta	Bajo	Muy Alta	Alta-Media
Vascular	Muy Alta	Alta-Media	Muy Alta	Alta	Alto-Medio	Alta	Muy Alta
Facial	Muy Alta	Alta	Media	Muy Alta	Medio	Muy Alta	Alta-Media
Ocular (Iris)	Alta	Alta-Media	Alta-Media	Alta	Muy Alto	Media	Muy Alta
Ocular (Retina)	Alta	Alta	Alta-Media	Muy Baja	Alto	Muy Baja	Muy Alta
Geometría mano	Media	Alta	Media-Baja	Media	Bajo	Media	Alta
Auricular	Muy Alta	Alta	Alta-Media	Muy Baja	Alto	Baja	Alta
Firma o escritura	Baja	Media	Media-Baja	Muy Alta	Alto	Muy Alta	Media
Voz	Media	Media	Media	Muy Alta	Muy Alto	Alta	Alta
Cadencia de paso	Muy Baja	Media	Media	Muy Alta	Muy Alto	Baja	Media

El factor de singularidad es bastante complicado ya que en la actualidad no existen igualdad entre imágenes. Esto se debe a que los sensores ópticos (cámaras digitales) pueden captar de forma diferente la luz obteniendo así otra imagen totalmente diferente en un corto espacio de tiempo. Por ello para intentar corregir estos problemas se deben indicar los parámetros de medidas y las curvas que puede presentar cualquier tipo de sistema biométrico [16].

- Tasas de falsos negativos (FRR): Indica la proporción en % en los que un usuario que debe ser aceptado termina siendo rechazado.
- Tasas de falsos positivos (FAR): Indica la proporción en % de los usuarios que en un principio tienen que ser rechazados y acaban siendo aceptados. Por lo tanto, este parámetro nos da a conocer lo que puede fallar dicho dispositivo.
- Tasa de igual error (EER): Indica el punto donde el FRR y el FAR se cruzan con la misma probabilidad. Dependiendo de cómo se desea modificar el funcionamiento del sistema se disminuye el FRR o el FAR.

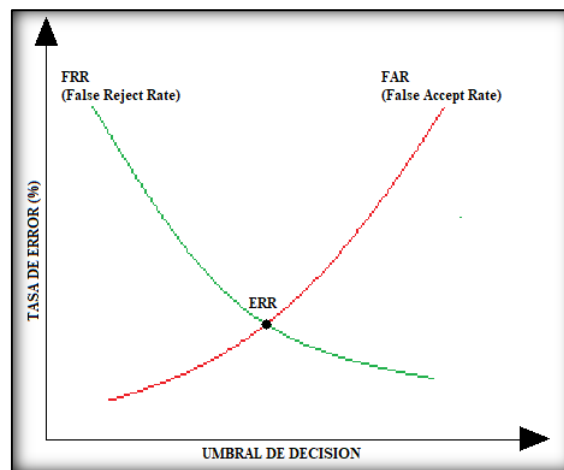


Figura 17: Curvas de FAR Y FRR con la intersección en ERR

La gráfica muestra la variación de los parámetros de un sistema biométrico. Si se quiere interpretar se debe saber que el porcentaje de tasa de error debe ser siempre la menor posible teniendo en consideración los posibles efectos que producirá en el sistema. Si el FRR es alto indica una seguridad muy alta sobre el sistema, es decir, si el sistema no está ajustado adecuadamente se puede rechazar a un usuario cuando en condiciones normales debe ser identificado. Por el contrario, si el sistema indica un FAR muy alto, determina una seguridad mínima y cualquier usuario acaba siendo aceptado. El punto de equilibrio suele encontrarse en el ERR marcada en el cruce entre ambas tasas de error. Estos parámetros se encuentran en cualquier sistema biométrico y son fundamentales para la elección del producto. En entornos denominados altamente seguros se buscarán equipos con alto FRR como controles de accesos por retina, vasculares o faciales, para entornos denominados de uso cotidiano el sistema debe presentar un alto FAR para que los usuarios no se quejen en exceso.

2.4 FPGA: Definición, arquitectura e historia

Una FPGA es un dispositivo reprogramable que contiene bloques de lógica configurable “CLB” dispuesto en forma matricial y en su periferia multitud de puertos I/O.

Los CLB constituye una célula básica de FPGA, compuesto por tablas de valores de 16 bits y 8 bits “LUT’s” (F, G y H), controles de enrutamiento reprogramables (multiplexores) y dos registros (flip-flop tipo D). Los CLB tienen entradas en cada lado, y esta posibilita una mayor maleabilidad para el mapeo de la lógica.

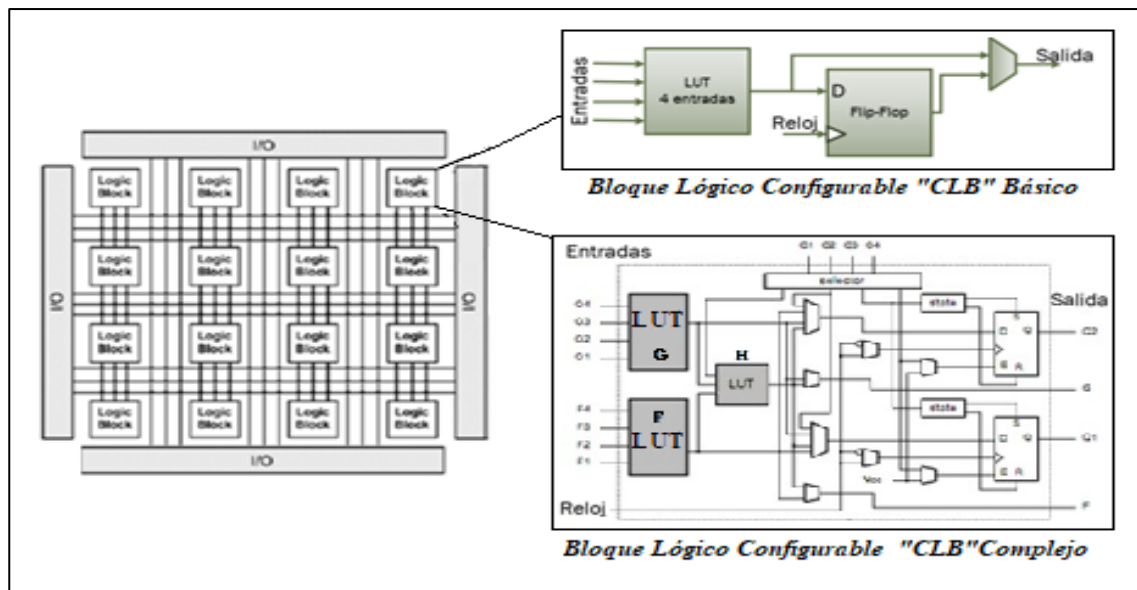


Figura 18:Arquitectura interna de una FPGA con diversas estructuras de CLB

En una gran mayoría de FPGA se pueden encontrar distribuidos uniformemente bloques de memoria “RAM”. En la programación del dispositivo, se pueden organizar las interconexiones entre los diferentes bloques e I/O, poseyendo la capacidad de implementar desde una función básica (OR, AND, NOT) hasta un sistema de alto grado de complejidad. Para la programación de las FPGA se utilizan lenguajes de programación especializados denominados HDL, los más utilizados son VHDL, VERILOG [17].

En el año 1984 los dispositivos conocidos como FPGA son desarrollados por dos cofundadores de Xilinx, llamados Ross Freeman y Bernard Vonderschmitt. Las FPGA son una evolución de los CPLD. Asimismo, se tiene que añadir que existe otro tipo de tecnología que ayudo a la creación de las FPGA, son las conocidas ASIC. La convergencia de estos dos tipos posibilito el camino hacia el desarrollo de las FPGA.

Entre los diferentes dispositivos descritos existen muchas ventajas e inconvenientes respecto a las FPGA, por ello en la siguiente tabla se muestran las principales diferencias entre las tecnologías mencionadas [18]:

Tabla 2: Ventajas e inconvenientes de los dispositivos ASIC y CPLD frente a las FPGA

Dispositivos	Ventajas	Inconvenientes
ASIC	<p>Son más rápidas</p> <p>Consumen menos potencia</p> <p>Los sistemas pueden tener un mayor nivel de complejidad</p>	<p>No son reprogramables</p> <p>El precio es más costoso</p> <p>Los tiempos de diseño y manufacturación son mayores</p>
CPLD	<p>Ninguna puesto que es el origen de la FPGA</p>	<p>Menor densidad de elementos lógicos en su implementación (hasta decenas frente a los millones de la FPGA)</p> <p>Arquitectura más rígida y con menor flexibilidad para los diseños</p> <p>No contiene bloques de memoria y otros bloques lógicos (sumadores y multiplicadores)</p>

Las principales compañías encargadas de la comercialización y producción de las FPGA son Xilinx y Intel (Altera). Otras compañías se encargan de mejorar el sector de las FPGA siendo las que preceden: Lattice Semiconductor, Microsemi, QuickLogic, Achronix Semiconductor, MathStar Inc y Tabula.

En la actualidad existe una rama conocida como SoC, estos dispositivos integran microprocesadores tanto embebidos en la FPGA (Virtex-4 de Xilinx) como integrados en las tarjetas de desarrollo que contienen los microprocesadores y la FPGA (MicroBlaze de Xilinx). Estos sistemas híbridos se van abriendo terreno en el campo tecnología ya que permiten implementar complejos sistemas tanto de Hardware como de Software.

2.5 Entornos de desarrollo

El concepto de entorno de desarrollo se puede asumir como el conjunto de procedimientos, herramientas y plantillas que se utilizan para llevar a cabo el desarrollo de un código fuente, diseño o infraestructura. Son conocidos por IDE que es la herramienta de desarrollo de software. En este trabajo se utilizarán varios IDE para poder ejecutar todos los ficheros que garanticen una progresión rápida y sencilla.

2.5.1 Xilinx ISE

La herramienta de software XILINX-ISE (versión 14.7) permite diseñar, sintetizar e implementar circuitos digitales.

- ISE es el entorno focalizado en diseñar la estructura interior de las FPGA, que son fabricadas específicamente por XILINX.
- ISIM o el simulador lógico denominado ModelSim permite visualizar simulaciones del diseño para verificar los resultados. Existen dos tipos de simulaciones: funcional y temporal.
 - Funcional: En este tipo de simulación se puede observar el funcionamiento completo de la traducción del lenguaje específico que ha sido plasmado en el código.
 - Temporal: Una vez verificada la simulación funcional se debe comprobar que, al implementarse el diseño con las restricciones impuestas por las limitaciones y características de la FPGA, se visualiza el funcionamiento real del diseño. Si estas simulaciones tienen unos resultados satisfactorios indican una alta probabilidad de que funcione en la FPGA.

Este entorno creado por la compañía XILINX ha quedado en desuso debido a la evolución de la plataforma, en la actualidad es conocida por Vivado. Vivado contiene la misma funcionalidad que su predecesor, pero incluye muchas más herramientas proporcionando así una estructura más compleja y completa de este entorno.

2.5.2 Matlab R2108a

MATLAB (“*MATrix LABORatory*”) es un sistema de cómputo numérico que ofrece un IDE con un lenguaje de programación propio (lenguaje M).

Entre sus prestaciones básicas se hallan la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones: Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las

cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los *paquetes de bloques (blocksets)*.

2.5.3 Kicad

Kicad es un paquete de software opensource (libre uso), permite el diseño de esquemas electrónicos para posteriormente convertirlo en PCB`s. En el año 1992, Jean-Pierre Charras diseño y programo el entorno original. A medida que ha transcurrido el tiempo ha ganado multitud de colaboraciones, que han añadido funcionalidad y librerías de componentes y sus respectivas footprints (huellas). El principal colaborador CERN intentara dar un mayor soporte en el futuro a través de donaciones. La versión utilizada es 5.1.0.

La plataforma esta seccionada en 2 partes:

- Eeschema: Se denomina como el editor de esquemas posibilita el diseño de los circuitos eléctricos analógicos, digitales o mixtos. En su interior se encuentran una multitud de funciones entre las que se incluyen decenas de librerías de componentes y controladores de reglas eléctricas “ERC”.
- Pcbnew: Denominado como el editor de circuitos de impresos, permiten la conversión entre el esquemático y la fabricación con su aspecto real.

2.6 Fabricación PCB: Procesos y metodologías

En lo respectivo a este apartado se procederá a describir las técnicas y procesos existentes para la fabricación de los PCB.

2.6.1 Grabado de pistas y huellas de componentes

Se considera el primer paso en la fabricación de las placas de circuito impreso. En este paso se escribe sobre la superficie de cobre los circuitos de los esquemas eléctricos que han sido diseñados en los entornos de desarrollos que han sido mencionados en el apartado anterior. Para plasmar los circuitos en la superficie de cobre existen varios métodos.

A) Manual

Con rotuladores de tinta permanente se intenta reproducir el circuito diseñado. Es el método más laborioso y comúnmente en desuso, sin embargo, es el más rápido en circuitos de complejidad muy baja.

B) Planchado

Una vez se ha impreso el diseño en papel, especial para fotografías, se debe recortar y adecuar a la placa que desea ser transferida. Seguidamente se limpia la superficie de cobre para colocar sobre ella dicho diseño. Para adherir el diseño a la placa se sitúa sobre ambos una plancha (con un elemento protector entre el diseño y la plancha). Al transcurrir un tiempo, la tinta del tóner se calienta y acaba adhiriéndose a la superficie con cobre.

C) Insolado

Este método es similar al anterior, con la diferencia de que la superficie de la placa tiene una película fotosensible por lo que la manera de adherir el diseño a la placa cambia. En esta ocasión se utilizan los haces de luz UV, provenientes de LED's o máquinas especializadas "insoladoras", que incidirán durante un periodo de tiempo sobre la película fotosensible debilitando aquellas zonas donde no se encuentre la tinta negra del tóner. Este método proporciona los mejores resultados con los tiempos más bajos de producción.



Figura 19: Métodos para el grabado de las pistas en una PCB

2.6.2 Revelado

Este paso solo es utilizado en caso de que el grabado de pistas haya sido ejecutado con el método del insolado. La técnica consiste en pasar la superficie de la placa, que contiene la película fotosensible, por un líquido revelador que es una disolución química compuesta por hidróxido de sodio y agua. El hidróxido de sodio (NaOH), comúnmente conocido como “sosa caustica”, debe ir disuelto con agua. Las proporciones son 8 gramos de NaOH por cada ½ litro de agua.

Como resultado final se obtiene la superficie de cobre con las pistas y huellas de las componentes perfectamente definidas.

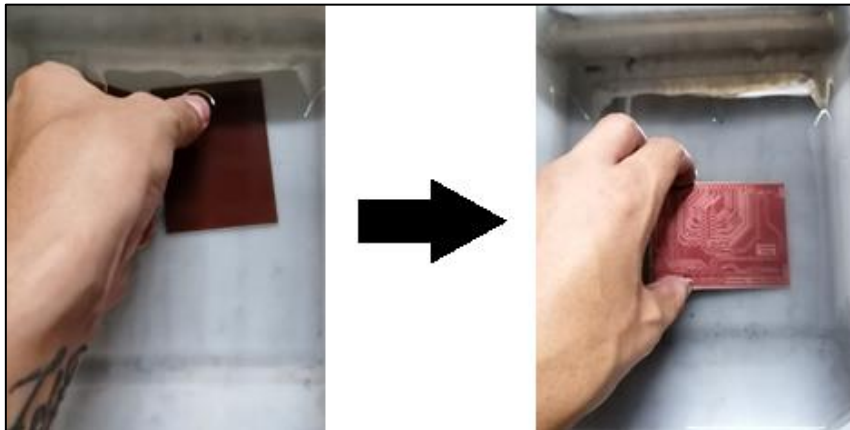


Figura 20: Revelado de la placa de conexiones

2.6.3 Atacado

Este proceso es de aplicación común a todas las técnicas o métodos y consiste en eliminación del cobre no deseado en el diseño de la placa. Para llevar a cabo el proceso se necesita una solución química compuesta por ácido clorhídrico “HCl” (aguafuerte) al 35%, peróxido de hidrogeno al 10% “H₂O₂” (agua oxigenada) y agua. Para elaborar la solución se echarán 3 partes de agua, 2 partes de peróxido de hidrogeno y 1 parte de ácido clorhídrico. Por lo que si utilizamos 20 mL de ácido clorhídrico son necesarios 40 mL de peróxido de hidrogeno y 60 mL de agua elaborando una solución de 120 mL. Al sumergir la placa sobre la solución elaborada, inicia la reacción y se debe prestar atención para que la solución no elimine el cobre deseado en el circuito impreso. La placa será retirada cuando en la superficie de cobre solo quede la tinta de tóner con el diseño inicial.

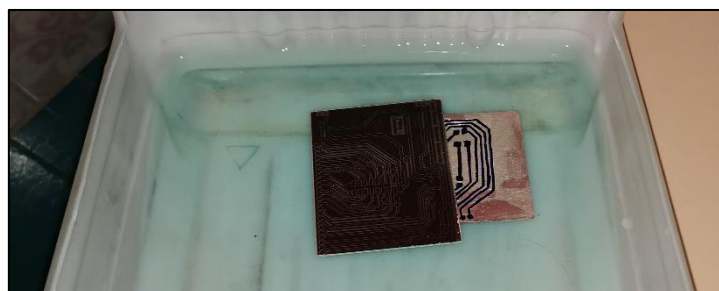


Figura 21:Atacado de las PCB

2.6.4 Rematado

Para concluir con la fabricación de la PCB, es necesario adecuarla de la siguiente manera:

- La eliminación del resto de la película se llevará a cabo con una frotación suave con un estropajo de aluminio o en su defecto con un algodón impregnado en el líquido revelador o acetona CH_2CH_3 .
- Se aplicará una pasta especial denominada máscara de anti-soldaduras (Solder Mask) que protegerá las pistas de cobre, para que no se oxiden ni se corroan, además de aportarle color y elegancia a la placa (verde, roja o azul). Esta pasta se extenderá por toda la placa y será sometida a luz UV para que se quede fijada.
- La perforación de la placa en los lugares donde se encuentre las huellas de los componentes pasantes.



Figura 22: Procesos de rematado para las PCB

2.6.5 CNC

Es un proceso automatizado, encargado de fabricar la PCB directamente sin la necesidad de aplicar ninguna metodología. La máquina CNC es controlada por un PC, determinando la posición y velocidad que los motores deben ejercer para posicionar de manera precisa. Esta máquina posicionara la herramienta (fresadora o taladradora) en las zonas marcadas por el programa software, para realizar el rutado de las pistas o la perforación de los componentes pasantes. La duración es función de la complejidad del diseño y no es necesario el empleo de ningún producto químico.

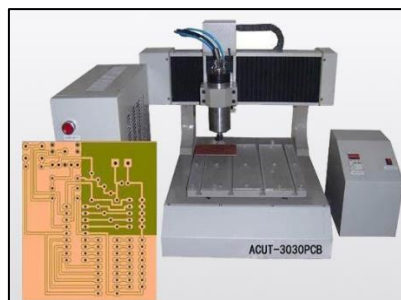


Figura 23: Máquina CNC para elaborar PCB

2.7 Puertos, buses y protocolos de comunicación

En cualquier tipo de tecnología actual, esta presenta la comunicación entre los elementos periféricos y el elemento principal del sistema. En una comunicación es necesario tener un mismo lenguaje entre emisor y receptor para la comprensión del mensaje, definiéndose así los protocolos de comunicación.

Un protocolo de comunicación es el sistema de normativas que permiten a dos o más dispositivos puedan intercambiar información entre ellos. Los dispositivos tienen que estar físicamente conectados con entradas y salidas, citados puertos:

- Puertos paralelos: Envían la información de cada bit por un elemento conductor (cable o pista), siendo un inconveniente ya que la complejidad de los circuitos aumenta.
- Puertos series: La información es enviada secuencialmente y se utiliza un único elemento conductor minimizando así la complejidad en los diseños.

Dentro de los puertos series se encuentran los diferentes buses de comunicación. Se describirán dos que son utilizados en una gran multitud de dispositivos entre los cuales se encuentran este trabajo.

- UART [19]: Estos buses permiten comunicar dos dispositivos entre sí debido a que cada dispositivo posee su propio reloj, se trata de una comunicación asíncrona y está compuesto por 2 hilos (TX y RX). Existen tres tipos de comunicaciones: full-duplex (envío y recepción simultaneo), half-duplex (envío o recepción, uno solo) o simplex. La conexión entre los dispositivos tiene que ser TX con RX e viceversa, además de una masa (GND) en conjunto. La velocidad entre ambos dispositivos debe ser idéntica para la comprensión de los mensajes y se determinan en baudios (nº bits/segundo) los rangos típicos son 9600 baudios hasta los 115 Kbaudios. El protocolo de comunicación consta de un bit de start (nivel bajo), 8 bits de información y un bit de stop (nivel alto). Cada flanco de reloj ascendente se refresca la información. En la figura se aprecia mejor esta comunicación:

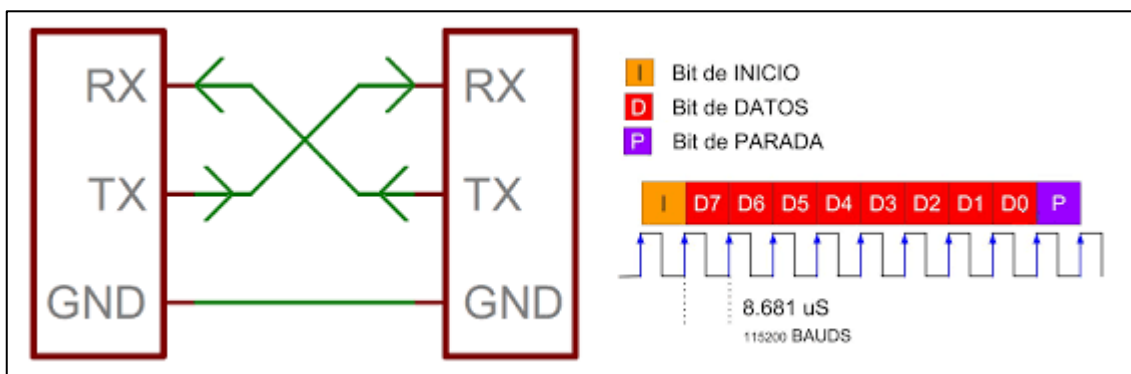


Figura 24: Conexión y protocolo de comunicación UART [19]

- I²C [19]: Este bus fue diseñado por la compañía Philips a principios de 1980, como método de interconexión entre un PC y varios dispositivos. Se trata de un bus de comunicación síncrono, es decir, la señal es controlado por un mismo reloj. El bus se forma de dos hilos (SDA “datos” y SCL “reloj”), incluyendo una masa de referencia. Las velocidades de comunicación oscilan entre los 100 Kbits/s (“Standard”) hasta los 400 Kbits/s (“Fast”) en algunos lo supera hasta 3,4 Mbits/s (“High-speed”). La distancia entre los dispositivos de comunicación varia llegando a ser 2 o 3 metros. El protocolo de comunicación se constituye de un inicio de transmisión, multitud de bytes (8 bits y un ACK) y un paro de transmisión, en cada flanco de SCL existe un valor nuevo de SDA. Los bytes que son enviados a través del SDA indican la dirección del dispositivo con el cual se desea entablar una comunicación, además de la información necesaria para la realización de alguna acción. El bit de ACK es la respuesta del dispositivo esclavo para determinar si la comunicación ha sido correctamente recibida. Al ser compartida la línea del SDA entre los dispositivos es de obligación enviar la dirección en primer lugar. La imagen muestra de una forma más detallada y sencilla dicho protocolo:

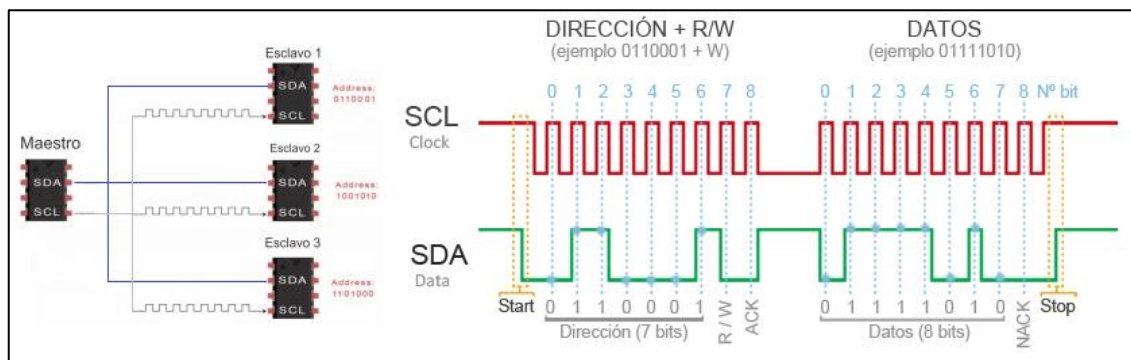


Figura 25: Conexionado y protocolo de comunicación del I2C [19]

3. Algoritmo Esqueletización y Comparación

Durante el capítulo se manifiestan las técnicas utilizadas para conseguir las mejores características del árbol venoso de las falanges. Al igual, se exponen la metodología empleada en la comparación entre la base y la muestra expuesta a verificación de los arboles venosos.

En este proceso se maneja la base de datos “dataset” que suministra SDUMLA-HMT siendo la primera base de datos abierta. El dispositivo con el cual se han capturado las imágenes de las venas fue diseñado por Join Lab para Intelligent Computing and Intelligent Systems of Wuhan Univeristy (ICISWU)”. Las imágenes capturadas proceden de los dedos anulares, medio “corazón” e índice de ambas manos y de 106 personas diferentes. Cada dedo es capturado 6 veces en diferentes instantes de tiempo, posición y orientación. El total de la base de datos está compuesta por 3816 imágenes, con una resolución de 320x240 pixeles, almacenadas en formato “.bmp”. [20]

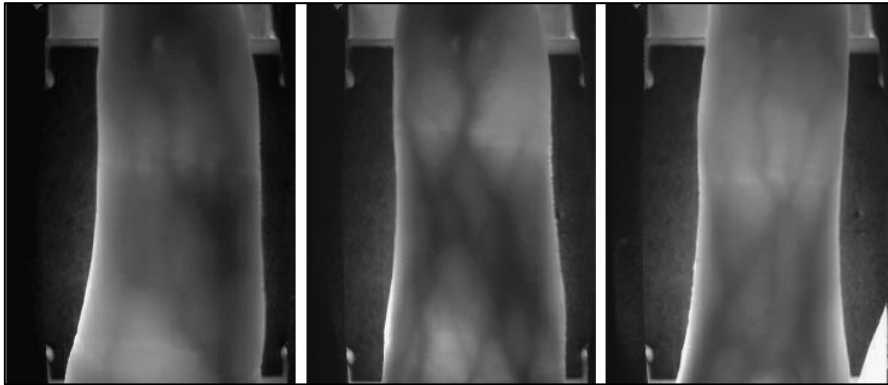


Figura 26: Capturas del dedo con su árbol venoso del dataset de los individuos 45, 50 y 67 [20]

El desarrollo de los algoritmos se produce en Matlab ya que contiene una caja de herramientas dedicada al procesamiento de imágenes “Image Procesing Toolbox”. Con la ayuda de los comandos de la Toolbox se obtiene una forma sencilla de manipular y adecuar las imágenes. El fichero que engloba el algoritmo general del trabajo se denomina ‘Algoritmo_Final.m’, el resultado que devolverá será un 1 en caso de que el reconocimiento sea correcto o en su defecto un 0.

3.1 Algoritmo Esqueletización

Este algoritmo se desarrolla con la finalidad de conseguir solo el árbol venoso correspondiente a cada dedo, es la parte más fundamental ya que sin unos buenos resultados en este apartado, no se puede proceder a una correcta autenticación. Los resultados finales del algoritmo serán la matriz binaria ('0' y '1') correspondiente al árbol venoso.

Este algoritmo se compone de dos partes: obtención de la ROI y la extracción del árbol venoso. El archivo que contiene todo este algoritmo se denomina 'Esqueletiza.m'.

3.1.1 Obtención ROI

La obtención de la ROI es fundamental ya que el contorno y la longitud de los dedos no es similar en todos los individuos. Por ello se necesita una función capaz de detectar el contorno de los dedos y el fondo para separarlo. El resultado de la función debe proporcionar solo la zona que contiene el árbol venoso de los sujetos.

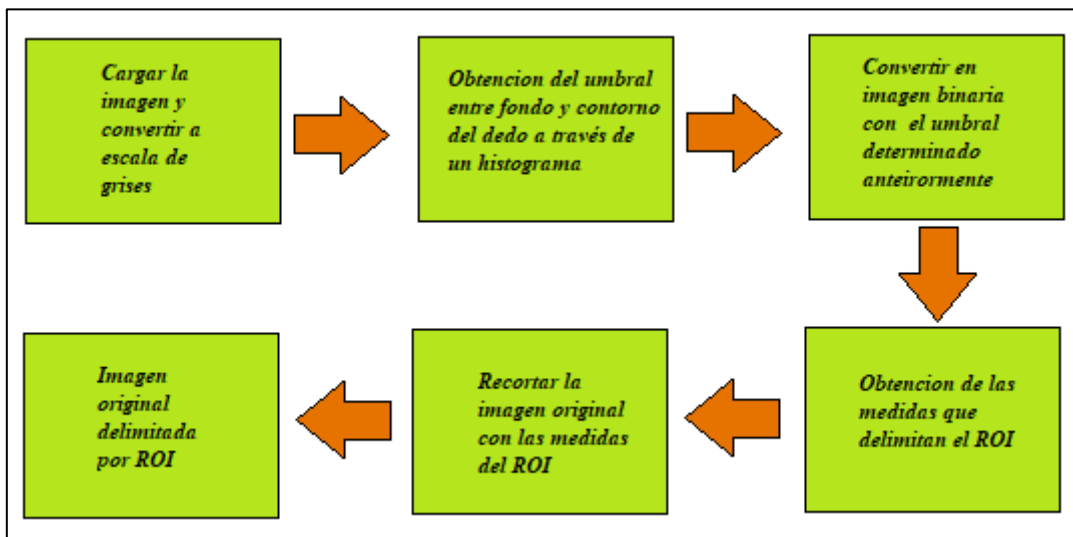


Figura 27: Digrama de bloques para la obtención del ROI

El diagrama representa los pasos que se han seguido para conseguir una zona dentro del contorno del dedo con el árbol venoso correspondiente al usuario. En la determinación del umbral se utiliza un comando denominado "graythresh" [21]. Este comando implementa el método de Otsu [22] basada en maximizar una medida estadística que se denomina varianza entre clases. Un umbral que produzca la mejor separación entre clases, en términos de los valores de intensidad de estas, será el umbral óptimo. El histograma perteneciente al usuario 45 dedo del medio y mano derecha es el siguiente:

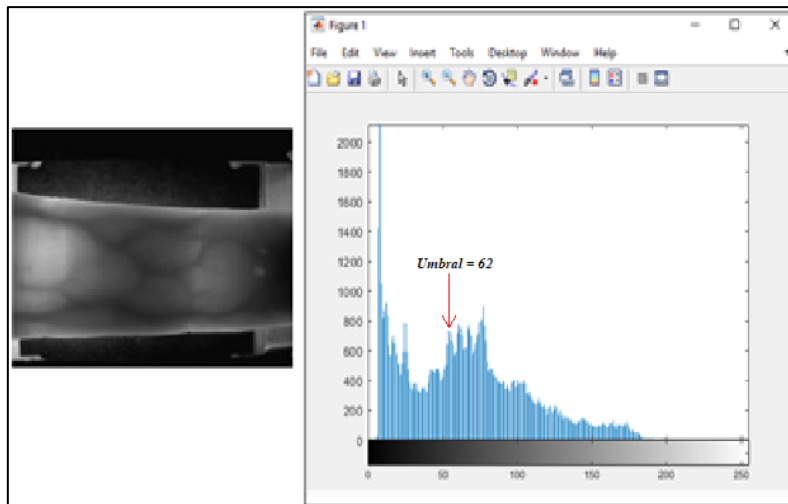


Figura 28: Imagen e histograma con referencia del umbral determinado por el método Otsu

Al aplicar el método Otsu el dato que devuelve es el 62. Este valor es conocido como el umbral para diferenciar entre contorno del dedo y fondo de la imagen. En estas condiciones es posible la delimitación de la ROI de la imagen. La función "ROI.m" que se adjunta proporciona datos tales como valor de coordenadas (x, y) de un píxel, además de un ancho y un alto. Esta función presenta el siguiente diagrama de bloques:

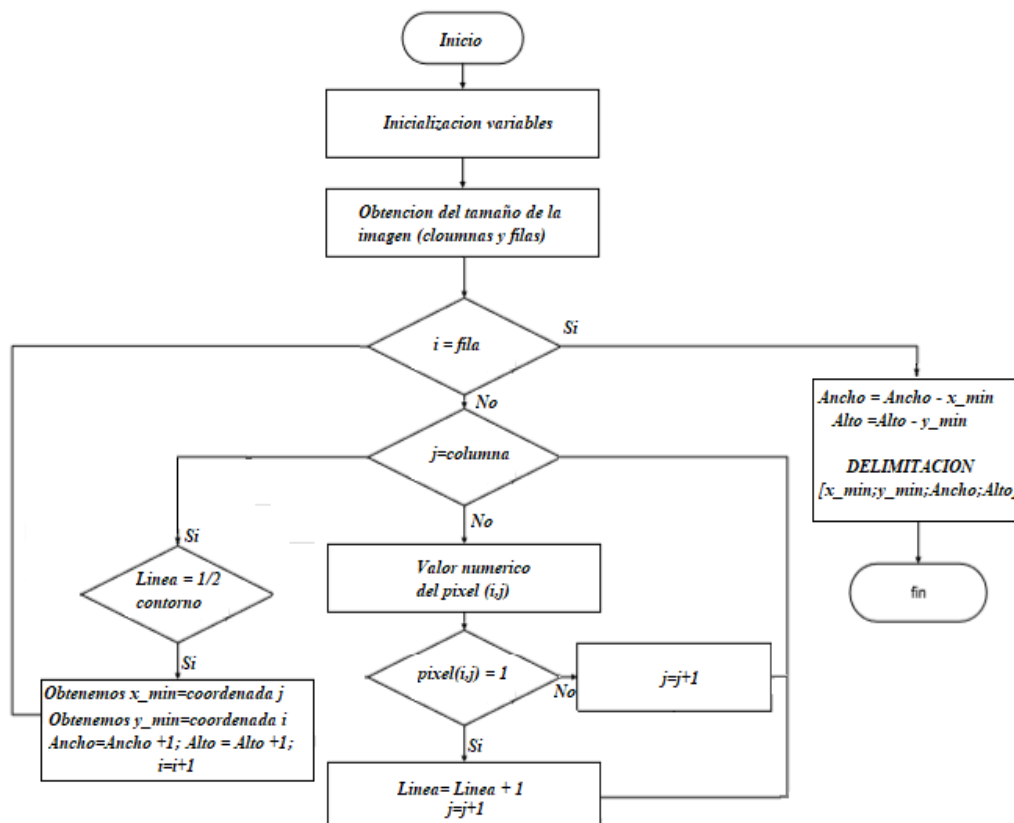


Figura 29: Diagrama de flujo función 'ROI.m'

Con los parámetros entregados por la función se aplica un recorte a través del comando “*imcrop*” [21] en donde serán necesarios las delimitaciones. Tras haber procesado todos los pasos descritos con anterioridad se obtienen los siguientes resultados:

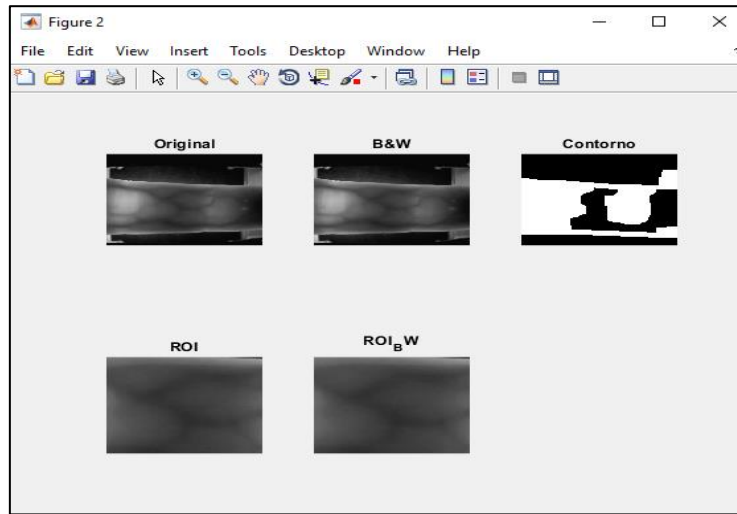


Figura 30:Resultado de las imágenes proporcionadas por MATLAB tras aplicar el algoritmo

Se observa como detecta el contorno a la perfección, además de que el patrón venoso que existe en el ROI contiene un gran contenido de información para su posterior esqueletización. En la imagen mostrada los resultados son favorables, pero en algunas imágenes debido a la captura se introduce mucha luminosidad imposibilitando determinar un ROI en concreto, tal y como se muestra a continuación:

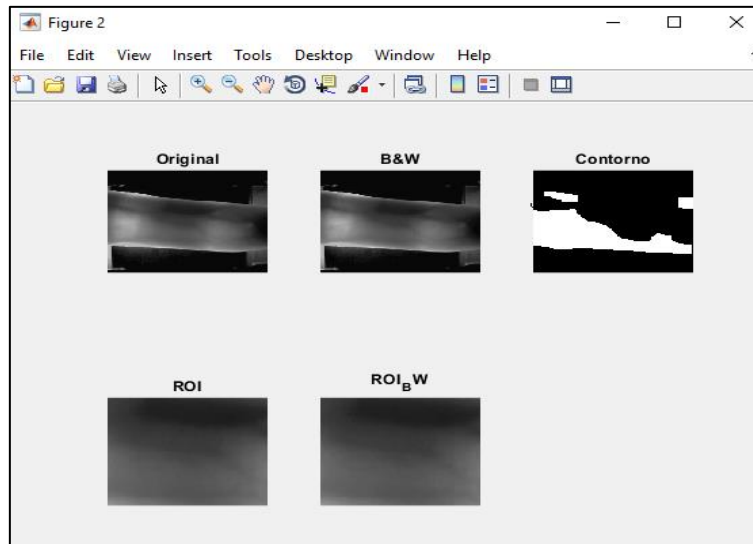


Figura 31:Resultado erróneo tras aplicar el algoritmo en MATLAB

Debido a ello se decide estructurar una ventana física para delimitar la imagen y que solo pueda observarse una ROI perteneciente a la falange media (suele ser la que posee un mayor contenido de árbol venoso). Se adjunta un segundo fichero denominado “ROI_esqueletiza.m” en el cual los parámetros de *x_min*, ancho y alto están predefinidos.

3.1.2 Extracción del árbol venoso

Una vez se han desarrollado las etapas anteriores, se procede a extraer los patrones venosos de la ROI, con la cual el sistema será capaz de interpretar en el algoritmo de reconocimiento. En la toolbox existen una gran multitud de filtros y transformaciones para modificar la imagen. Se utilizan algunas ya que ayuda a mejorar las imágenes consiguiendo una mayor precisión a la hora de localizar y segmentar las venas. Los filtros se encargan de suavizar la imagen, con ello se logran la reducción de variedades de intensidad entre pixeles vecinos añadiendo ventajas como la de adquirir unas imágenes con una mayor eliminación de detalles pequeños. Los filtros esenciales que se han usado y permiten el suavizado son: filtro de la media, filtro de la mediana y filtro gaussiano [23].

- Filtro de la media: Su funcionamiento consiste en cambiar el valor de cada píxel por la media de los valores de los pixeles vecinos. Suelen operarse como la convolución de una máscara predeterminada (matriz 3X3) y la imagen a la cual se le aplica el filtro. Para una mejorar del filtrado se puede modificar la máscara (matriz de 5x5) obteniendo así la información de los pixeles más alejados.

						1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
						1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/9	1/9	1/9				1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/9	1/9	1/9				1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/9	1/9	1/9				1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
						1/25	1/25	1/25	1/25	1/25

Figura 32: Máscara 3X3 y 5X5 para aplicar el filtro de la media [23]

- Filtro de la mediana: El funcionamiento de este filtro conlleva una mayor complejidad ya que ordena de los valores de los pixeles vecinos en una lista de mayor a menor para que finalmente cambie el valor del píxel sujeto a la modificación por el valor que se encuentra en mitad de la lista.

123	125	126	130	140	Valores ordenados de menor a mayor: {115, 119, 120, 123, 124, 125, 126, 127, 150} Mediana = 124.
122	124	126	127	135	
118	120	150	125	134	
119	115	119	123	133	
111	116	110	120	130	

Figura 33: Técnica de aplicación del filtro de la mediana [23]

- Filtro gaussiano: El funcionamiento del filtro gaussiano es similar al filtro de la media, pero la máscara que convoluciona la imagen lleva configurada la función gaussiana:

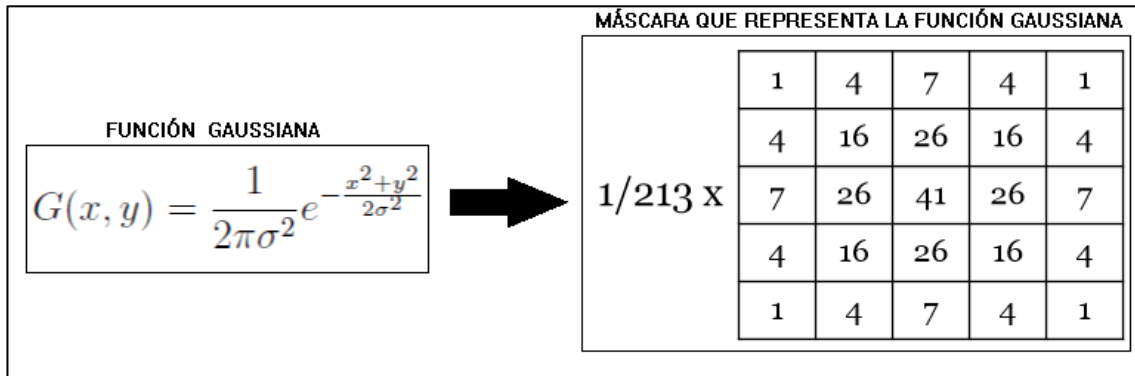


Figura 34: Funcion Gaussiana y su homólogo en forma de máscara matricial [23]

Además de estos filtros se ha desarrollado un filtro alternativo de vecindad, donde se modifican los valores de los pixeles a través de un redondeo al alza de los valores. Esto posibilita segmentar por regiones en escalones de 5 y así se obtiene una mejor suavidad. El principal problema de este método es que los pixeles sueltos no son eliminados. El archivo con el contenido de este código se denomina “Patrón_esqueletiza.m”. Los resultados obtenidos se muestran la siguiente imagen:

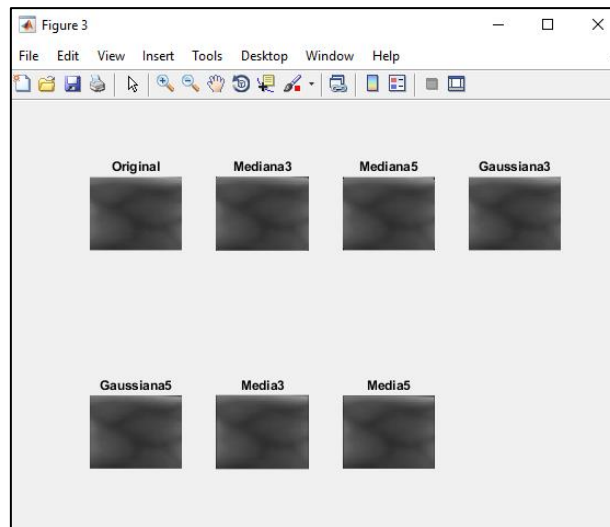
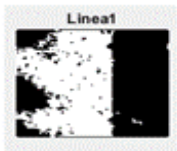
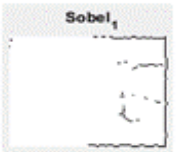
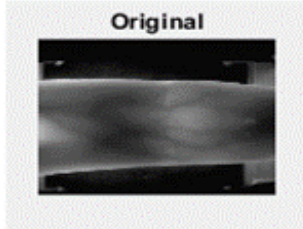
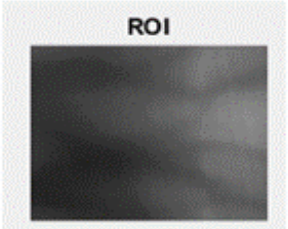


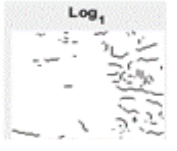
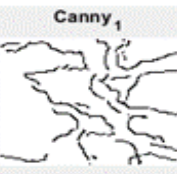


Figura 35: Resultados de las imágenes al aplicar diferentes filtros

Con la imagen filtrada se pasa a la esqueletización o extracción de la estructura del patrón venoso. Al igual que ocurre con los filtros, la toolbox posibilita trabajar con comandos para la extracción de las venas.

Estos comandos son capaces de realzar aquellos detalles que han sido emborronados, generando así unas matrices lógicas de 0 y 1 (imagen binaria o imagen en B/W). La técnica consiste en la búsqueda de las variaciones entre pixeles locales bruscas, ya que si esto ocurre estamos frente a un borde. Con ellos se logra una detección de bordes o segmentación de la imagen. En la tabla se muestran aquellos que han sido utilizados:

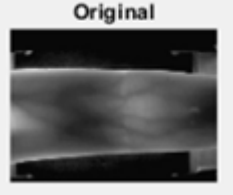
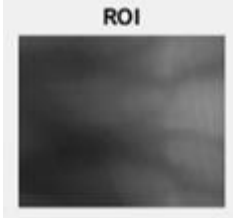

Tabla 3: Transformaciones ejecutadas en las imágenes por los comandos

Comando	Imagen original	Imagen ROI	Imagen tras aplicación
Imtophat (lines)			
Sobel			
Prewitt			
Roberts			
Log			
Canny			

Al observar las imágenes resultantes de los comandos utilizados, se determina que es imposible sacar características exceptuando los dos últimos comandos, los cuales dan unos resultados bastante similares al árbol venoso. Por ello, se toma la decisión de elaborar un método para extraer correctamente el patrón venoso.

Este método o técnica consiste en obtener dos umbrales (método Otsu) en los cuales se hallen comprendidos los valores de las venas, marcando esa región como 0 o de color negro. Tras la aplicación de la técnica la imagen resultante fue:

Tabla 4: Procesamiento de la imagen al aplicar algoritmo

Comando	Imagen original	Imagen ROI	Imagen tras aplicación
'Patrón_esqueletiza.m'			

Se aprecia una mejor definición del árbol venoso, aunque algunas de ellas son falseadas y se representan más ancho o en su defecto más estrecha.

3.2 Algoritmo reconocimiento

El algoritmo presentado en este apartado consiste en comparar las plantillas binarias proporcionando la similitud entre ambas. La similitud se dará en formato de porcentaje y si este sobrepasa o iguala al valor umbral se dará por validada la muestra. En este apartado también se hablará del FAR y el FRR que se produce en la determinación de la validez entre muestras. El fichero que contiene el algoritmo se denomina 'Comprueba.m'.

La comparación entre plantillas consiste en una simple comparación 1:1 de cada píxel, donde si ambos píxeles son iguales se incrementará el valor del resultado, para una mejor comprensión se presenta el diagrama de flujo de dicho algoritmo:

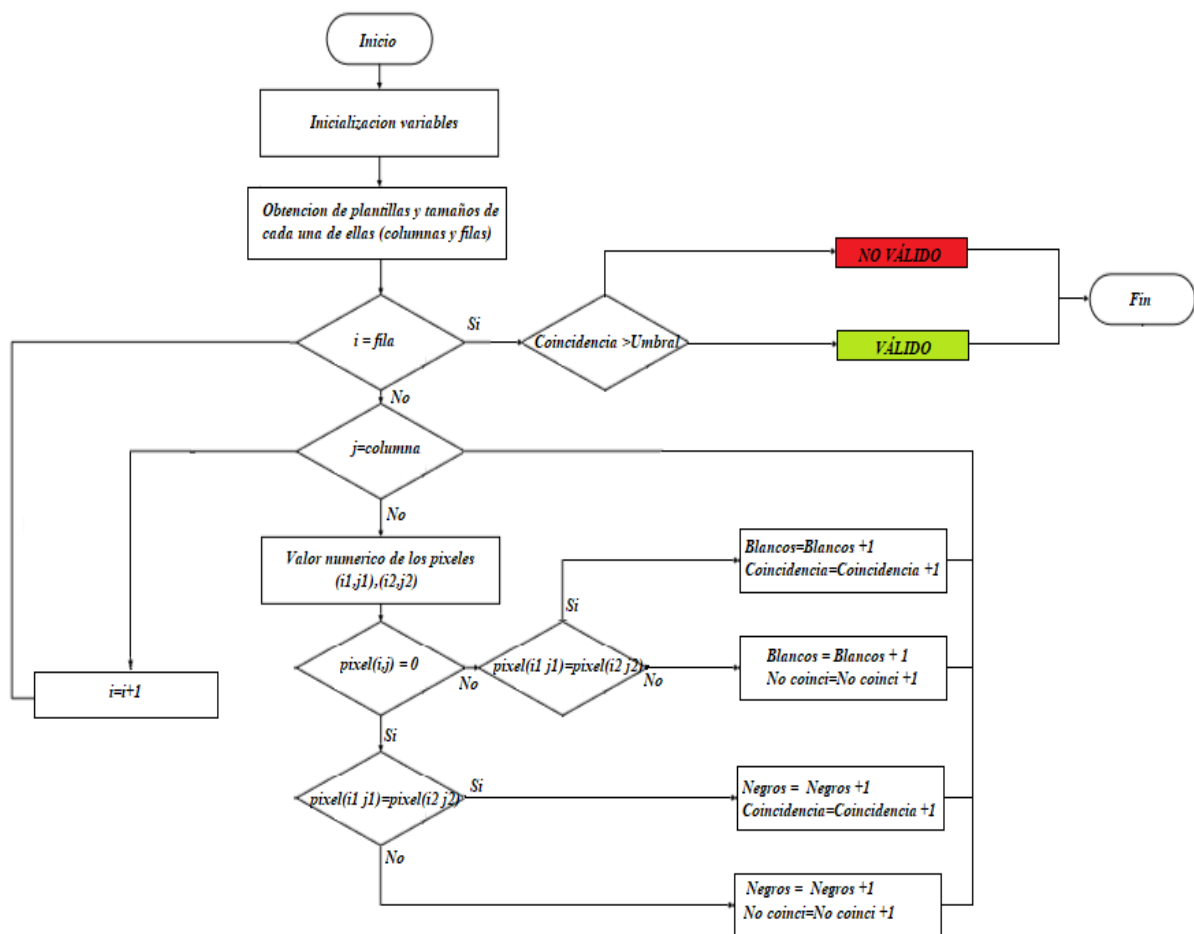


Figura 36: Diagrama de flujo 'Comprueba.m'

Una vez se ha explicado el funcionamiento del algoritmo se procede a determinar un umbral adecuado, en este punto, se empieza a jugar con los términos de FAR y FRR ya que a medida que el umbral sea inferior obtendremos un FRR mayor y si el umbral es mayor la identificación se torna muy restrictiva posibilitando un FAR mayor. Para adecuar el umbral se hicieron aproximadamente 50 pruebas por cada umbral determinado.

La prueba residía en introducir umbrales con saltos de 5 en 5 desde los valores 50 hasta el 100, comparando las imágenes del dataset. Al terminar estas pruebas se recolectan los siguientes datos:

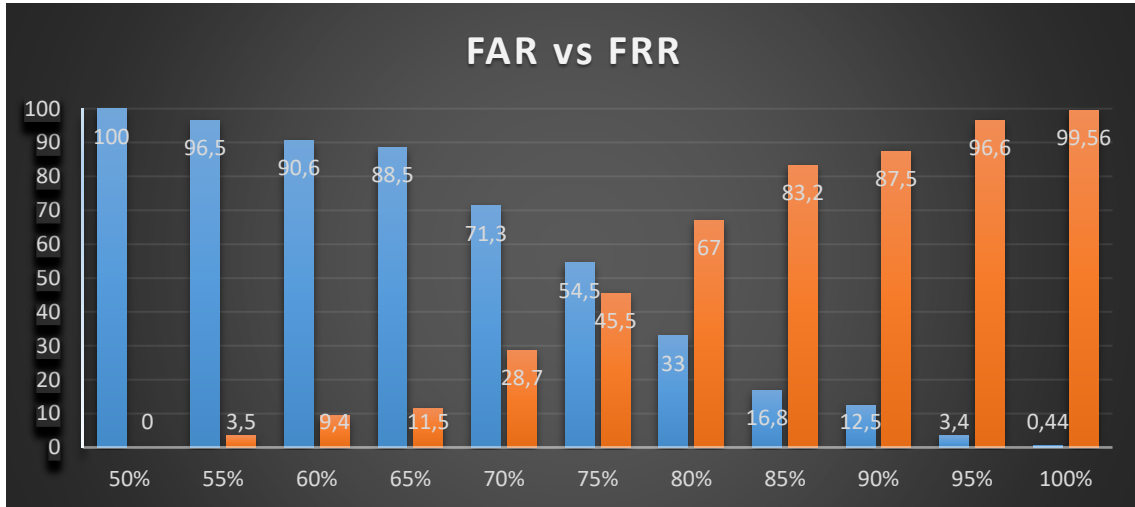


Figura 37: Curvas del FAR y FRR del algoritmo desarrollado

Se intuye una figura similar a la presentada en el capítulo 2, donde se hablan de los términos FAR y FRR, encontrándose el punto óptimo en un 75%, siendo este el umbral indicado para una buena identificación.

4. Sensor Biométrico Multimodal

El sensor biométrico multimodal corresponde a la parte hardware del trabajo, es necesaria su ejecución para capturar las áreas fisiológicas que serán procesadas y gestionadas por el sistema, para suministrar un resultado al usuario que se desea reconocer. Este sensor está formado por otros dos sensores, una placa de alimentación, una placa de interconexión y varios módulos de representación de información. El aspecto final del sensor es:

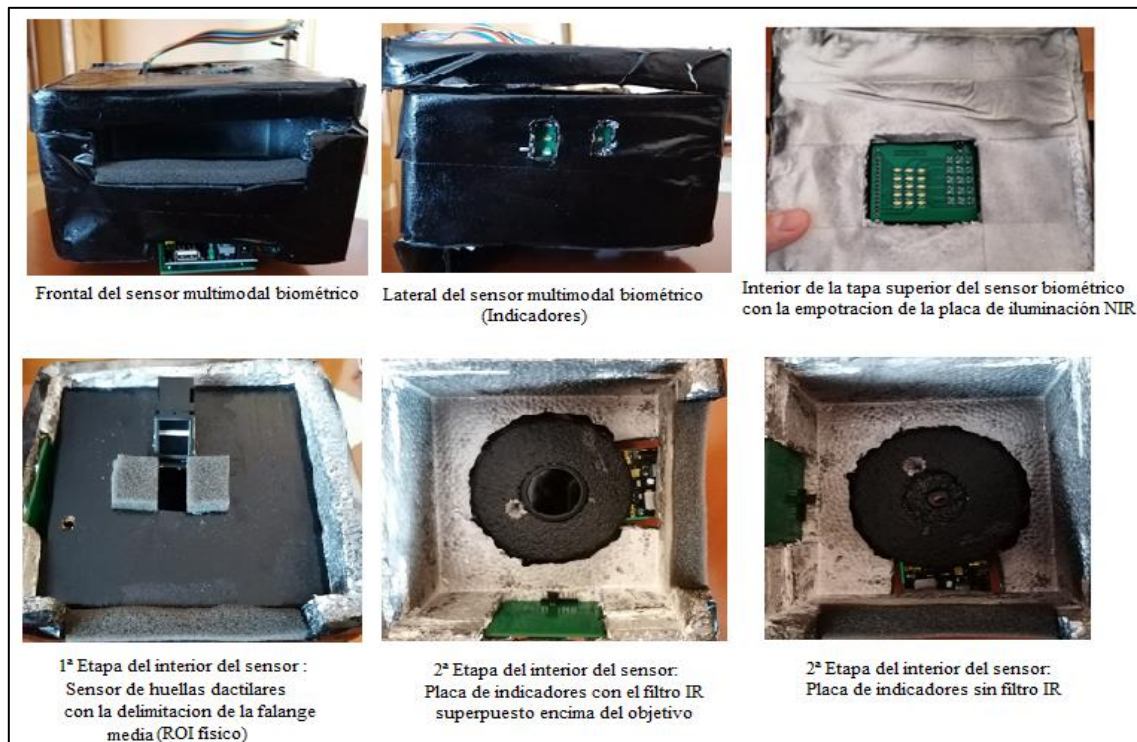


Figura 38: Sensor biométrico multimodal

En la imagen se muestra el exterior e interior del sensor biométrico multimodal, compuesto de varias capas. La primera capa es la tapa del sensor en donde se encuentra empotrada la placa de iluminadores NIR, con el fin de iluminar la falange media. La superficie donde debe colocarse el dedo corresponde a la 1ª etapa, en ella se ve una ranura “ROI física” la cual dejara penetrar la luz a través de la falange. Igualmente, en dicha etapa se sitúa el sensor dactilar para la colocación de la yema del dedo en su ventana óptica. La 2ª etapa se visualiza la placa de indicadores empotrada en el lateral y el hueco para el filtro IR. Si este es quitado se podrá ver la lente óptica del sensor de imagen 0V7670.

4.1 Sensor dactilar

El sensor dactilar es un módulo de identificación de huellas dactilares de la serie ZFM, perteneciente a la compañía Zhiantec Technologies. Este módulo está compuesto por un DSP y un sensor óptico. En algunos modelos de la serie ZFM se incorpora una inducción táctil utilizado como sensor de proximidad, para determinar si el dedo se encuentra apoyado.



Figura 39: Sensor de huellas digitales ZFM-Fingerprint

Gracias al documento informativo otorgado por la empresa (datasheet) [24], se pueden conocer detalles del sensor, tales como:

El sensor posee diferentes niveles de seguridad yendo desde el 1 hasta el 5, pueden ser configurados. Si se configura el nivel de seguridad se está modificando el FAR y el FRR, cuando el dispositivo se encuentra en el nivel 1 se obtiene un FAR alto y un FRR bajo mientras que por el contrario con un nivel 5 el FAR es bajo y el FRR alto. Los valores nominales son: FAR < 0.001% y FRR < 1%. La capacidad de almacenamiento es de 150 huellas dactilares y el tiempo de búsqueda es inferior a un segundo. El entorno de trabajo del sensor debe estar comprendido entre -20°C y 60°C con una humedad relativa en ambiente del 40% al 85%.

1.Power supply					
Item	Parameter			Unit	Note
	Min	Typ	Max		
Power Voltage (Vin)	3.8		7.0	V	Normal working value.
Maximum Voltage (Vinmax)	-0.3		9.0	V	Exceeding the Maximum rating may cause permant harm to the Module.
Operation Current (Icc)	55	60	95	mA	
Peak Current (Ipeak)			95	mA	

Figura 40: Características de alimentación del sensor ZFM Fingerprint [24]

La alimentación del dispositivo tiene que estar comprendida entre 3,8V y 7 V, pero funciona adecuadamente si es conectada de forma directa a una fuente de alimentación de 3,3V. Las tensión mínima y máxima que es capaz de soporta el dispositivo son -0.3V y 9V respectivamente; si se excediesen estos márgenes ocasionarían daños permanentes al dispositivo. La corriente consumida durante su uso oscila entre 55 mA y 95 mA con un valor típico de 60 mA. Por ello se deben garantizar que las pistas de los PCB's aguanten los valores máximos de corriente.

2.TD (output, TTL logic level)						
Item	Condition	Parameter			Unit	Note
		Min	Typ	Max		
VOL	IOL=-4mA			0.4	V	Logic 0
VOH	IOH= 4mA	2.4		3.3	V	Logic 1

3.RD (input, TTL logic level)						
Item	Condition	Parameter			Unit	Note
		Min	Typ	Max		
VIL				0.6	V	Logic 0
VIH		2.4			V	Logic 1
IIH	VIH =5V		1		mA	
	VIH =3.3V		30		uA	
VImax		-0.3		5.5	V	Maximum input voltage

Figura 41: Características eléctricas de las entradas y salidas del sensor ZFM Fingerprint [24]

La imagen superior exhibe otras particularidades eléctricas importantes, representan los márgenes que resiste la interfaz de comunicación. Sin estas especificaciones, no es posible la comunicación entre los diferentes dispositivos.

La salida del dispositivo denominada TX (transmisor), posee niveles TTL. El dispositivo enviara un ‘1’ lógico si la tensión en dicho terminal sobrepasa los 2,4 V hasta un máximo de 3,3V, mientras que todas aquellas tensiones con un valor igual o inferior a 0,4 V hasta los 0V deberán ser interpretadas como un ‘0’ lógico. El consumo de corriente cambia en función de la información que se desea transmitir siendo -4mA para el ‘0’ y 4mA para el ‘1’.

La entrada del dispositivo denominada con RX (receptor) al igual que el terminal TX posee niveles TTL. El dispositivo interpretara un ‘1’ lógico si en el terminal existe una tensión superior a 2,4V alcanzando un máximo de 5,5V. El ‘0’ lógico será interpretado con tensiones en el terminal con valores inferiores a 0,6V. La corriente suministrada a la terminal varía entre 1mA o 30uA para los voltajes de 5V y 3,3V respectivamente.

El sensor presenta unos pines de unión en su PCB, estos simbolizan cada uno de los terminales, la tabla que se visualiza en la parte inferior permite identificarlos de manera sencilla:

Tabla 5: Terminales del sensor ZFM Fingerprint

Nombre del terminal	Pin	Tipo de terminal	Función y color del terminal
Vtouch	1	Entrada	Tensión para inducción táctil (Azul)
Sout	2	Salida	Salida del sensor inductivo (Amarillo)
Vin	3	Entrada	Tensión de alimentación (Rojo)
TD	4	Salida	Dato de salida (Verde)
RD	5	Entrada	Dato de entrada (Blanco)
GND	6	Entrada	Señal de tierra, conectar a masa (Negro)

Cada uno de estos terminales deben ser unidos de forma correcta, sin sobrepasar los 15 cm recomendables para una buena comunicación. Estas conexiones se diseñarán en próximos apartados. Por lo tanto, se puede pasar a conocer la metodología de trabajo del sensor dactilar.

El sensor de huellas dactilares se basa en dos modos de funcionamiento: registro y comparación de huellas dactilares. En el modo registro se componen de una primera fase de captura de imagen, una segunda fase de generación parcial de plantilla, una tercera fase de generación de la plantilla de la imagen y por último el almacenamiento de la plantilla. La fase uno y dos debe ser ejecutada dos veces de manera consecutiva, obligando a posicionar el dedo dos veces en el sensor, ya que la tercera fase combina ambas plantillas parciales para generar la plantilla real. En el modo comparación tiene una menor complejidad ya que se componen de una primera fase de captura de la imagen, una segunda fase de generación de plantilla parcial y una tercera base de comparación entre la plantilla parcial y las almacenadas en la biblioteca de huellas [24].

A fin de usar uno de los modos es necesaria una interacción entre dispositivos, en el caso del dispositivo usa una comunicación serie del tipo UART, mencionada en capítulos anteriores. El modo de comunicación de la UART del dispositivo es half-duplex con una tasa de baudios de 57600 bps configurables.

La comunicación se establece a través de paquetes de datos con unas características determinadas, tal y como se presentan a continuación:

Data package format

Header	Adder	Package identifier	Package length	Package content (Instruction/data/Parameter)	Checksum
2 bytes	4 bytes	1 byte	2 bytes	INDEFINIDO	2 bytes

Figura 42: Formato del paquete de datos del sensor ZFM Fingerprint [24]

El encabezado tiene un valor fijo que es 0x “EF01”, mientras que la dirección puede ser configurada, pero se usa el valor por defecto 0x “FFFFFFF”. Como la comunicación es línea serie, deben enviarse en primer lugar el byte con mayor peso como por ejemplo en el caso del 0x “EF01” se manda en primer lugar el “EF” y con posterioridad “01”. Una vez se conoce la estructura del paquete de datos se da paso a el flujo de trabajo que emplea el componente. Tras el arranque del dispositivo se prescinden de 300 ms para la inicialización, durante este periodo no se permite la recepción de comandos. Transcurrido la inicialización el sistema reporta un byte 0x “55” indicando que está dispuesto a recibir comandos. El flujo de trabajo consta de la recepción de los comandos, la ejecución de estos y una transmisión de datos, donde se reporta el resultado de la ejecución [24].

Los comandos seleccionados para el funcionamiento del sensor dactilar se hallan en el datasheet, reduciéndose a: “To capture finger image”, “To generate character file from image” (se remite 2 veces, una para cada Buffer), “To generate template”, “To store template” y “To search finger library”. Estos comandos se incorporarán en la implementación del sistema en el dispositivo FPGA.

4.2 Sensor Vascular

El sensor vascular se genera ensamblando dispositivos, todos ellos encapsulados en un recinto que posee ciertas peculiaridades en su estructura. Este sensor todavía no está perfectamente definido y sus resultados pueden variar a causa del espesor de la piel, la pigmentación de la piel o la profundidad del patrón venoso. Por ello se ha de comprender el principio de funcionamiento de este sensor para desarrollarlo adecuadamente.

Toda la radiación infrarroja incidente sobre la epidermis termina siendo reflejada, dispersada o absorbida. La imagen clarifica la descripción anterior:[25]

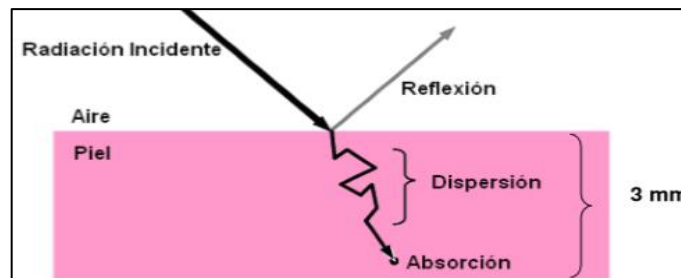


Figura 43: Efecto de una radiación sobre la dermis [25]

La hemoglobina que circula por las venas tiene un menor coeficiente de absorción en la zona NIR que en las arterias; por ello estos sensores solo pueden captar las venas y no las arterias. Existen dos tipos de hemoglobina (oxigenada y desoxigenada) y cada una posee un espectro de absorción diferente. En la imagen se visualiza la diferencia entre coeficientes de absorción de la hemoglobina oxigena y la desoxigenada [25].

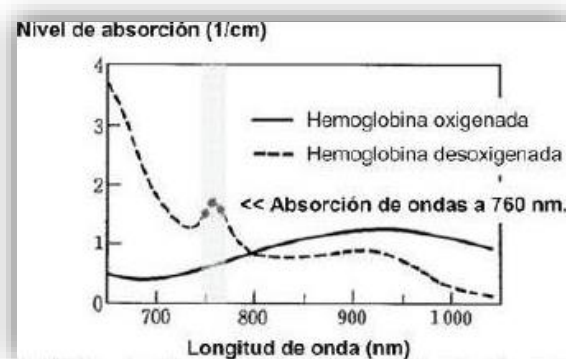


Figura 44: Gráfica de absorción de los diferentes tipos de hemoglobina [25]

A consecuencia de estos fenómenos se demuestra que, si se irradia con luz NIR una región de la fisiología humana, es posible obtener una imagen de las venas de dicha región. La imagen solamente puede ser capturada con un sensor óptico del tipo CCD o en su caso CMOS. El sensor óptico no solo debe ser capaz de capturar la imagen de las venas (ser sensible a la luz infrarroja) sino que el resto de espectro electromagnético tiene que ser repelido, a causa de ello se utiliza un filtro IR. El espectro electromagnético tiene diferentes longitudes de onda como se observa en la imagen:

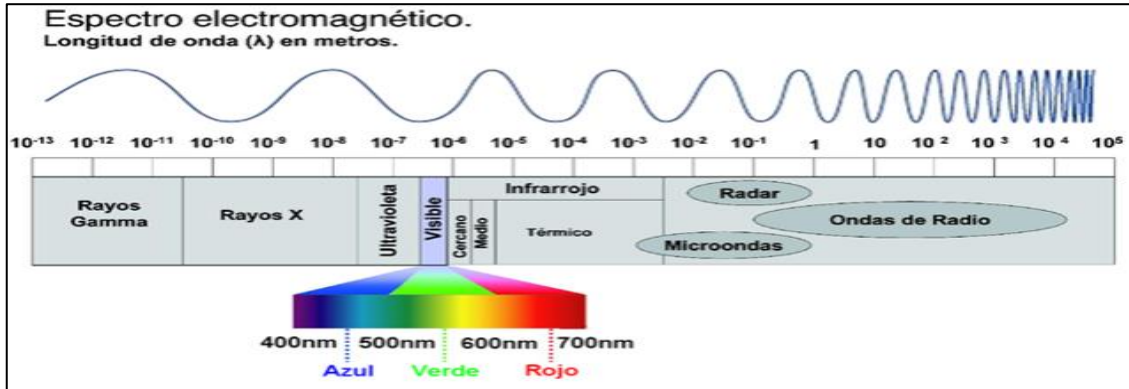


Figura 45: Espectro electromagnético

El filtro IR debe garantizar el paso de las longitudes de onda perteneciente a los infrarrojos cuyo rango se encuentra entre los 800 nm y los 1000nm.

El sensor vascular utilizado se basa en estos principios, existiendo actualmente algunos mecanismos de captura bastante avanzados y en los que se han basado el sensor del trabajo [16]. La imagen enseña una representación de la distribución de los diferentes elementos que constituyen el sensor.

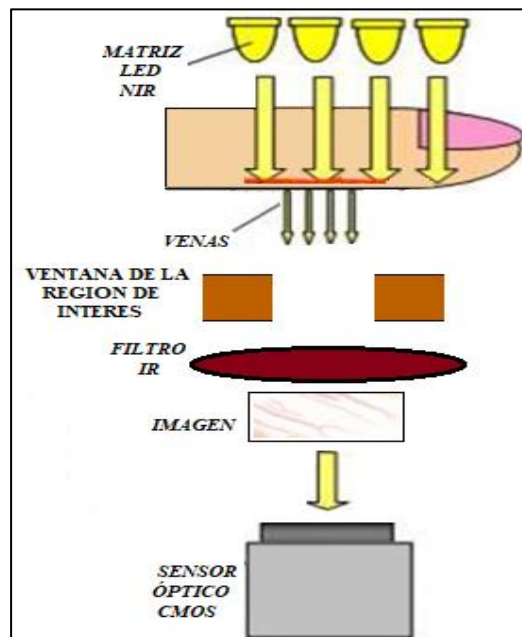


Figura 46: Estructura de los diferentes elementos del sensor vascular

4.2.1 Iluminadores NIR

Como se ha mencionado con anterioridad, se precisa un sistema de iluminación capaz de irradiar luz infrarrojo-cercana “NIR”. Con la ayuda del entorno de desarrollo Kicad se diseñó una PCB, la cual contiene 15 LED SMD de infrarrojos con una longitud de onda de 850 nm dispuestos de forma matricial. Los LED resisten tensiones entre los 1,8 V hasta los 3,3V y corrientes inferiores de 25 mA debido a ello se han limitado ambas peculiaridades con una resistencia de 1KΩ. La iluminación de los LED se controlará de forma automática y durante un breve instante de tiempo en cada captura de imagen, garantizando así una mayor vida útil. El esquema eléctrico y PCB resultante son:

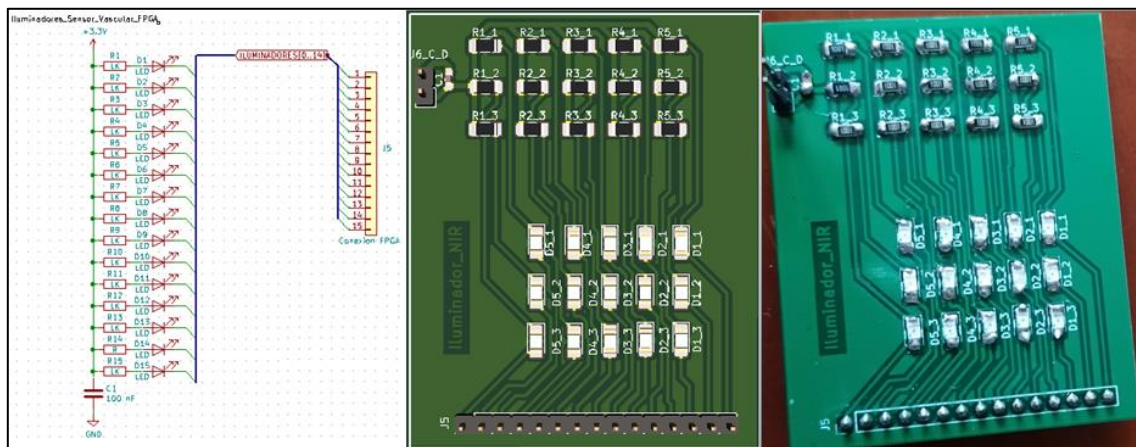


Figura 47: Esquemático y visualización de la cara TOP de la PCB virtual y la real

4.2.2 Sensor de imagen OV7670

La cámara OV7670, fabricada por OmniVision, es un sensor de imagen de bajo consumo y basado en tecnología CMOS. Este sensor tiene la capacidad de operar a 30 fps (frames por segundo) con una resolución de 640x480 pixeles (0.3 MP) cada uno [26].

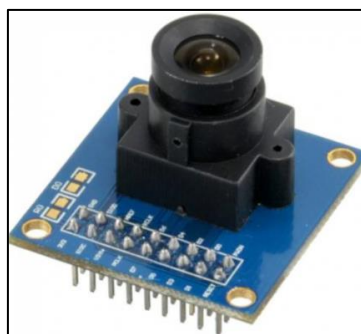


Figura 48: Sensor de imagen OV7670

Además de ser un sensor de imagen, en su arquitectura interna dispone de circuitos dedicados a procesar la imagen garantizando la mejora de las imágenes capturadas, convirtiéndolo en un SoC.

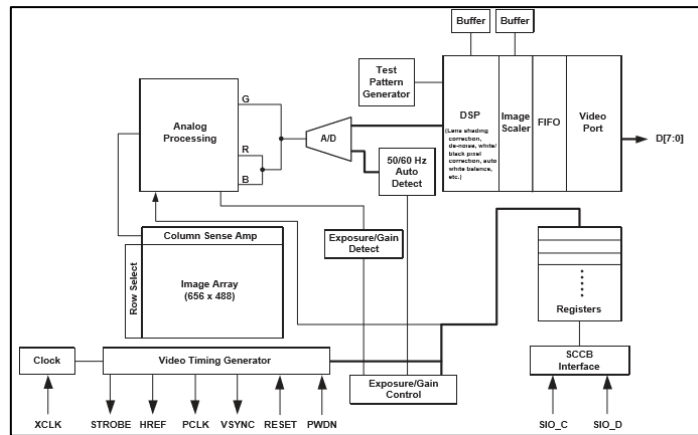
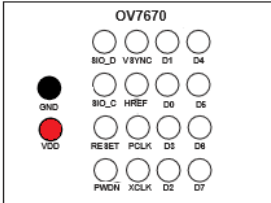


Figura 49: Diagrama de bloques de la arquitectura interna del OV7670 [26]

Los bloques que integran los circuitos se representan en la imagen, cada uno de ellos aporta al sensor las siguientes funcionalidades [26]:

- Video Timing Generator: Se encarga del control de la imagen (tiempo de exposición, tasa de fotogramas) y la generación de las señales de sincronización.
- Analog Processing: Este bloque contiene todas las funcionalidades correspondientes al procesamiento analógico de la imagen como balance de blancos o control de ganancia.
- ADC (Convertidor analógico digital): La imagen con valores analógicos se transforma a valores digitales con una resolución de 10 bits.
- DSP (Digital signal processing): Este bloque contiene funcionalidades correspondientes al tratamiento de las imágenes digitales como realce de bordes, convertidor de formatos (YUV/YCbCr 4:2:2, RGB565/555 y GRB 4:2:2), control de saturación, cancelación de ruido y otro convertidor de 10 a 8 bits.
- Test Pattern Generator: Genera una escala de grises de 8 bits y patrones de color.
- SCCB INTERFACE (serial camera control bus): Se encarga de la configuración de todos los parámetros y funcionalidades de cada uno de los bloques mencionados con anterioridad. Este interfaz está integrado en todos los productos fabricados por OmniVision. El SCCB es una versión del protocolo de comunicación I2C

Determinada la descripción general y la arquitectura interna del sensor se procede a especificar las características eléctricas que se han tener en cuenta a la hora de diseñar el conexionado.



Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V_{DD}	DC supply voltage – Analog	2.45	2.75	3.0	V
$I_{DSS-SCCB}$	Standby Current		1		mA
$I_{DSS-PWDN}$	Standby Current		10	20	μA
V_{IH}	Input voltage HIGH	$0.7 \times V_{DD}$			V
V_{IL}	Input voltage LOW			$0.3 \times V_{DD}$	V
V_{OH}	Output voltage HIGH	$0.9 \times V_{DD}$			V
V_{OL}	Output voltage LOW			$0.1 \times V_{DD}$	V
I_{OH}	Output current HIGH	8			mA
I_{OL}	Output current LOW	15			mA

Figura 50: Terminales y especificaciones eléctricas del OV7670 [26]

La tensión de alimentación del sensor de imagen debe estar dentro del rango de 2.45 y 3 V soportando un máximo de 4,5 V. Las entradas por los terminales del sensor deben ajustarse entre 0.9V ('0' lógico) y 1.72 V ('1' lógico). Las salidas proporcionan una tensión superior o igual a 2.7 V para un '1' lógico y una tensión inferior o igual a 0.245 V. Las corrientes mínimas entregadas por las terminales de salida están comprendidas entre 8 y 15 mA.

4.3 Placa de conexiones

El propósito de este apartado es definir el diseño basado en la parte de conexiones entre los diferentes elementos que conforman el sensor biométrico multimodal. Además de la funcionalidad de interconectar los diferentes componentes electrónicos, dispone de otras conexiones para hacer posible una unión entre el sensor biométrico multimodal y el sistema biométrico integrado en el interior de la FPGA.

El esquemático de la placa de conexiones permite un seguimiento de las conexiones, por lo tanto, se visualiza en la siguiente imagen:

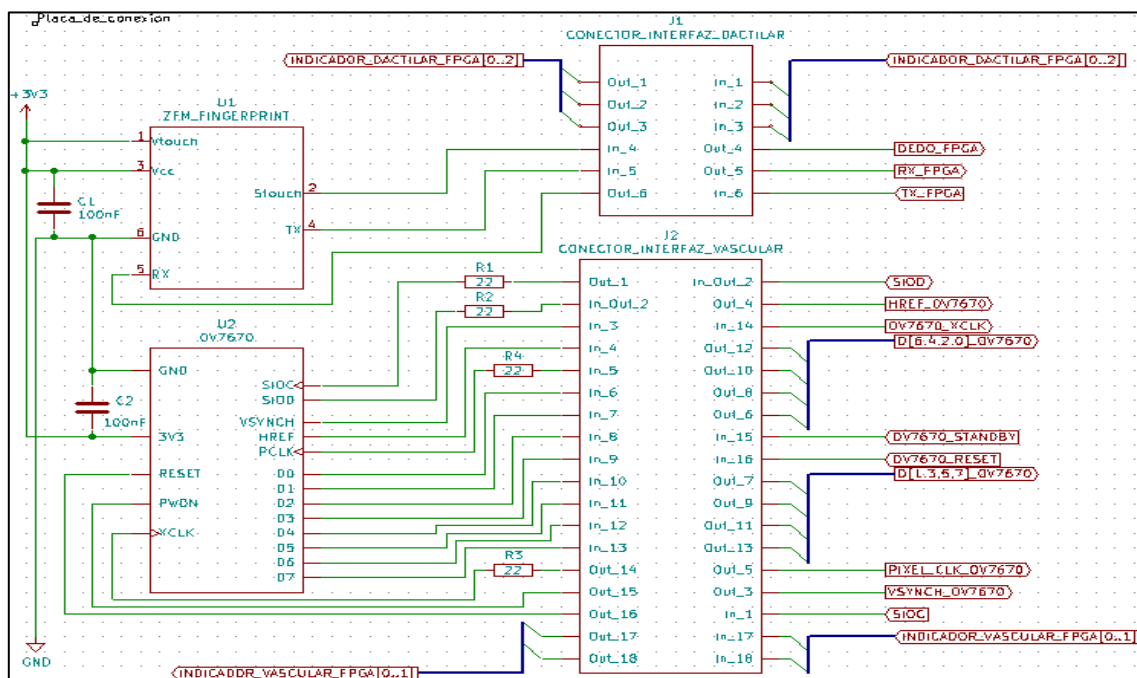


Figura 51: Esquemático de la placa de conexiones

Presentado el esquema de las conexiones, se especifican ciertas características de rutado a tener en cuenta, cuando se elabora el diseño de la PCB.

- Todas las zonas que no hayan sido trazadas por pistas se deben rellenar con GND
- Se procurará que los ángulos, para el cambio de dirección de una pista, sean de 45°.

Las señales de reloj deberán:

- Ser lo más cortas posibles.
- Se cercarán por ambos lados de GND
- Se colocará una resistencia de 22 Ohmios para evitar picos de tensión y corriente en los cambios bruscos.

En general son las señales que en el nombre tengan la palabra “clock” o “clk”, de forma particular, las siguientes señales: XCLK, PCLK y SIOC

Las señales de los buses de comunicación deberán:

- Ser lo más cortas posibles
- Todas con la misma longitud, ajustándolas con retardos en forma de serpentín.

En este diseño, se agrupan por sus relaciones, siendo las siguientes señales: SIOD, SIOC; HREF, VSYNCH, PCLK, [D0...D7]. Las señales de TX, RX no hace falta que estén compensadas ya que es una comunicación asíncrona (UART).

Se coloca una resistencia en la línea de SIOD (R4) para evitar conflicto por colisiones de comunicación, esto se decide diseñar, debido a la información proporcionada por el datasheet de la interfaz SCCB [27].

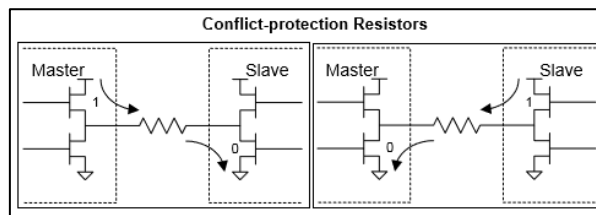


Figura 52: Protección de las líneas serie del interfaz SCCB [27]

Se incluyen unos condensadores de desacoplo, para el filtrado de la alimentación, utilizado para desacoplar señales de AC (corriente alterna) de las CC (corriente continua). Estos condensadores se colocan porque resultan muy útiles para eliminar el ruido. En la figura se puede visualizar los efectos que produce dicho condensador [28]:

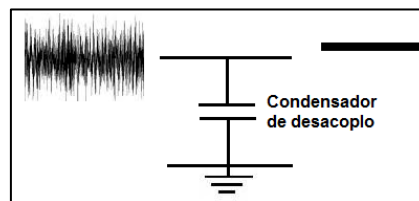


Figura 53: Filtrado de ruido producido por un condensador de desacoplo [28]

Los condensadores se dispondrán lo más cercano a los dispositivos para filtrar las señales y que ningún componente se vea afectado por las señales de AC que introduce la alimentación. El condensador C1 y C2 se ha de colocar lo más cerca de los pines 3V3 (U1 y U2).

Con todas las especificaciones bien definidas se procede a visualizar el resultado final del diseño de la placa de conexiones. En ella es fácilmente reconocible todas las peculiaridades comentadas:

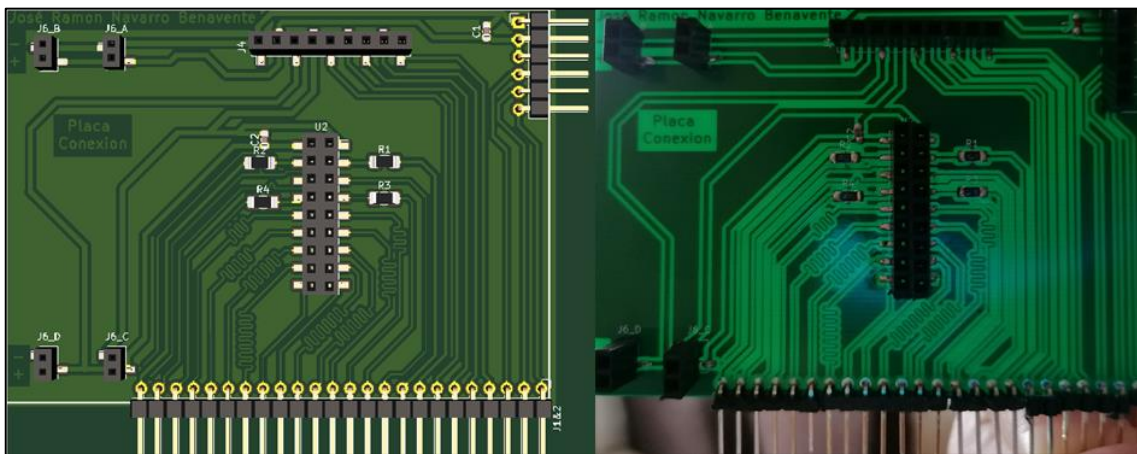


Figura 54: Caras TOP de la PCB placa de conexiones virtual y real

4.4 Placa de alimentación

Todo dispositivo necesita una fuente de alimentación, por ello se satisface dicha condición con la incorporación al diseño de un módulo de alimentación de fácil acoplamiento (modo enchufe). Este módulo se designa como MB102[29].

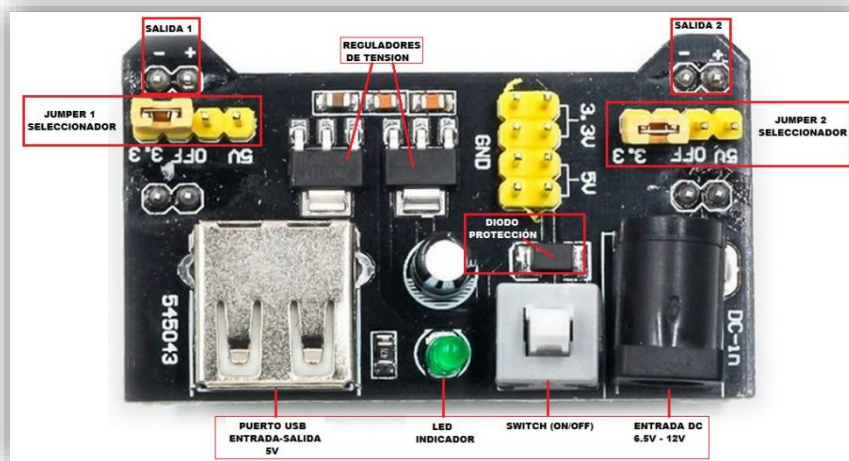


Figura 55: Modulo de alimentación MB102 y la disposición de sus componentes

El MB102 es una fuente de alimentación para prototipos, controlada con un interruptor (ON/OFF), soporta tensiones de entrada entre 6,5V y 12 V (DC). El diseño incorpora un LED, indicador de funcionamiento correcto, dos reguladores de tensiones para poder suministrar dos salidas independientes y seleccionables (puentes en las vías de salida) entre 0V, 3V3 y 5V. El límite máximo de la corriente proporcionada por el

módulo es de 700 mA, ideal para todo el sensor biométrico debido al bajo consumo de los dispositivos que lo conforman.

El diseño anexo en su entrada un diodo en serie, elemento de protección frente a polaridades inversas. El MB102 contiene un puerto USB que sirve como entrada de 5v o en su defecto como salida de 5V.

4.5 Indicadores LED

El sensor biométrico debe ser capaz de representar la información los resultados de una manera sencilla y entendible por los usuarios. En este caso se planteó confeccionar un módulo de acoplamiento a la placa de conexiones, la cual represente el resultado final de cada uno de los métodos de reconocimiento.

El diseño de esta placa es similar a la exhiba en los iluminadores NIR. La alimentación es de 3,3 V y entre los diodos SMD de colores una resistencia de 290 Ω. La única diferencia reside en la tensión de los diodos que en función del color varían entre 3,2V o 3,5V. El diseño del esquema y el PCB resultante es:

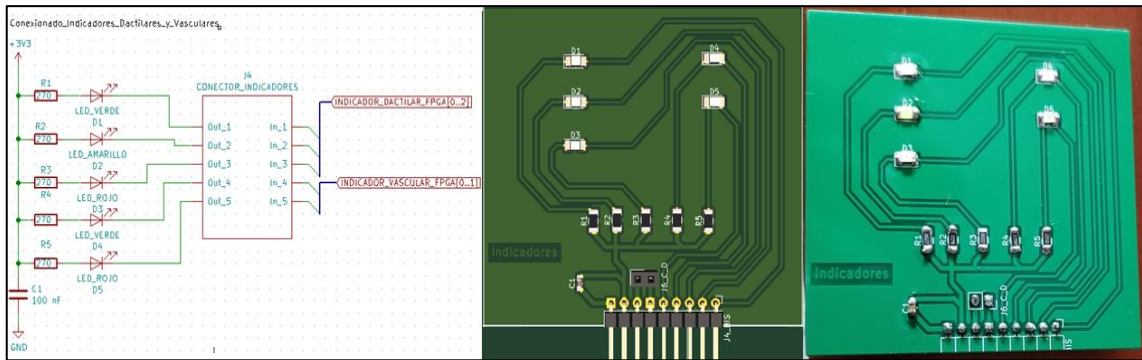


Figura 56: Esquemático y caras TOP de las PCB virtual y real de los indicadores LED

Los LED del lado izquierdo se iluminarán en función de los resultados proporcionados por el sensor dactilar y los del lado derecho tendrán una función similar pero correspondiente con al sensor vascular

Tabla 6: Iluminación de los indicadores en función de su modo de operación

Color LED	Sensor dactilar (Modo buscar)	Sensor dactilar (Modo enrollar)	Sensor vascular
ROJO	Algún comando no se ha recibido adecuadamente o no se reconoce al usuario	Alguna acción no se ha realizado adecuadamente	No sobrepasa umbral y rechaza al usuario
AMARILLO	-	Fase 1 del modo enrollar finalizada	-
VERDE	Se reconoce al usuario	Modo enrollar finalizada con éxito	Sobrepasa el umbral y acepta al usuario

5. Sistema de reconocimiento biométrico

5.1 Tarjeta de desarrollo

En el presente trabajo se requiere una implementación hardware sobre un dispositivo FPGA. La implementación debe contener un sistema con la capacidad de controlar el sensor biométrico, para la adquisición de los datos, y procesar e interpretar los datos adquiridos por el sensor. Por ello se empleó una Open3S500E que es una placa de desarrollo FPGA que consiste en una placa madre “DVK600” y la placa base “Core3S500E” [30]. A continuación, se mencionarán las características de la tarjeta de desarrollo que contiene al sistema biométrico.

DVK600: Es una placa madre que cuenta con conectores de expansión para conectar la placa base “Core3S500E” y multitud de periféricos. En la figura que se muestra se aprecian los diferentes elementos que la componen:

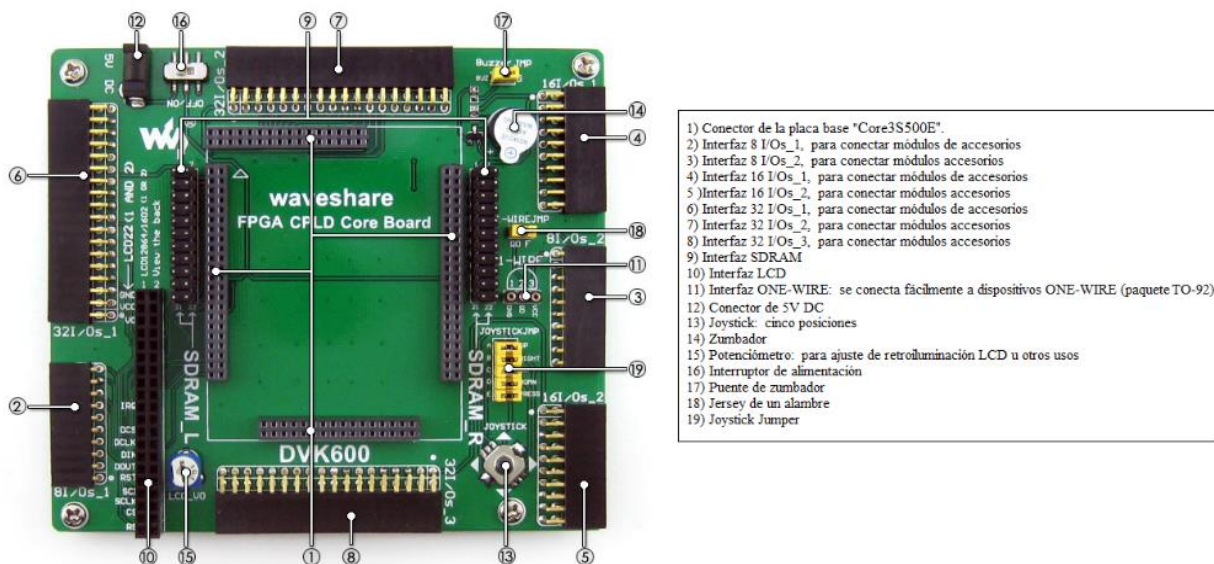


Figura 57:Placa madre DVK600 con la localización de sus componentes [30]

Core3S500E: Es el núcleo de la placa de desarrollo, la cual cuenta con los siguientes componentes:

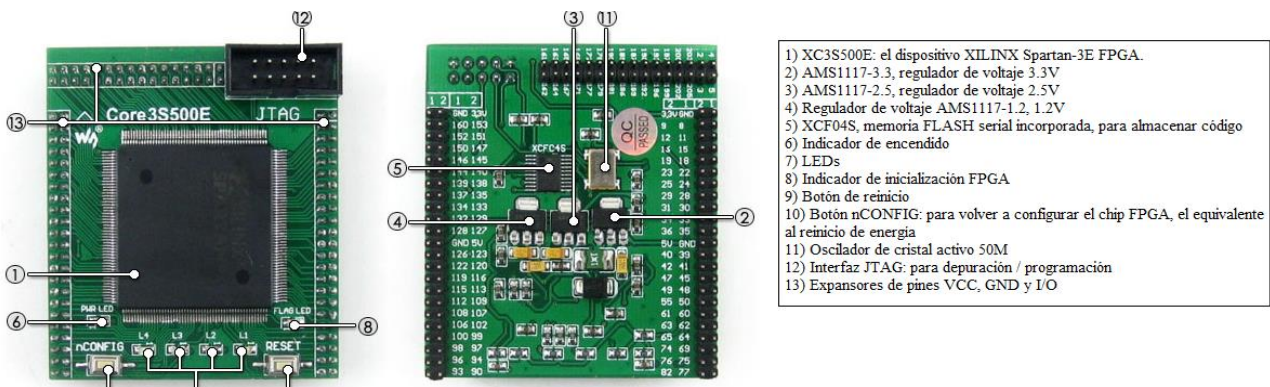


Figura 58:Núcleo de la placa DVK600 con la localización de sus componentes [30]

5.1.1 Spartan3E (FPGA)

Es el dispositivo electrónico fundamental para el desarrollo del trabajo, ya que es el elemento de procesamiento en el cual se lleva a cabo toda la implementación del sistema biométrico. La FPGA utilizada pertenece a la generación SPARTAN-3 y familia E, desarrollada y fabricada por la compañía XILINX, posee los siguientes atributos [31]:

Device	System Gates	Equivalent Logic Cells	CLB Array (One CLB = Four Slices)				Distributed RAM bits ⁽¹⁾	Block RAM bits ⁽¹⁾	Dedicated Multipliers	DCMs	Maximum User I/O	Maximum Differential I/O Pairs
			Rows	Columns	Total CLBs	Total Slices						
XC3S500E	500K	10,476	46	34	1,164	4,656	73K	360K	20	4	232	92

Notes:
1. By convention, one Kb is equivalent to 1,024 bits.

Figura 59:Contenido y características de la SPARTAN 3E [31]

El dispositivo empleado es el XC3S500E con un paquete de encapsulado (QFP208), el número de compuertas son 500.000 con una cantidad total de elementos lógicos de 10.476, distribuido en forma matricial en 46 filas y 34 columnas. Cada CLB es idéntico y contiene 4 SLICES. Los CLB totales son 1164 con un total de SLICES de 4656. La estructura interna de cada CLB de la SPARTAN es:

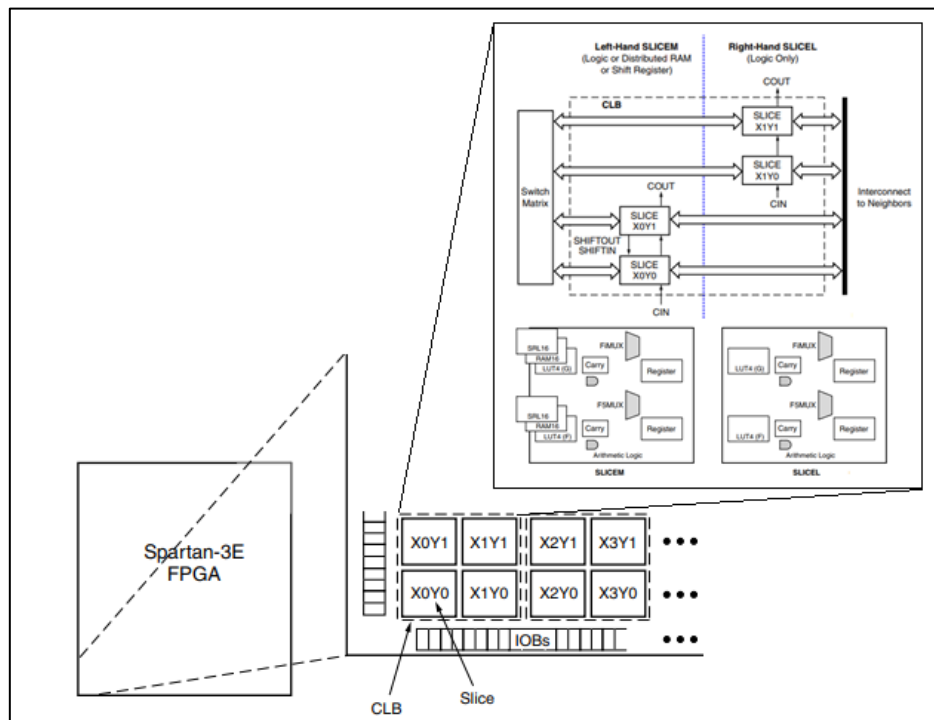


Figura 60:Arquitectura interna de la SPARTAN-3E y la disposición interna de los SLICES dentro de cada CLB [31]

Cada SLICES está agrupado en pares, el par izquierdo SLICESM admite funciones de lógica, memoria y registros de desplazamiento, mientras que el par derecho SLICESL están diseñados para implementar funciones lógicas aun así se pueden emplear para implementar otras funciones como registros de desplazamiento. Los SLICESM pueden llegar almacenar hasta 73Kb.

Además de los CLB se pueden encontrar otros recursos como bloques de memoria RAM distribuidos, de forma intercalada e interconectados con los CLB con una capacidad

total de 360 Kb, 20 multiplicadores y 4 DCM. Estos dos últimos recursos posibilitan la multiplicación y el manejo de relojes digitales sin la necesidad de ocupar los recursos de los CLB.

Para concluir con la descripción de la FPGA se comentarán las características de los puertos de I/O, ya que se deben tener presentes para no dañar el dispositivo. Se disponen de 232 I/O de los cuales solo pueden ser manipulados 116 I/O. Las I/O pueden suministrar entre 1,2 V a 3,3V, es decir, son LVTTL O LVCMOS

5.2 Implementación hardware del sistema de reconocimiento

Durante el apartado se comentarán las funcionalidades de cada módulo diseñado a través del lenguaje de programación VHDL y sus simulaciones temporales, verificando así el funcionamiento de estos.

5.2.1 Sistema biométrico

El módulo denominado sistema biométrico se encarga de rutar las entradas y salidas de los diferentes módulos con las entradas y salidas de la tarjeta de desarrollo. En la figura se aprecia todas las entradas y salidas que contiene el módulo y su estructura interna.

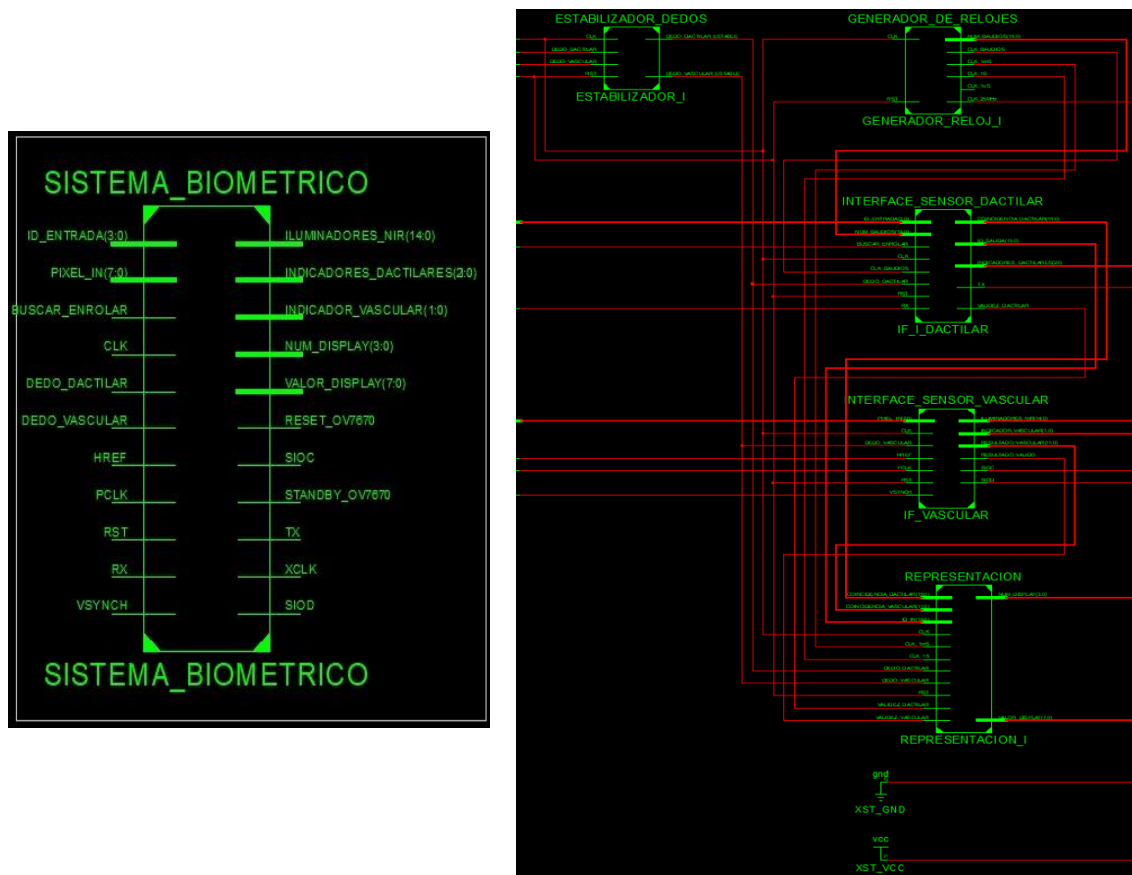


Figura 61: Módulo TOP del sistema biométrico y su arquitectura interna

Se procederá a comentar cada uno de los módulos que componen el sistema definitivo para indicar las funcionalidades que deben ser cumplidas por ellos:

5.2.1.1 Estabilizador

Su función principal es la de garantizar, que las señales provenientes del sensor sean sólidas. Estas señales corresponden a la información de si las zonas fisiológicas a examinar, en nuestro caso los dedos, se encuentra situada sobre el sensor. Se trata de un registro de desplazamiento, compuesto por 10 flip-flop tipo D encadenados. Si ambos contienen el mismo valor se puede asegurar que la señal es sólida.

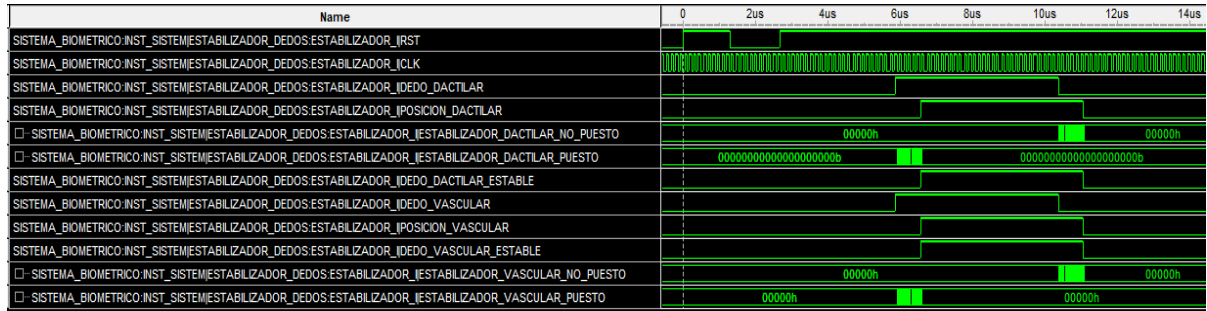


Figura 62: Simulación temporal del módulo "Estabilizador"

Como se observa en la simulación temporal se necesitan varios ciclos de reloj con la señal al mismo nivel para que poder garantizar una salida estable. Las señales DEDO_DACTILAR y DEDO_VASCULAR se encuentran a nivel alto '1' durante más de 10 ciclos de reloj posibilitando así el cambio de nivel en DEDO_DACTILAR ESTABLE y DEDO_VASCULAR_ESTABLE.

5.2.1.2 Generador de relojes digitales

El objetivo del módulo consiste en actuar como un oscilador digital transformando una única frecuencia de entrada (50 MHz) en diferentes frecuencias de salidas. Una de estas salidas tiene una frecuencia de 25 MHz que servirá de señal de reloj para el sensor de imagen. El resto son señales síncronas de control para el módulo de representación (1 KHz y 1 Hz) y la tasa de baudios seleccionables entre el rango de los 9.600 bps hasta los 115.200 bps. Esta última señal solo será utilizada en la interfaz del sensor dactilar.

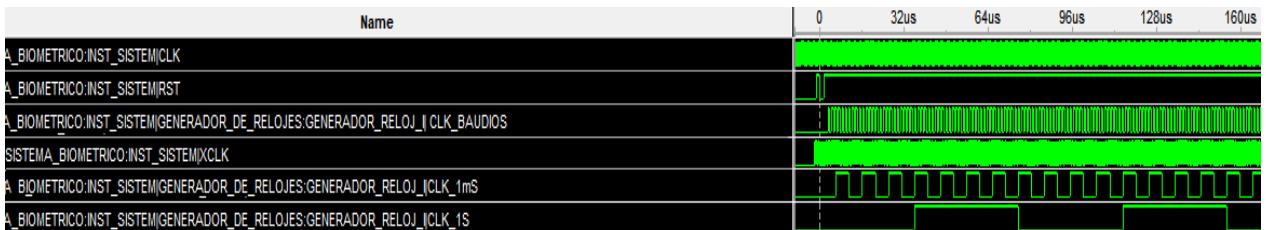


Figura 63: Simulación temporal del módulo "Generador de relojes digitales"

Como se muestra en la simulación temporal del módulo descrito se visualiza como oscilan las diferentes señales cada una de ellas con las frecuencias configuradas, en el caso de CLK_BAUDIOS se han configurado una tasa de baudios de 57.600 bps, ya que es la predeterminada por el sensor dactilar mencionado en el apartado anterior. Para la verificación total del módulo se sacaron todas las señales al exterior de la FPGA y se midieron con un osciloscopio.

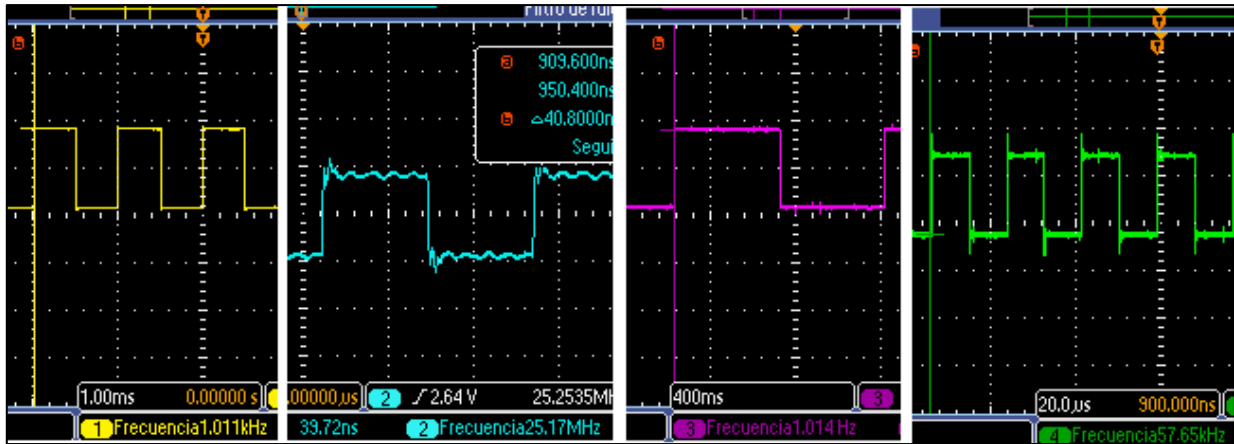


Figura 64: Fragmentos de las capturas del osciloscopio módulo "Generador de relojes"

En la imagen se observan las frecuencias de las señales CLK_1S(amarillo), XCLK (azul), CLK_1Ms (morado) y CLK_BAUDIOS (verde).

La FPGA utilizada dispone de funcionalidades similares a dicho modulo, estas se denominan DCM. Se decide implementar este módulo ya que los DCM solo pueden dividir el reloj de entrada en 16 y es necesario un rango mayor en el trabajo.

5.2.1.3 Interfaz sensor dactilar

Se encarga de entablar la comunicación con el sensor de huellas dactilares, comprobando que la información enviada y la recibida sea la correcta en cada instante de tiempo. Este módulo se compone por los siguientes módulos:

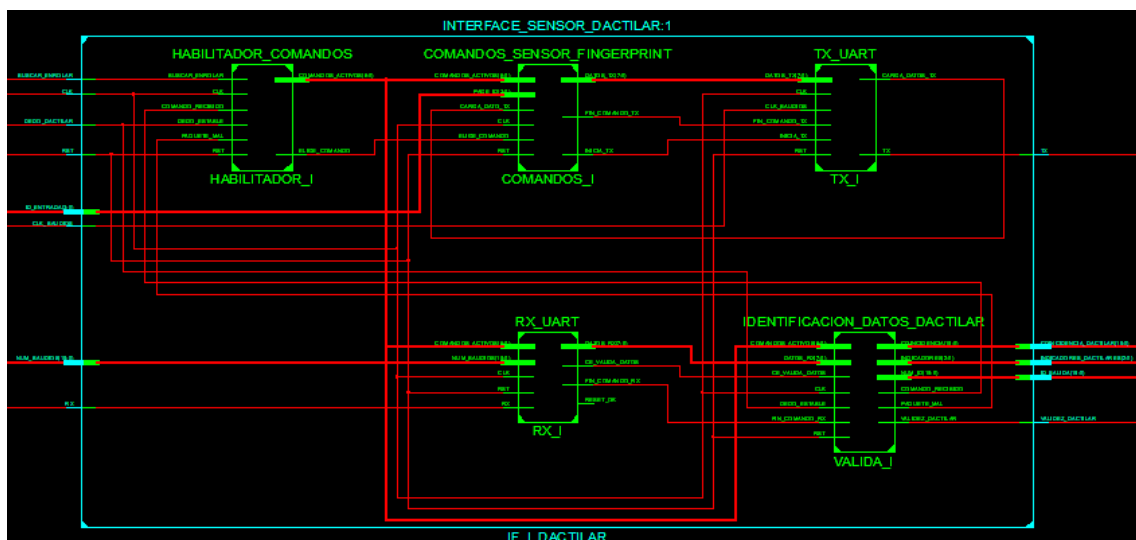


Figura 65:Estructura interna del módulo "interfaz sensor dactilar"

- Habilita comandos: Posee la capacidad de seleccionar los comandos que han de enviarse al sensor dactilar para que ejecute la acción que es deseada en cada momento. Además de seleccionar da la orden para comenzar la transmisión de datos. Para un mejor entendimiento de dicho modulo se enseña su flujo de trabajo:

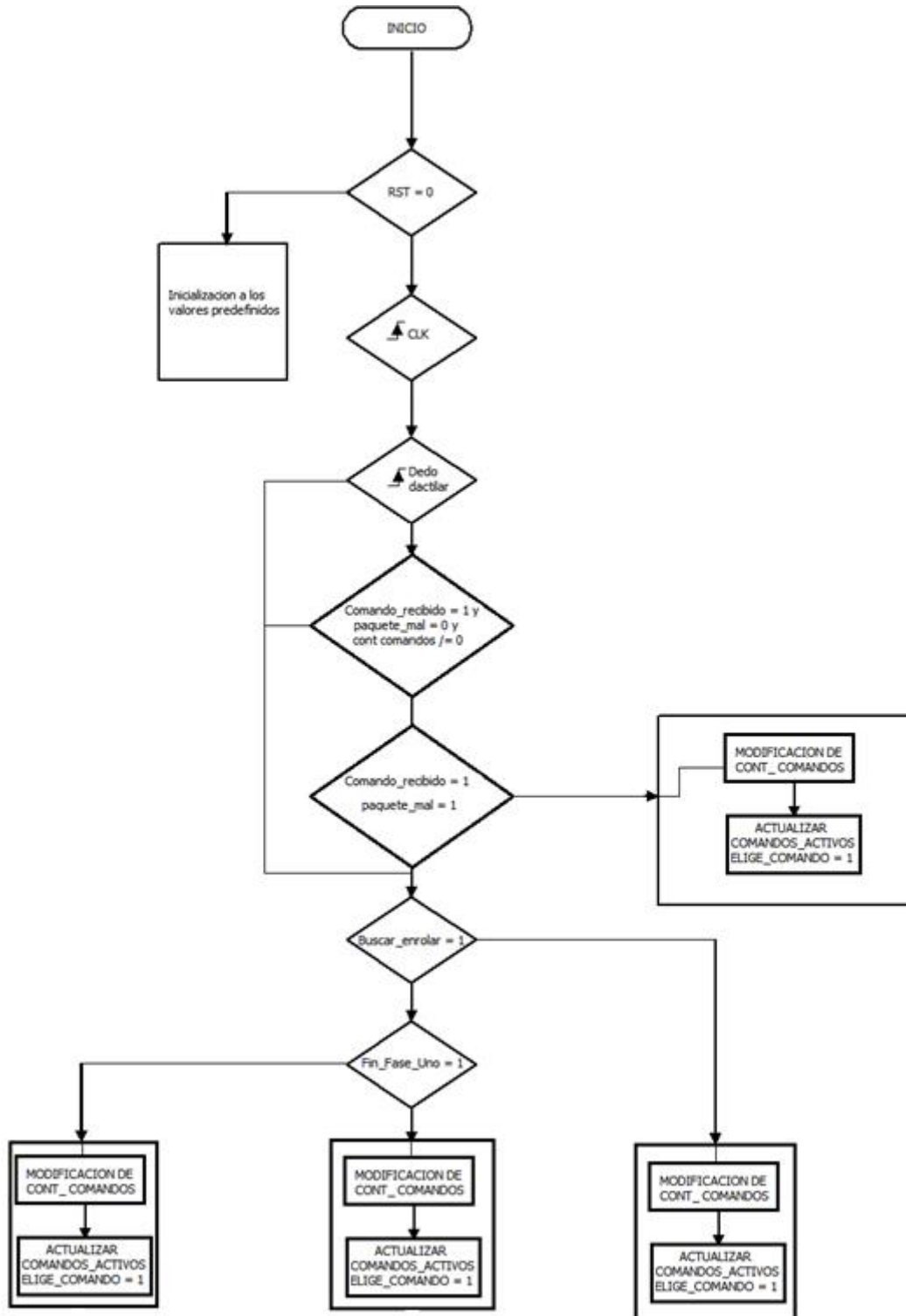


Figura 66: Flujo de trabajo del módulo "Habilita comandos"

- Comandos sensor fingerprint: En su interior están almacenados todos los comandos que serán utilizados tanto en el modo de búsqueda del sensor como en el de almacenamiento. Estos se mencionan en el capítulo 4.

```

---COMANDO HEXADECIMAL CAPTURE FINGERPRINT
CONSTANT COMANDO_1 : STD_LOGIC_VECTOR(95 DOWNTO 0) :=X"EF01FFFFFFFFF0100030000005";
---COMANDO HEXADECIMAL GENERATE CHARACTER FILE CHARBUFFER 1
CONSTANT COMANDO_2 : STD_LOGIC_VECTOR(103 DOWNTO 0) :=X"EF01FFFFFFFFF01000400000008";
---COMANDO HEXADECIMAL GENERATE CHARACTER FILE CHARBUFFER 2
CONSTANT COMANDO_3 : STD_LOGIC_VECTOR(103 DOWNTO 0) :=X"EF01FFFFFFFFF01000400000009";
---COMANDO HEXADECIMAL GENERATE TEMPLÁTE
CONSTANT COMANDO_4 : STD_LOGIC_VECTOR(95 DOWNTO 0) :=X"EF01FFFFFFFFF0100030000009";
---COMANDO HEXADECIMAL STORE TEMPLATE BUFFER 1 OR BUFFER 2
CONSTANT COMANDO_5 : STD_LOGIC_VECTOR(87 DOWNTO 0) :=X"EF01FFFFFFFFF0100060000";--ANADIR-->XX
---COMANDO HEXADECIMAL SEARCH
CONSTANT COMANDO_6 : STD_LOGIC_VECTOR(135 DOWNTO 0) :=X"EF01FFFFFFFFF0100080000000000FF010D";
---COMANDO HEXADECIMAL SEARCH (RESIDUAL)
CONSTANT COMANDO_7 : STD_LOGIC_VECTOR(135 DOWNTO 0) :=X"EF01FFFFFFFFF0100085601000000FF015F";
    
```

Figura 67:Comandos del sensor Fingerprint

- TX_UART: La funcionalidad principal del módulo es la de simular las características de una línea de transmisión serie enviando la información de los comandos al sensor dactilar. Las características que han de ser simuladas se describieron en el capítulo 2. Para adecuar estas peculiaridades de la transmisión se decide utilizar una máquina de estados.

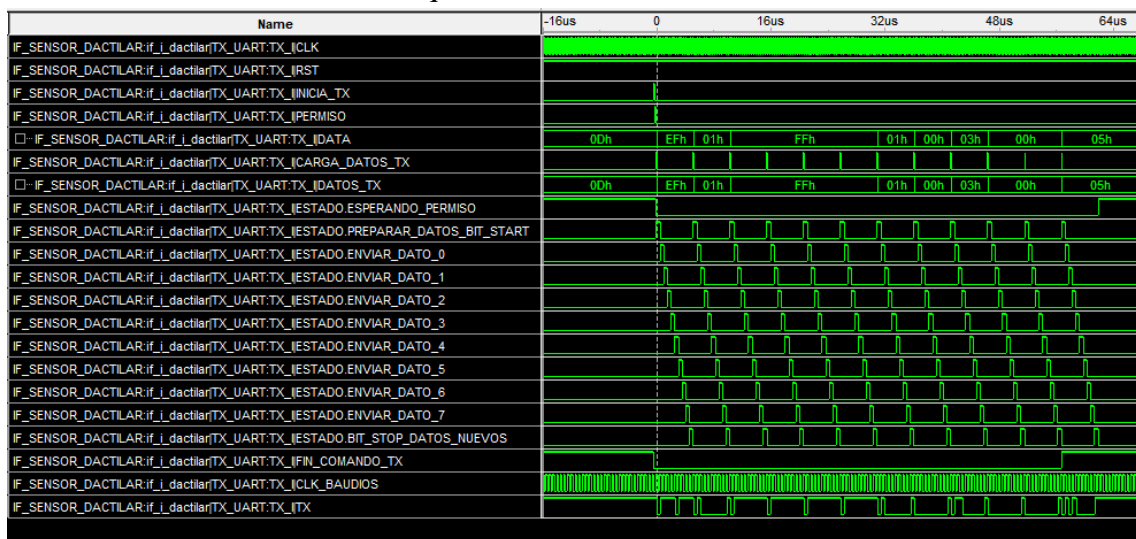


Figura 68: Simulación temporal del módulo "TX_UART"

En la simulación temporal de la imagen se observa como a medida que CLK_BAUDIOS da un flanco de subida van transcurriendo todos los estados. Además, se aprecian los flancos de la señal CARGA_DATOS_TX al terminar de enviar un dato y la modificación del dato antes de ser enviado por la línea serie. Al terminar el comando FIN_COMANDO_TX debe ponerse a uno para señalar que todo el paquete de datos ha sido enviado al sensor Fingerprint. La línea serie TX es difícil de observar por ello es ampliada en la siguiente imagen.

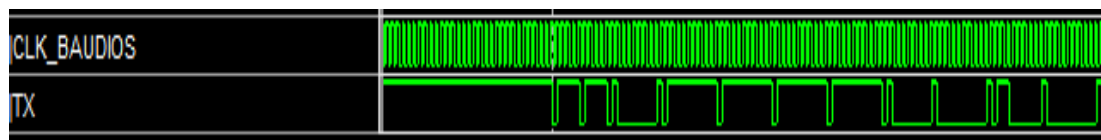
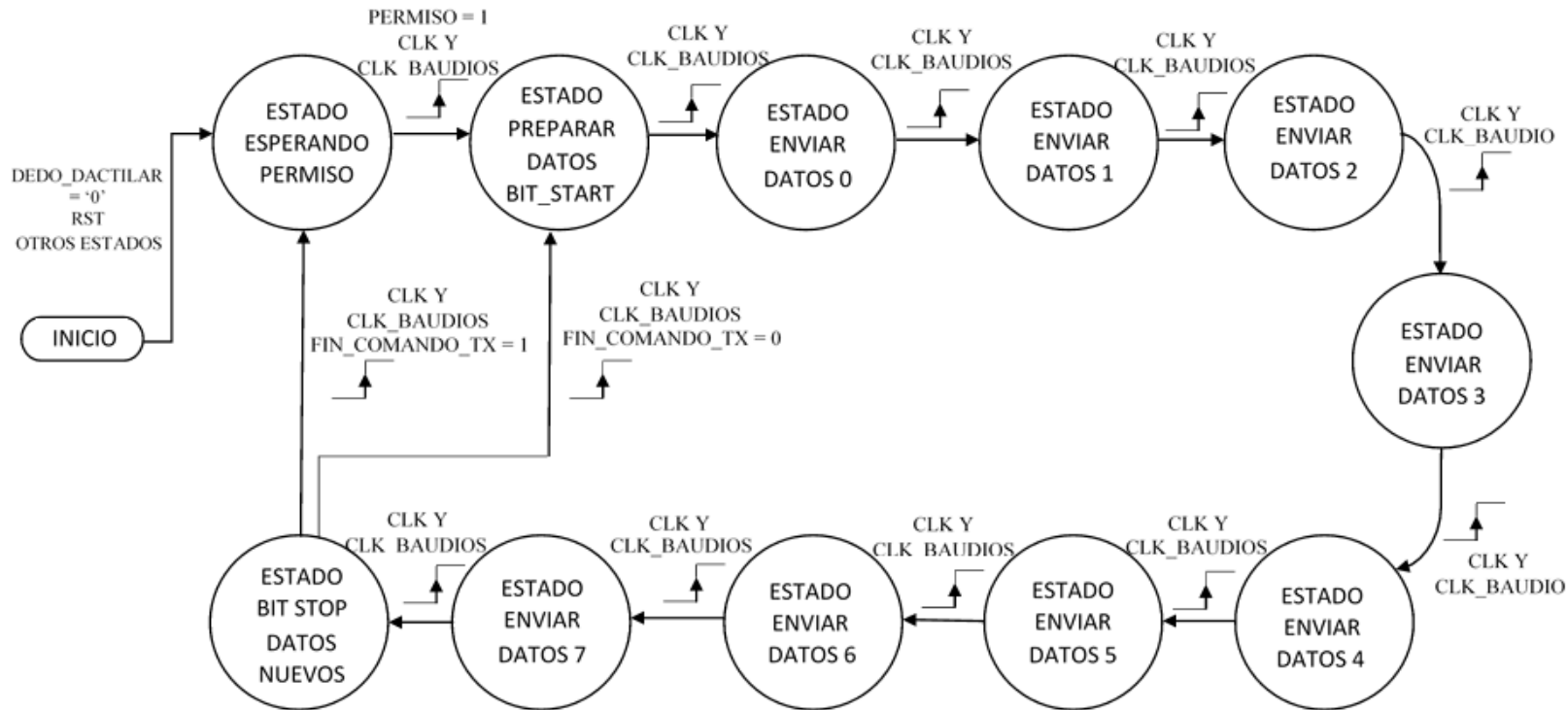


Figura 69:Fragmento de la línea serie TX y su reloj CLK_BAUDIOS



- ESTADO ESPERANDO PERMISO →

TX = '1' CARGA DATOS TX = '1'

- ESTADO PREPARAR DATOS BIT START →

TX = '0' DATA = DATOS TX

- ESTADO ENVIAR DATO 0 →

TX = DATA (0)

- ESTADO ENVIAR DATO 1 →

TX = DATA (1)

- ESTADO ENVIAR DATO 2 →

TX = DATA (2)

- ESTADO ENVIAR DATO 3 →

TX = DATA (3)

- ESTADO ENVIAR DATO 4 →

TX = DATA (4)

- ESTADO ENVIAR DATO 5 →

TX = DATA (5)

- ESTADO ENVIAR DATO 6 →

TX = DATA (6)

- ESTADO ENVIAR DATO 7 →

TX = DATA (7)

- ESTADO BIT STOP DATOS NUEVOS →

TX = '1' CARGA_DATOS_TX = '1' Solo si va al estado preparar datos bit start

Figura 70: Máquina de estados del módulo "TX_UART"

- RX_UART: Es muy similar al módulo descrito anteriormente, en este caso se utiliza otra máquina de estados para que recoja la información proveniente del sensor. Además, este módulo tiene la capacidad de simular la señal de sincronización de la transmisión del exterior. Para una buena comunicación es necesario recolectar los datos en sus instantes de tiempo más estable, por ello se decide utilizar el flanco de bajada de la señal simulada.

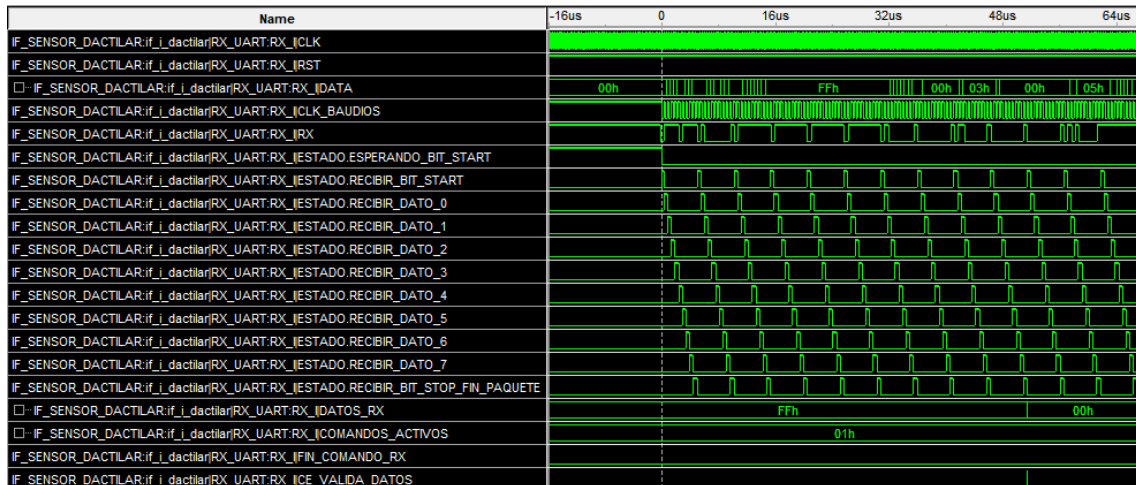


Figura 71: Simulación temporal del módulo "RX_UART"

Se observa como la máquina de estados pasa correctamente por cada uno de ellos una vez que la línea RX recibe el paquete de datos del sensor. El reloj CLK_BAUDIOS simula el reloj externo y se pone a oscilar una vez recibe los datos del sensor. Gracias al datasheet del sensor se conoce cuáles son los datos que deben ser analizados para confirmar si la acción ha sido ejecutada adecuadamente. En el caso presentado se escogen los datos 10 (Código de confirmación de la acción) y el 13 (Checksum) ambos deben ser analizados, por ello se habilita el CE de la siguiente etapa.

En caso de recibir otro comando en su interior tiene definido los datos que deben ser llevados a análisis. En la siguiente imagen se observa como al recibir el comando de búsqueda el módulo se queda con los datos 10 (Código de confirmación), 11,12 (Coincidencia entre muestras) 13 (Identificador ID de muestra) y 16 (Checksum)

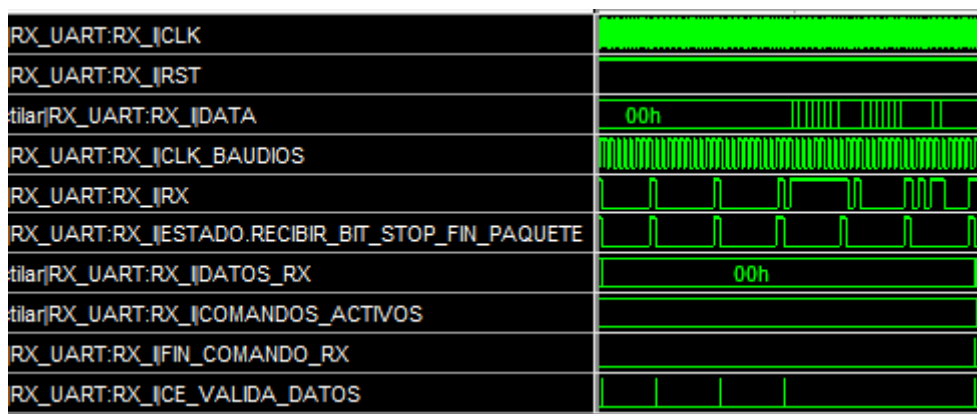


Figura 72: Fragmento de simulación temporal del módulo "RX_UART"

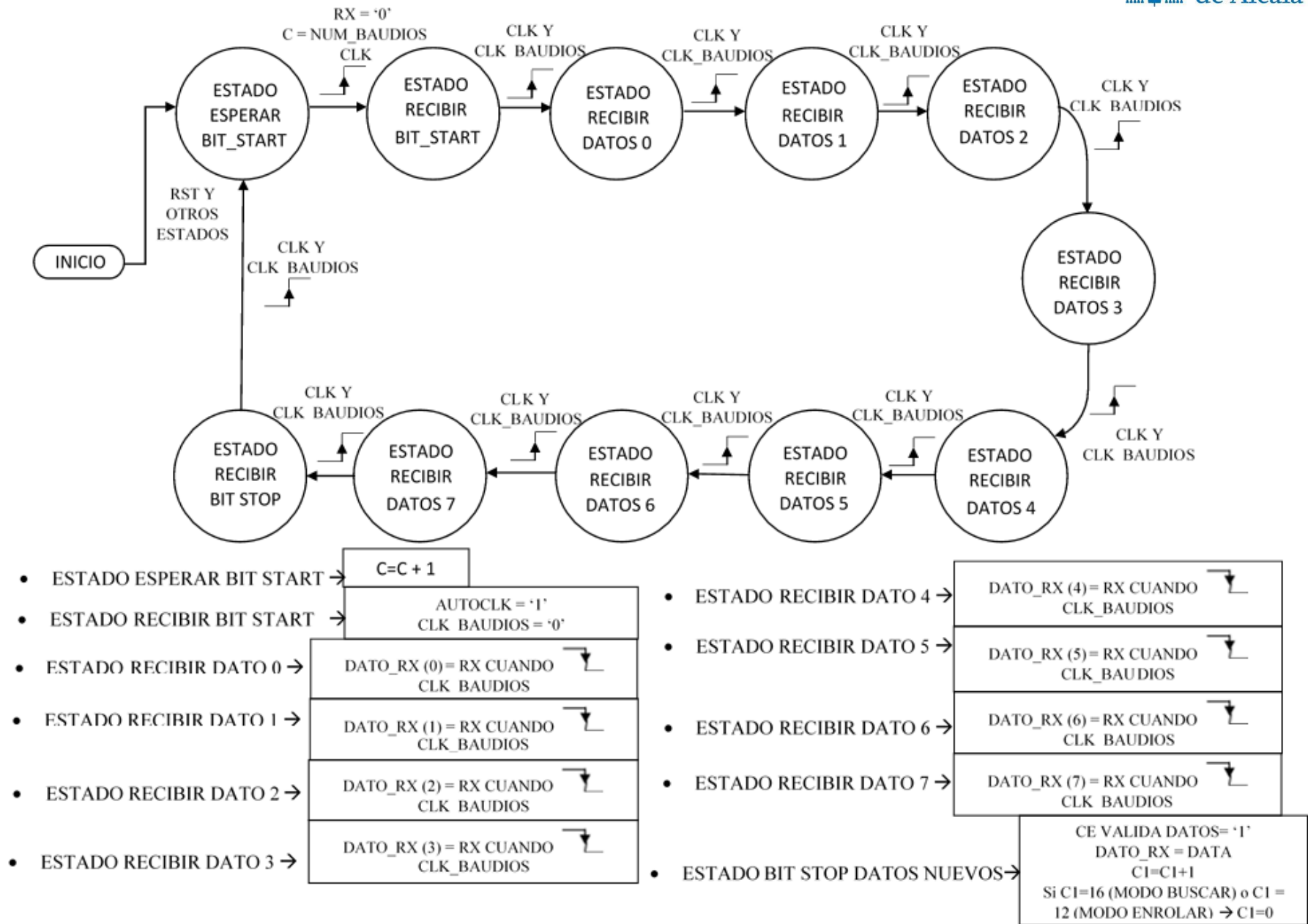


Figura 73: Máquina de estados del módulo "RX_UART"

- Identificación de datos dactilar: Una vez terminada la recepción del paquete de datos es obligatorio comprobar el contenido. Este módulo verifica si la ejecución de la acción realizada por el sensor de huellas dactilares ha tenido éxito o si por el contrario es necesario volver a realizarse. Si el resultado es positivo se avanzará al siguiente comando, en caso de un resultado negativo se volverá a intentar el mismo comando. El resultado de este módulo servirá de retroalimentación al habilitador de comandos, además de la visualización en la placa de indicadores LED.

5.2.1.4 Interfaz sensor vascular

Se encarga de la configuración del sensor de imágenes OV7670, captura de la imagen proporcionada por el sensor, procesamiento de la imagen para la extracción de sus características y la verificación entre las peculiaridades de la imagen capturada y la imagen base. Este módulo está formado por:

Interfaz SCCB

Esta interfaz debe ser similar a la determinada por OmniVision para configurar el sensor de imagen. Para ello, se desglosa la interfaz en los siguientes submódulos, que son:

- Comandos SCCB: Se almacenan todos los comandos que van a configurar el sensor de imagen. Estos comandos han sido elegidos previamente, a través de la visualización del datasheet facilitado por el fabricante. Todos ellos llevan delante el número en hexadecimal x"42" dato necesario para escribir en el sensor de imagen

```

---INTRODUCIR LOS COMANDOS QUE SE VAYAN A CONFIGURAR
--RESET PARA RESTAURAR LA CONFIGURACION PREDETERMINADA
CONSTANT COMANDO_1 : STD_LOGIC_VECTOR(15 DOWNTO 0) :=X"1201";
--COMANDO PARA CAMBIAR FORMATO A MODO YUV
CONSTANT COMANDO_2 : STD_LOGIC_VECTOR(15 DOWNTO 0) :=X"1200";
--COMANDO PARA MODIFICAR A MODO NOCHE CON UNA MAYOR APERTURA Y EXPOSICION DE LA LENTE
CONSTANT COMANDO_3 : STD_LOGIC_VECTOR(15 DOWNTO 0) :=X"3B80";

```

Figura 74: Comandos de configuración sensor de imagen OV7670

- Reloj y bloqueo del SCCB: Misma funcionalidad que el módulo genera relojes, pero en esta ocasión solo se transforma la frecuencia de entrada de 50 MHz a una señal de 400 KHz como oscilador digital para entablar una comunicación síncrona entre las interfaces de la FPGA y el sensor de imagen. La frecuencia elegida está determinada como máxima en el datasheet de la cámara OV7670, se decide esta frecuencia para agilizar la configuración del sensor. Terminada la configuración se bloqueará esta interfaz posibilitando así un mejor rendimiento de la FPGA.
- Control SCCB: Es el más importante de todo el subconjunto ya que trata de imitar las peculiaridades de la comunicación SCCB, creada por OmniVision. Para la implementación de este interfaz se acabó solventando con una máquina de

estados. Las particularidades presentadas por la interfaz SCCB de OmniVision pueden verse en su hoja de características siendo las siguientes:

- Bit de Start: El inicio de la transmisión de datos se indica mediante una transición de flotante ‘Z’ a alta o "1" en la señal SIO_D seguida de una afirmación de la señal a baja o "0". El SIO_C debe ser alto o "1" durante la afirmación de la señal SIO_D a bajo o "0". Todas las transacciones en la señal SIO_D solo pueden ocurrir cuando el SIO_C es bajo o "0"[27].

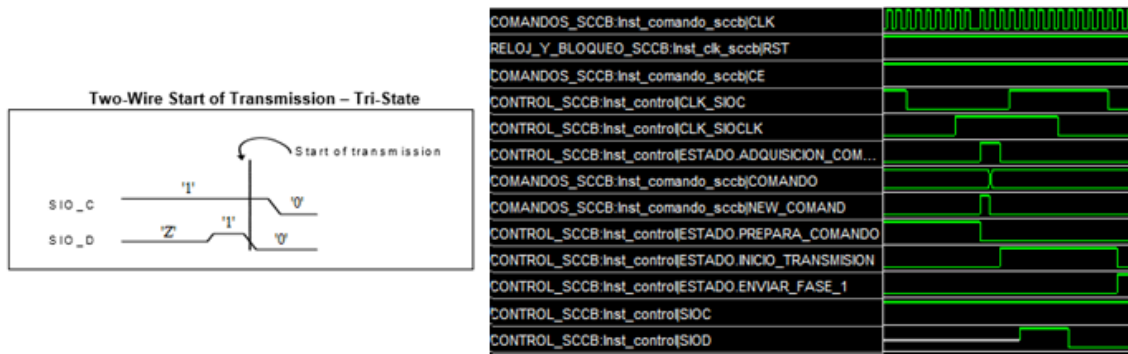


Figura 75: Condición de Start del datasheet y fragmento de la simulación temporal del módulo "Control SCCB"

En la simulación temporal se representa la condición del inicio de transmisión en donde se aprecia la descripción de arriba en las señales de SIOD y SIOC para darse esta singularidad.

- Bit de Stop: Una parada de la transmisión de datos se indica mediante una transición de la señal SIO_D de baja o "0" a alta o "1" mientras la señal SIO_C es alta o "1". Una vez que SIO_D ha hecho la transición a alta y se ha producido la detención de la transmisión (un tiempo mínimo de 15 ns), el maestro puede devolver la señal SIO_D al estado flotante ‘Z’ [27].

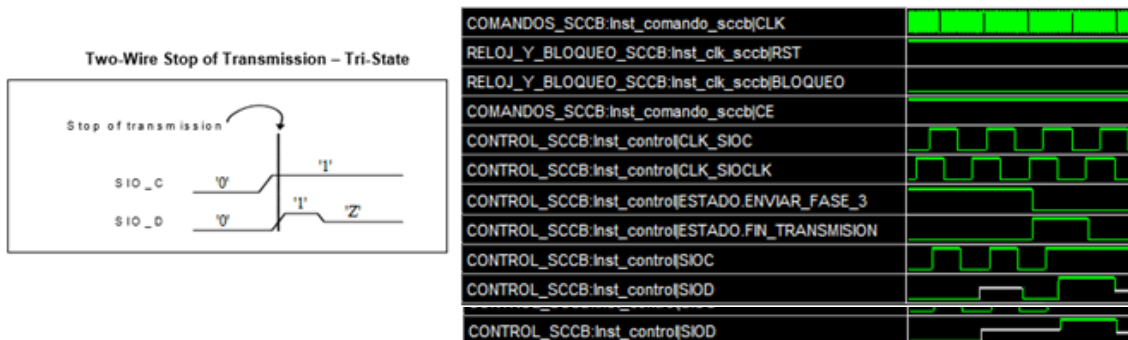


Figura 76: Condición de Stop del datasheet y fragmento de la simulación temporal del módulo "Control SCCB"

En la simulación temporal se visualiza como las señales SIOC y SIOD interpreta los pasos descritos para indicar la parada de la transmisión. El tiempo mínimo de 15 ns se cumple y es siempre inferior ya que los ciclos de reloj contienen un periodo de 20 ns.

- Cambios entre fases: La comunicación de la interfaz SCCB consta de tres fases, entre ellas deben introducirse un bit de “Don’t care” según indica el datasheet de

dicha interfaz. Este bit tiene el propósito de indicar fines de transmisión de fase y se representa en el estado flotante ‘Z’ [27].

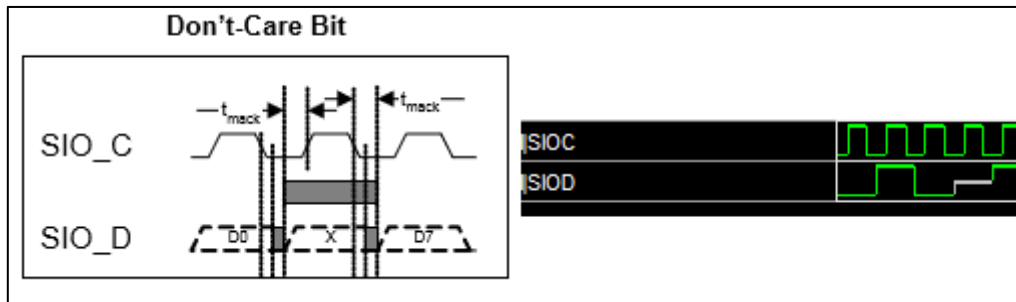


Figura 77: Características "Don't Care bits" del datasheet y la simulación temporal del módulo "Control SCCB"

En la simulación temporal se refleja el cambio de comando para indicar que termina una fase y comienza la siguiente, la singularidad se cumple en las señales SIOD y SIOC.

Seguidamente, se mostrará únicamente las señales SIOD y SIOC en una simulación en la cual se envía un comando al sensor de imagen, esta simulación temporal puede ser comparada con la forma del ciclo representada en la hoja de características del fabricante. En ellas pueden observarse todas las peculiaridades que contiene la interfaz SCCB.

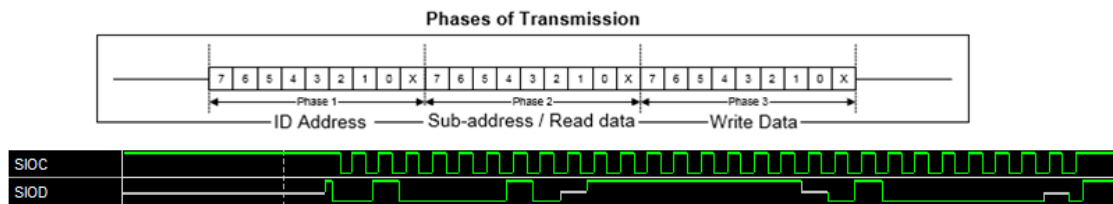
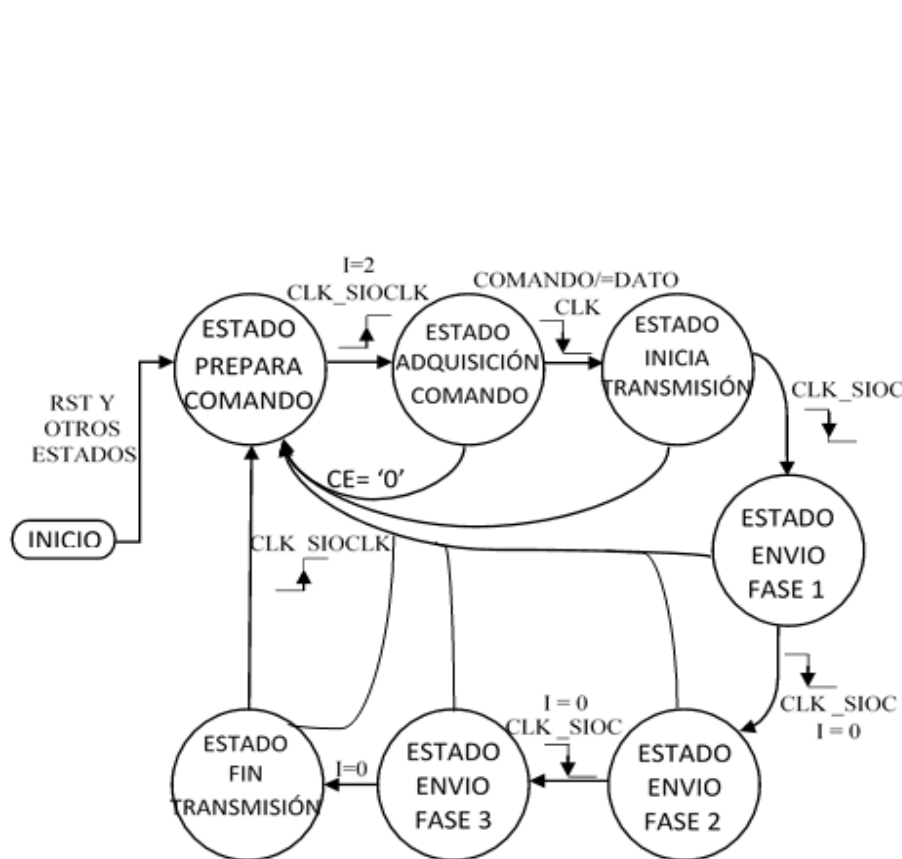


Figura 78: Ciclo de transmisión del datasheet y su simulación temporal del módulo "Control SCCB"



- ESTADO PREPARA COMANDO →

I=I + 1
 Al cambiar
 NEW_COMAND = '1'
 DATA=COMANDO
- ESTADO ADQUISICION COMANDO →

SIOD = 'Z'
 Al cambiar
 SIOC = '1'
 FASE 2= COMANDO (15 DOWNTO 8) & 'Z'
 FASE 3= COMANDO (7 DOWNTO 0) & 'Z'
- ESTADO INICIA TRANSMISION →

SIOC = CLK_SIOC CUANDO CLK_SIOC
 SIOD = '1' CUANDO CLK_SIOC
 SIOD = '0' CUANDO CLK_SIOCLK
 Al cambiar
 I=9
- ESTADO ENVIAR FASE 1 →

SIOC = CLK_SIOC
 SIOD = FASE 1 (I) CUANDO CLK_SIOCLK
 I = I - 1 CUANDO CLK_SIOCLK
 Al cambiar
 I = 9
- ESTADO ENVIAR FASE 2 →

SIOC = CLK_SIOC
 SIOD = FASE 2 (I) CUANDO CLK_SIOCLK
 I = I - 1 CUANDO CLK_SIOCLK
 Al cambiar
 I = 9
- ESTADO ENVIAR FASE 3 →

SIOC = CLK_SIOC
 SIOD = FASE 3 (I) CUANDO CLK_SIOCLK
 I = I - 1 CUANDO CLK_SIOCLK
 Al cambiar
 I = 9
- ESTADO FIN TRANSMISION →

I=0
 SIOC = '1' CUANDO CLK_SIOC
 SIOD = '1' CUANDO CLK_SIOCLK
 SIOD = 'Z' CUANDO CLK_SIOCLK

Figura 79: Máquina de estados del módulo "Control SCCB"

Una vez configurada el sensor para obtener las imágenes con las propiedades adecuadas, llega la hora de implementar el algoritmo elaborado y comentado en el capítulo 3.

Implementación algoritmo esqueletización y comparación

En esta sección intervienen la toma de la imagen y su posterior tratamiento para la extracción y comparación del árbol venoso. En el siguiente diagrama de bloques se aprecia cómo se lleva a cabo todo el algoritmo:

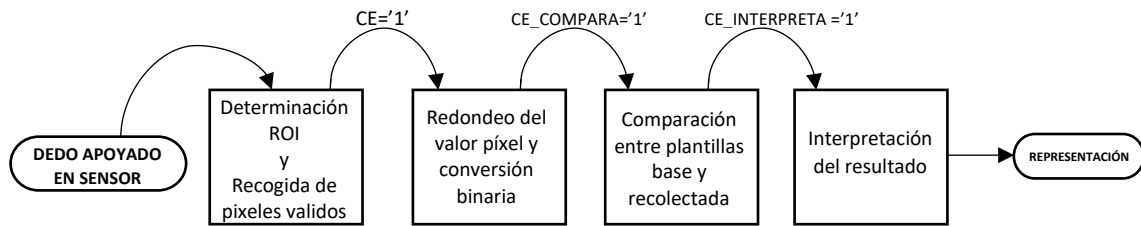


Figura 80: Diagrama de bloques del algoritmo de esqueletización y comparación

- Captura frame: Posee varias funcionalidades, todas contribuyen a obtener una imagen de las venas de los dedos.

La primera funcionalidad consiste en determinar y contar los flancos de las señales HREF, VSYNCH y PCLK procedentes del sensor las cuales son importantes ya que anuncian la fila y columna, por donde se encuentra la imagen. En todas las capturas de imágenes tomadas se obtienen en el 4 frame.

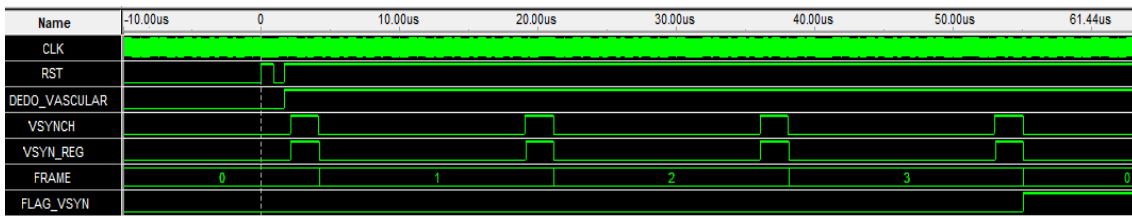


Figura 81: Simulación temporal "Captura frame" para buscar el 4 frame

La segunda funcionalidad que presenta el módulo es el control sobre la placa de iluminadores LED NIR, que serán encendidos solo el instante de tiempo que dure la captura de la imagen.

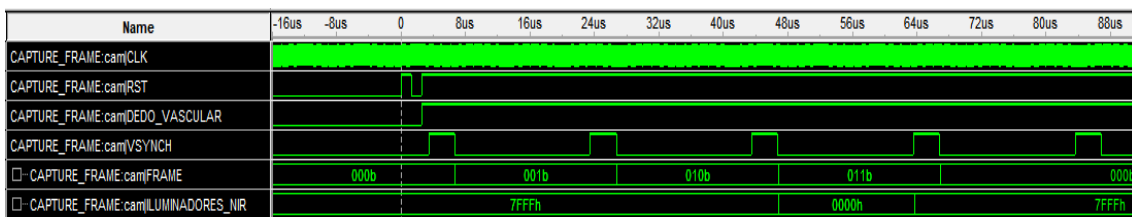


Figura 82: Simulación temporal "Captura frame" para encender los iluminadores LED

En la simulación temporal se puede apreciar como con la señal VSYNCH y la señal de DEDO_VASCULAR, se determina el 4 frame, encendiendo y posibilitando así la iluminación sobre el dedo.

La tercera funcionalidad, es la recogida de los pixeles válidos, es decir, aquella región donde se encuentra situado el dedo iluminado con su árbol venoso. La región se habilitará cuando los flancos de las señales de HREF y PCLK obtenga los valores previamente configurados. Esta funcionalidad permite eliminar la búsqueda del contorno del dedo en una imagen entera, ya que ha sido restringida a través de la apertura creada en el sensor biométrico multimodal.

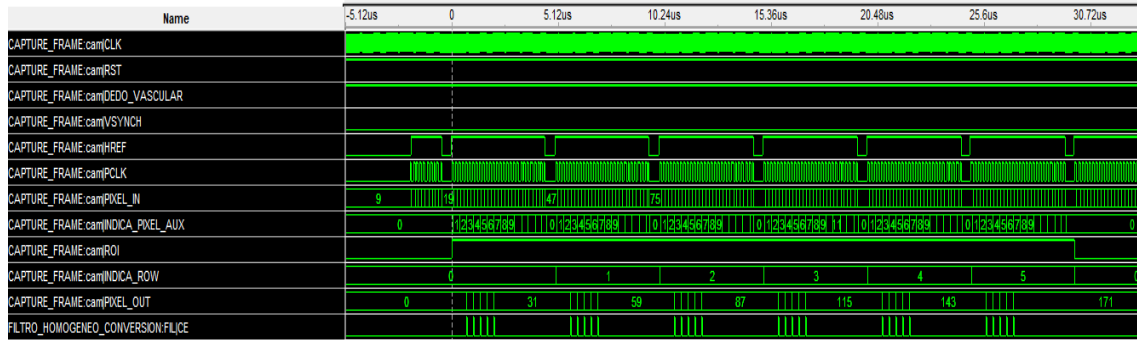


Figura 83: Simulación temporal "Captura frame" determinando la región de interés

Se observa en la simulación temporal como la ROI del 4 frame se habilita entre la fila 0 y la fila 5 y los pixeles validos se encuentran entre las columnas 2 y 6. Los pixeles se consideran validos cuando la señal de CE este activa y su valor representa la luminosidad en dicho píxel.

- Filtro homogéneo y conversión: El valor de la luminosidad de los pixeles será modificado en este módulo, se redondean los pixeles vecinos consiguiendo un efecto de difuminado. Además de esta funcionalidad se genera una umbralización doble, es decir, si el valor se encuentra entre los limites impuesto $X_{\min}=78$; $X_{\max}=128$; $Y_{\min}=111$; $Y_{\max}=168$. Se procede a poner un '0', si es el caso contrario un '1'. Todo ello solo se actualizará cuando el píxel recogido se encuentre en la ROI.

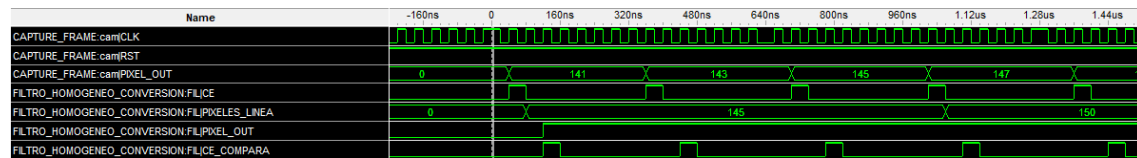


Figura 84: Simulación temporal del módulo "Filtro homogéneo y conversión"

En la imagen se aprecia como los valores validos se redondean a valores múltiplos de 5 cercanos a su valor debido a que el valor no está comprendido entre los umbrales sale un '1' y se envía una señal de control para la etapa posterior.

- Verificador: El módulo almacena la plantilla digital del árbol venoso a reconocer (usuario). La comparación se lleva a cabo píxel a píxel, la comparación se realiza entre el píxel almacenado y el obtenido por el sensor.

Tras tener comparada toda una fila se habilita la señal de activación y se envía el contador de pixeles iguales hacia la última etapa.

- Interpreta matchschores: Una vez llega la señal de activación al módulo se procede a darle un valor a la comparación realizada. En función del contador de pixeles iguales se pondera el resultado final de equivalencia tal y como muestra la tabla:

Tabla 7: Ponderación por la coincidencia de la línea

Pixeles iguales en 1 fila	Ponderación (%)
40 - 50	2.0
30 - 39	1.0
20 - 29	0.5
10 - 19	0.2
5 - 10	0.1
0-4	0.0

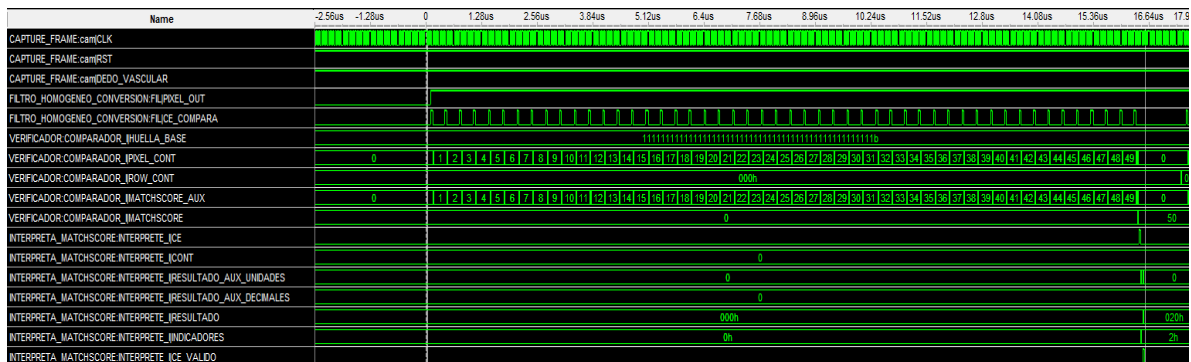


Figura 85: Simulación temporal de los módulos "Verificador" e "Interpreta matchschores"

En la imagen se muestra una simulación en conjunto del módulo verificador e interpreta matchschores. Se aprecia como la plantilla digital almacenada contiene todos '1' y la plantilla procesada también corresponde con una línea con todo '1' por ello tenemos una coincidencia total en la línea (matchscore = 50). Tras habilitar el módulo de interpreta se acaba actualizando y aumenta un 2% en el resultado final.

5.2.1.5 Representación

Es un módulo para aumentar las prestaciones al sistema biométrico, sirve para informar al usuario de los resultados obtenidos. Está conformado por los siguientes submódulos:

- Convertir información: El cometido principal del módulo consiste en actualizar los valores a mostrar por los displays, cuando reciban una señal de control. Además de los valores se muestran identificadores para comprender la información, los identificadores que aparecen son “-Id-”, “-dAC” y “VASC”. El diagrama de flujo proporciona un mejor entendimiento del módulo.

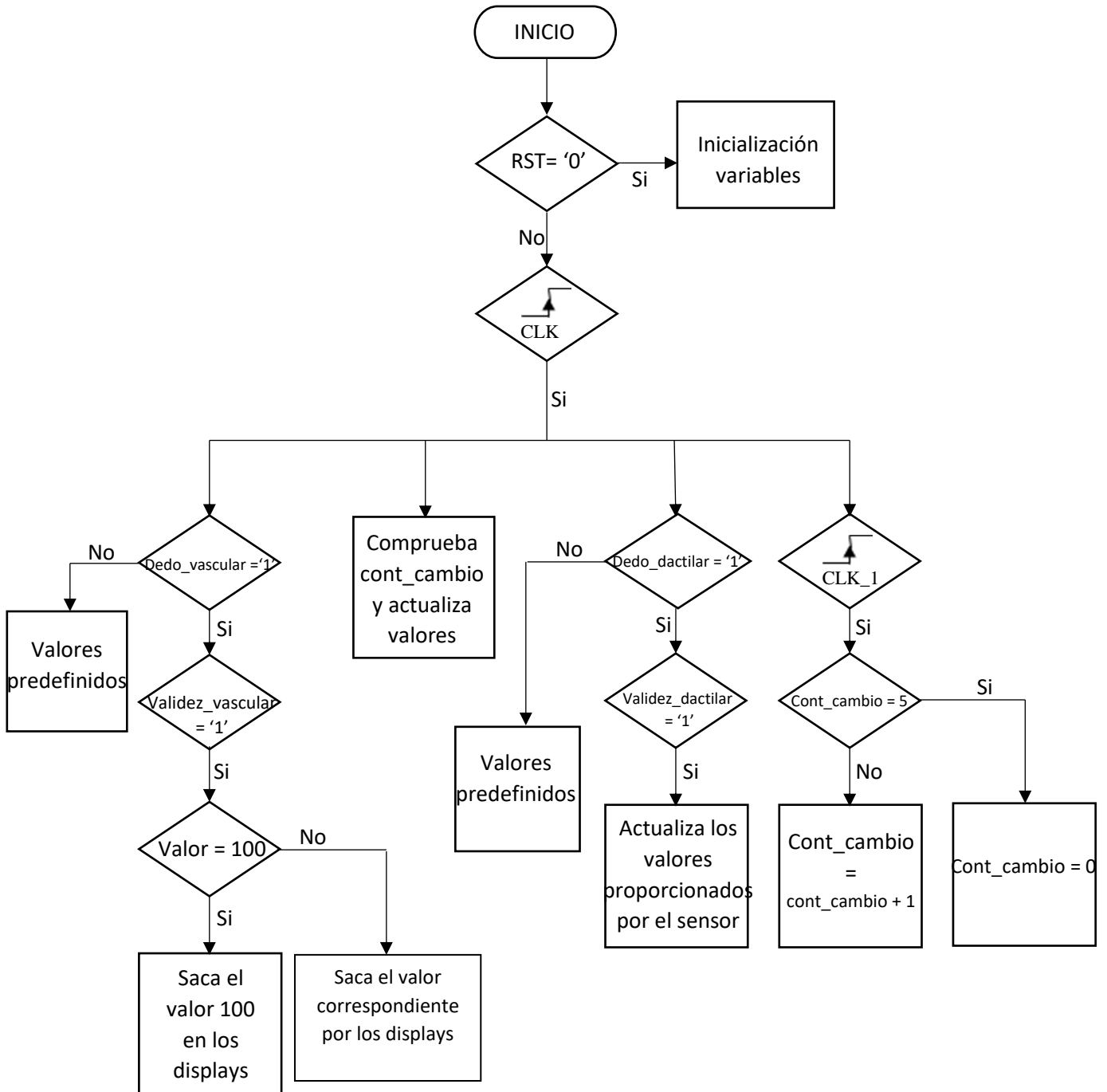
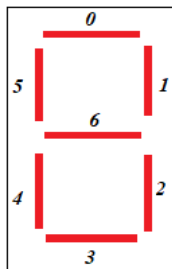


Figura 86: Diagrama de flujo del módulo "Convertir información"

- Conversión a display: Para representar en un módulo display de 8 segmentos es necesaria una transformación. Dicha transformación debe ser de dígito a un valor en 8 bits.

Tabla 8: Valores del display



Número a representar	Valor de 8 bits
0	“11000000”
1 o ‘I’	“11111001”
2	“10100100”
3	“10110000”
4	“10011001”
5 o ‘S’	“10010010”
6	“10000010”
7	“11111000”
8	“10000000”
9	“10011000”
‘A’	“10001000”
‘_’	“10111111”
‘C’ menos 1 ^{er} dígito	“11000110”
‘d’	“10100001”
‘E’	“10000110”
‘F’	“10001110”
‘U’ o ‘V’ solo 1 ^{er} dígito	“11000110”

- Seleccionador de display: Implementa a un multiplexador 4 a 1 que cada 1ms, este tiempo sirve para engañar al ojo humano y que este no sea capaz de percibir el parpadeo del display a dicha frecuencia, cambiara el valor mostrado del display.
- Seleccionador de ánodo: Similar al anterior módulo, pero en ese caso se habilita aquel display que desea mostrar la información.

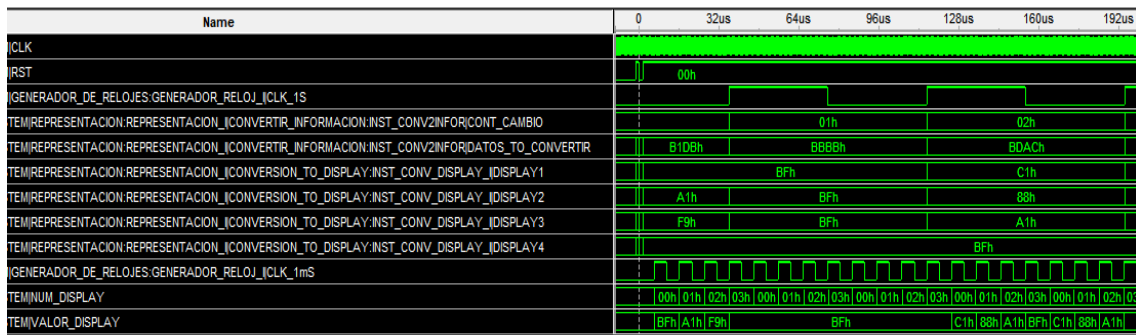


Figura 87: Simulación temporal de los módulos "Seleccionador de display" y "Seleccionador de ánodo"

La imagen representa una simulación temporal en la cual se observa los cambios de la información a representar cuando hay un flanco de subida en el oscilador digital de 1 segundo (“---”→“-dAC”). Los cambios que produce los flancos de subida de 1 ms hacen variar los valores de los dígitos a representar y la habilitación del display.

En el anexo II se pueden ver más simulaciones temporales del sistema de reconocimiento biométrico multimodal.

5.3 Conexionado tarjeta de desarrollo con FPGA

En esta sección se hablará sobre el conexionado entre la FPGA y la placa madre DVK600 todas ellas se encuentran en el fichero “Sistema_Biometrico.ucf” necesario para la implementación en el dispositivo. Este fichero se considera como el planificador de pines de la FPGA, mostrándose en la siguiente tabla la planificación deseada para el sistema biométrico.

Tabla 9:Trazabilidad pines FPGA-DVK600-SENSOR

Trazabilidad de los terminales				
Módulo TOP "Sistema Biométrico"	Tarjeta de desarrollo		Sensor multimodal biométrico	
Nombre del pin	Pin de la FPGA	Pin de la DVK600	Pines y nombre de la placa de conexión	Pines iluminadores NIR (J5)
CLK	"P184"	-	-	-
RST	"P101"	-	-	-
BUSCAR_ENROLAR	"P132"	8 I/Os_2→[1]	-	-
ID_ENTRADA[0]	"P129"	8 I/Os_2→[2]	-	-
ID_ENTRADA[1]	"P128"	8 I/Os_2→[3]	-	-
ID_ENTRADA[2]	"P127"	8 I/Os_2→[4]	-	-
ID_ENTRADA[3]	"P126"	8 I/Os_2→[5]	-	-
DEDO_DACTILAR	"P61"	32 I/Os_1→[1]	1 (Sout del sensor)	-
DEDO_VASCULAR				-
VSYNCH	"P55"	32 I/Os_1→[3]	23(VSYNCH_OV7670)	-
HREF	"P49"	32 I/Os_1→[4]	10 (HREF_OV7670)	-
PCLK	"P48"	32 I/Os_1→[5]	22 (PCLK_OV7670)	-
PIXEL_IN[0]	"P47"	32 I/Os_1→[6]	15 (D0_OV7670)	-
PIXEL_IN[1]	"P45"	32 I/Os_1→[7]	18 (D1_OV7670)	-
PIXEL_IN[2]	"P42"	32 I/Os_1→[8]	14 (D2_OV7670)	-
PIXEL_IN[3]	"P41"	32 I/Os_1→[9]	19 (D3_OV7670)	-
PIXEL_IN[4]	"P40"	32 I/Os_1→[10]	13 (D4_OV7670)	-
PIXEL_IN[5]	"P39"	32 I/Os_1→[11]	20 (D5_OV7670)	-
PIXEL_IN[6]	"P36"	32 I/Os_1→[12]	12 (D6_OV7670)	-
PIXEL_IN[7]	"P35"	32 I/Os_1→[13]	21 (D7_OV7670)	-
SIOD	"P34"	32 I/Os_1→[14]	9 (SIOD_OV7670)	-
SIOC	"P33"	32 I/Os_1→[15]	24 (SIOC_OV7670)	-
XCLK	"P31"	32 I/Os_1→[16]	11 (XCLK_OV7670)	-
RESET_OV7670	"P30"	32 I/Os_1→[17]	17 (RESET_OV7670)	-
STANDBY_OV7670	"P29"	32 I/Os_1→[18]	16 (PWRN_OV7670)	-
TX	"P28"	32 I/Os_1→[19]	2 (RX del sensor)	-
RX	"P25"	32 I/Os_1→[20]	3 (TX del sensor)	-
INDICADORES_DACTILARES[0]	"P24"	32 I/Os_1→[21]	4 (DIODO VERDE)	-
INDICADORES_DACTILARES[1]	"P23"	32 I/Os_1→[22]	5 (DIODO AMARILLO)	-
INDICADORES_DACTILARES[2]	"P22"	32 I/Os_1→[23]	6 (DIODO ROJO)	-
INDICADOR_VASCULAR[0]	"P19"	32 I/Os_1→[24]	8 (DIODO VERDE)	-
INDICADOR_VASCULAR[1]	"P18"	32 I/Os_1→[25]	7 (DIODO ROJO)	-
VALOR_DISPLAY[0]	"P119"	16 I/Os_2→[1]	-	-
VALOR_DISPLAY[1]	"P115"	16 I/Os_2→[3]	-	-
VALOR_DISPLAY[2]	"P112"	16 I/Os_2→[5]	-	-
VALOR_DISPLAY[3]	"P108"	16 I/Os_2→[7]	-	-
VALOR_DISPLAY[4]	"P106"	16 I/Os_2→[9]	-	-
VALOR_DISPLAY[5]	"P100"	16 I/Os_2→[11]	-	-
VALOR_DISPLAY[6]	"P98"	16 I/Os_2→[13]	-	-
VALOR_DISPLAY[7]	"P96"	16 I/Os_2→[15]	-	-
NUM_DISPLAY[0]	"P107"	16 I/Os_2→[8]	-	-
NUM_DISPLAY[1]	"P109"	16 I/Os_2→[6]	-	-
NUM_DISPLAY[2]	"P113"	16 I/Os_2→[4]	-	-
NUM_DISPLAY[3]	"P116"	16 I/Os_2→[2]	-	-
ILUMINADORES_NIR[0]	"P160"	16 I/Os_1→[1]	-	1
ILUMINADORES_NIR[1]	"P153"	16 I/Os_1→[2]	-	2
ILUMINADORES_NIR[2]	"P152"	16 I/Os_1→[3]	-	3
ILUMINADORES_NIR[3]	"P151"	16 I/Os_1→[4]	-	4
ILUMINADORES_NIR[4]	"P150"	16 I/Os_1→[5]	-	5
ILUMINADORES_NIR[5]	"P147"	16 I/Os_1→[6]	-	6
ILUMINADORES_NIR[6]	"P146"	16 I/Os_1→[7]	-	7
ILUMINADORES_NIR[7]	"P145"	16 I/Os_1→[8]	-	8
ILUMINADORES_NIR[8]	"P144"	16 I/Os_1→[9]	-	9
ILUMINADORES_NIR[9]	"P140"	16 I/Os_1→[10]	-	10
ILUMINADORES_NIR[10]	"P139"	16 I/Os_1→[11]	-	11
ILUMINADORES_NIR[11]	"P138"	16 I/Os_1→[12]	-	12
ILUMINADORES_NIR[12]	"P137"	16 I/Os_1→[13]	-	13
ILUMINADORES_NIR[13]	"P135"	16 I/Os_1→[14]	-	14
ILUMINADORES_NIR[14]	"P134"	16 I/Os_1→[15]	-	15

Como se observa en la tabla de trazabilidad el sensor dactilar posee un detector de dedos y no es necesario implementar otro detector en el sensor. La tarjeta de desarrollo incluye un dispositivo display y otro de pulsadores a los cuales son conectados los pines destinados a ellos siendo estos: NUM_DISPLAY, VALOR_DISPLAY, ID_ENTRADA y BUSCAR_ENROLAR.

6.Resultados y pruebas

Durante el capítulo se comentarán todas aquellas pruebas ejecutadas para observar el funcionamiento del sistema de reconocimiento.

La implementación hardware del sistema biométrico fue exitosa, adquiriendo el siguiente resumen de la información proporcionada por el ISE de XILINX:

SISTEMA_BIOMETRICO Project Status (07/16/2019 - 18:11:20)			
Project File:	TFG_JOSE_RAMON_NAVARRO_BVENAVENTE.xise	Parser Errors:	No Errors
Module Name:	SISTEMA_BIOMETRICO	Implementation State:	Placed and Routed
Target Device:	xc3s500e-4pq208	Errors:	No Errors
Product Version:	ISE 14.7	Warnings:	164 Warnings (164 new)
Design Goal:	Balanced	Routing Results:	All Signals Completely Routed
Design Strategy:	Xilinx Default (unlocked)	Timing Constraints:	All Constraints Met
Environment:	System Settings	Final Timing Score:	0 (Timing Report)

Device Utilization Summary				
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	Note(s)
Number of Slice Flip Flops	764	9,312	8%	
Number of 4 input LUTs	1,425	9,312	15%	
Number of occupied Slices	884	4,656	18%	
Number of Slices containing only related logic	884	884	100%	
Number of Slices containing unrelated logic	0	884	0%	
Total Number of 4 input LUTs	1,596	9,312	17%	
Number used as logic	1,425			
Number used as a route-thru	171			
Number of bonded IOBs	51	158	32%	
Number of BUFGMUXs	2	24	8%	

Figura 88: Resumen de los recursos ocupados en la SPARTAN 3-E

En la imagen se presenta el informe de utilización de la SPARTAN 3E. En este reporte se observar el porcentaje de ocupación de los SLICES de la FPGA siendo del 18%. El número de entradas y salidas manejadas son de 51 de las 158 posibles conllevando un 32% de ocupación.

Además, este reporte da un resultado de 0 errores y 164 peligros (Warnings). La mayoría de los warnings no suelen ser importantes, solo en algunas ocasiones pueden ocasionar errores críticos desencadenando un funcionamiento indeseado que en nuestro caso no corresponden con estos últimos.

Tras confirmar el correcto funcionamiento descrito en el capítulo 5 del sistema biométrico (simulaciones temporales) se pasa a comprobar la funcionalidad por separado y en conjunto de los dos métodos de reconocimiento.

Para el primer método de reconocimiento, se realizó la prueba individual al sensor de huellas dactilares (ZFM-Fingerprint). Esta prueba consistía en introducir diferentes huellas dactilares y ver su representación en los indicadores LED. Antes de probar el sensor se recolecto con el osciloscopio la señal de comunicación TX emitida por la FPGA. En la imagen se observa como el reloj de la UART tiene la tasa de baudios adecuadas 57600 bps y la señal correspondiente a TX oscila durante todo el ciclo hasta que se termina de enviar el primer paquete de datos.

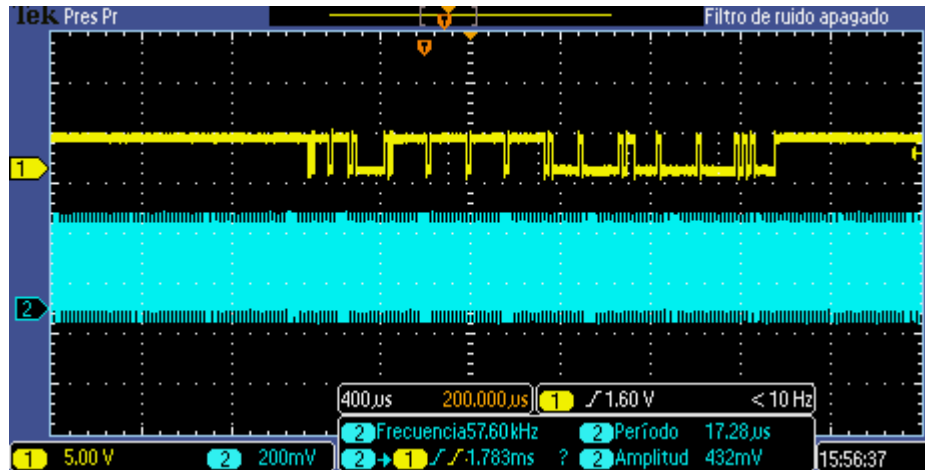


Figura 89: Captura del osciloscopio de la transmisión TX

Como en la imagen no es posible observar el cambio de dato entre el reloj y la señal de TX se hace un zoom obteniendo el tiempo entre el flanco de subida y la actualización del dato.

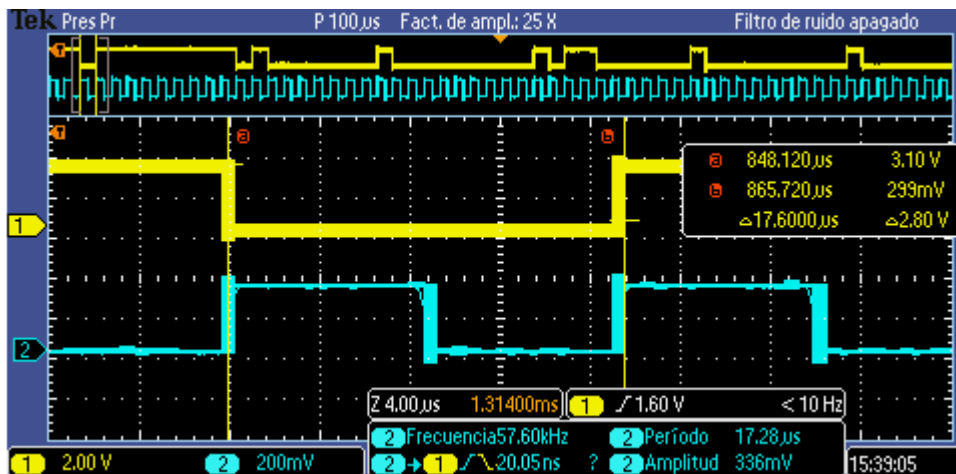


Figura 90: Captura del osciloscopio determinando los tiempos entre CLK_BAUDIOS (azul) y TX (amarillo)

En esta imagen se visualiza las características de la comunicación UART donde el tiempo entre flanco de subida y actualización del dato corresponde a un incremento de 20,05 ns, equivalente a un ciclo de reloj del reloj de 50MHz utilizado como señal sincrona en todos los módulos. Estas pruebas se hacen para confirmar que la FPGA establece la comunicación necesaria con el sensor para que a continuación se hagan las siguientes pruebas.

Al posicionar el dedo en el módulo ZFM-Fingerprint comenzó a intentar buscar la huella dactilar suministrando un error en la búsqueda, este resultado fue positivo ya que el sensor todavía no había sido configurado con ninguna huella en sus bibliotecas de almacenamiento.

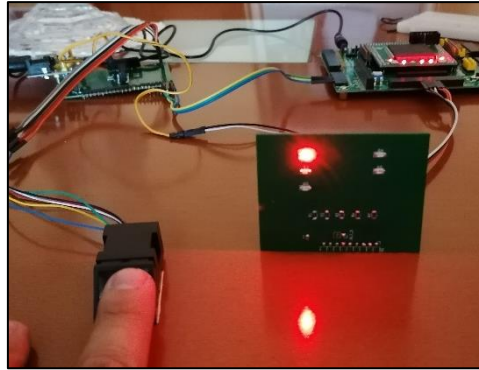


Figura 91: Indicador de fallo ante una huella dactilar no almacenada

Después de haber determinado este comportamiento del sensor se decide ingresar la huella dactilar del dedo medio. Para enrollar el dedo se puso el módulo en modo enrolamiento y se superpuso el dedo dos veces hasta que en los indicadores se visualizó un ingreso correcto de la huella en las dos fases de enrolamiento.

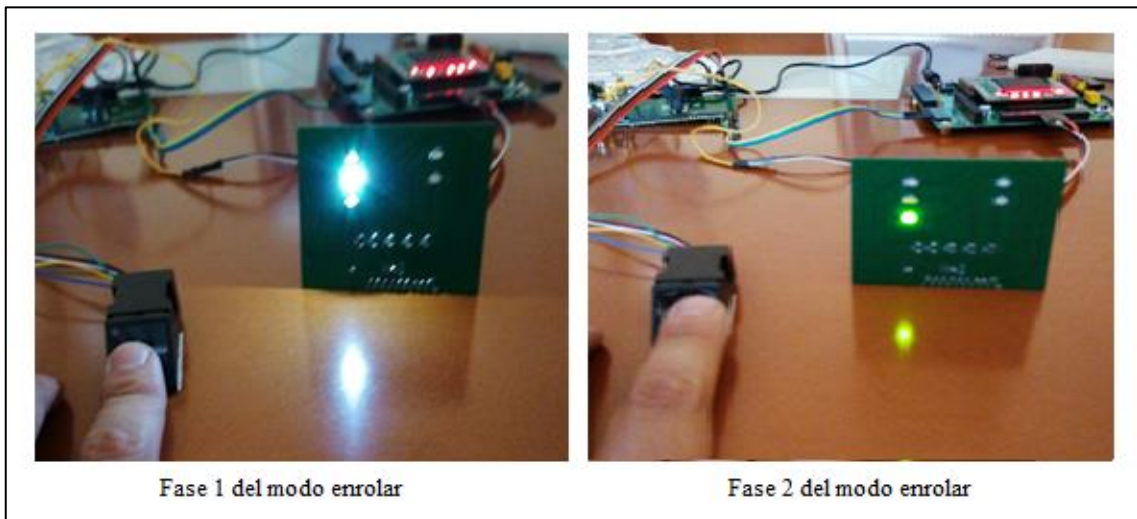


Figura 92: Indicadores de verificación ante un buen enrolamiento

Posteriormente de haber ingresado el dedo medio se ingresaron diferentes dedos de la mano para confirmar si el método de reconocimiento dactilar es válido.

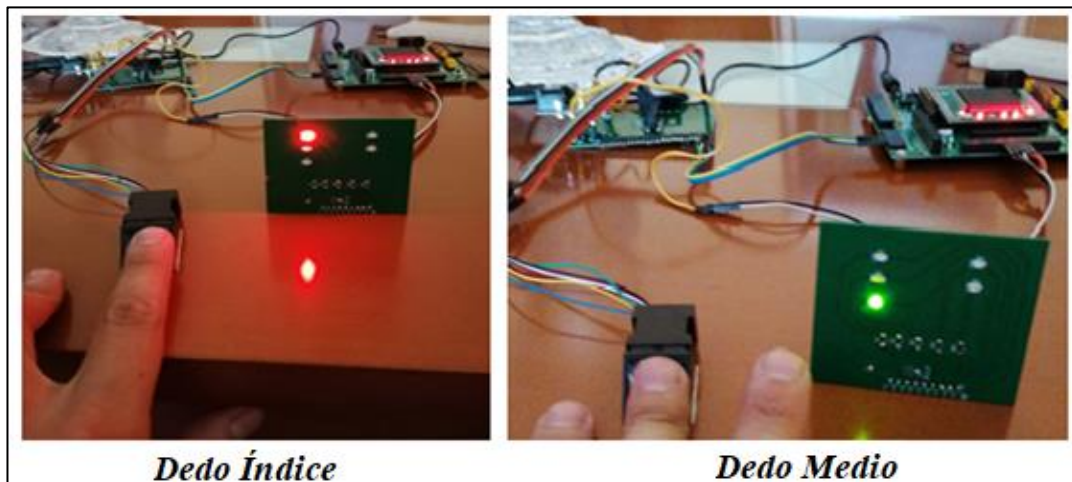


Figura 93: Pruebas de reconocimiento de diferentes huellas dactilares

En ocasiones el dedo registrado en el módulo ZFM-Fingerprint no fue detectado, esto se debe aún mal posicionamiento en el lector del sensor. Se puede determinar que el sensor dactilar está implementado y operativo de manera adecuada para su funcionamiento.

El segundo método de reconocimiento consta de tres pruebas: configuración de la cámara OV7670, aplicación del algoritmo de reconocimiento sobre la imagen proporcionada por el sensor de imagen OV7670 y la funcionalidad del reconocimiento vascular.

Para configurar la cámara, uno debe fijarse en las señales SIOD y SIOC provenientes de la FPGA, posibilitando así la comunicación con el sensor de imagen a través de la interfaz SCCB. Para verificar dicha comunicación se utiliza un osciloscopio, logrando una visión de la comunicación.

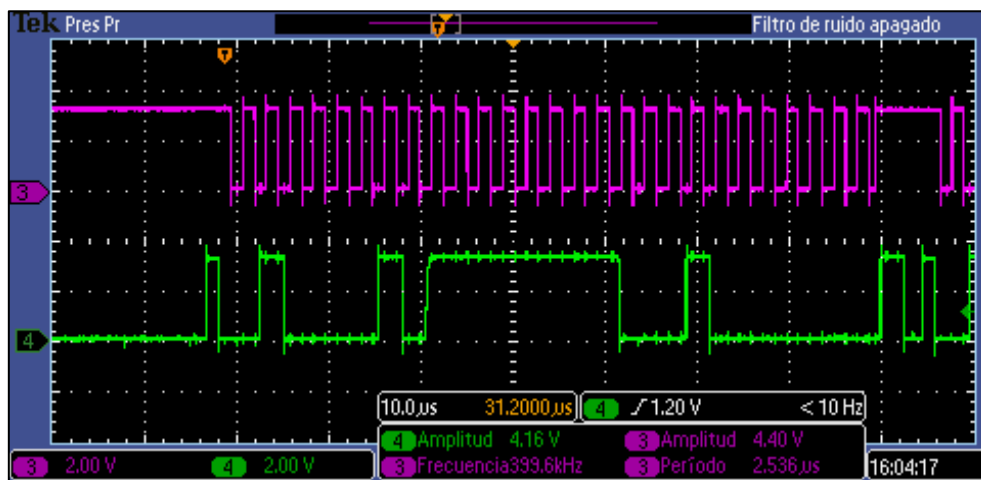


Figura 94: Captura del osciloscopio de las señales SIOC y SIOD

En la imagen se pueden apreciar la señal SIOC (morado) y SIOD (verde) como fluctúan cuando van a enviar un comando para la configuración del sensor. La frecuencia del SIOC es la adecuada aproximadamente 400 KHz. Además, se observan las particulares del bit de start y bit de stop mencionadas en capítulos anteriores. La configuración de la cámara está formada por 3 comandos, todo ellos emitidos uno tras otro, en la siguiente imagen se observa la configuración completa de la imagen.



Figura 95: Captura del osciloscopio de la configuración del sensor de imagen

La imagen representa la configuración completa del sensor de imagen tras arrancar la FPGA, donde se puede apreciar cómo se envían 3 comandos ya que cada corte en SIOC equivale a un comando. Con esta comprobación se garantiza una comunicación correcta y una configuración adecuada al sensor. La configuración consiste básicamente en cambiar el formato de RGB a YUV para obtener imágenes en blanco y negro, activar el modo nocturno de la cámara aumentando el tiempo de exposición y la apertura de la lente. Gracias a la configuración predeterminada y las funciones automáticas del sensor no es relevante modificar ningún otro parámetro.

Estos cambios se muestran en la imagen:

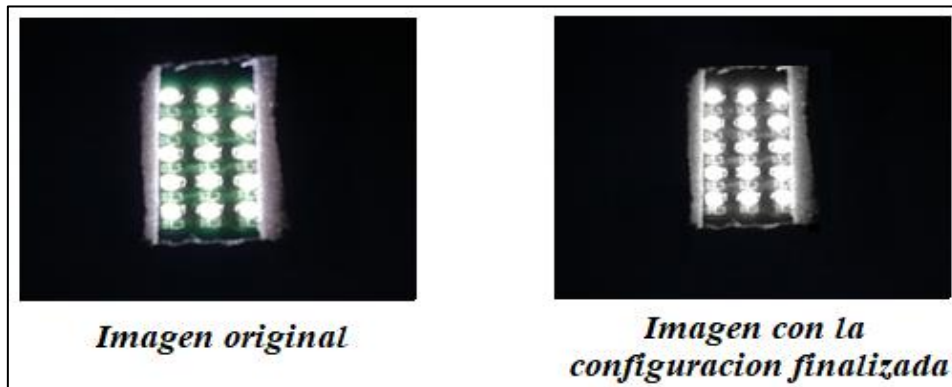


Figura 96: Transformación de las imágenes tras concluir la configuración del sensor

Terminada la configuración del sensor de imagen, se procede a recoger las imágenes que suministra el sensor de imagen OV7670, las imágenes resultantes de las venas son:

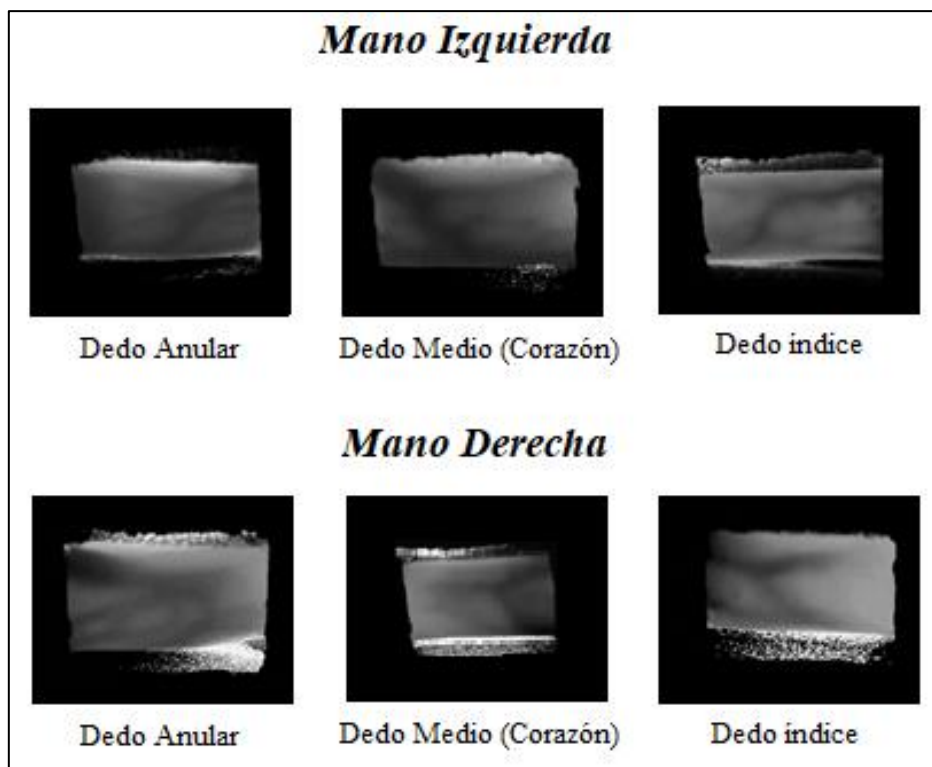
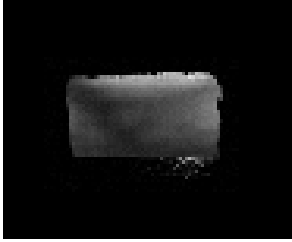




Figura 97: Venas del autor de diferentes dedos recolectadas por el sensor de imagen

La imagen correspondiente al dedo medio “corazón” de la mano izquierda será pasada por el algoritmo descrito en el capítulo 3, descubriendo así la plantilla digital del árbol venoso, la cual será introducida en la base de datos del sensor vascular.

Tabla 10: Resultado de la esqueletización de las venas del dedo corazón del autor

Imagen original	ROI de la imagen	Esqueletización de la imagen
		

Tras verificar el funcionamiento del algoritmo se pasó a la comprobación de la funcionalidad del sensor vascular, donde se localizan fallos en cuanto al reconocimiento del usuario. Dicha prueba se hizo 25 veces de las cuales el dedo cuyo patrón está inscrito en el sistema fue introducido 7 veces, fracasando en 2 de ellas. Sin embargo, con el resto de las pruebas en las cuales deberían dar resultados de “no reconocimiento” se dieron por correctos 6 dedos, reportando un error final de un 32% sobre el sensor vascular.

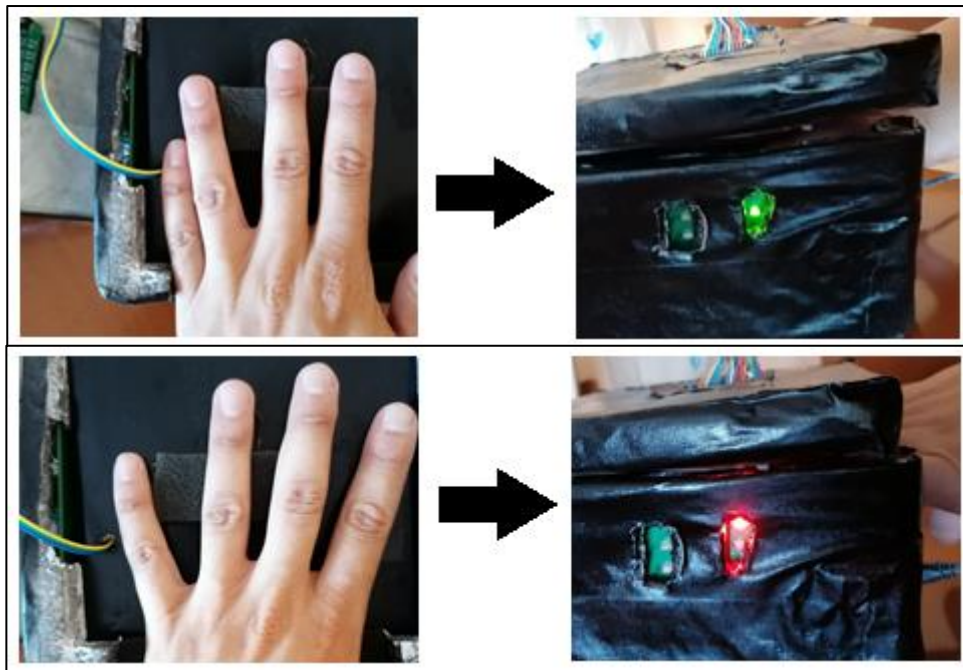


Figura 98: Resultado de las pruebas de reconocimiento vascular

Por concluir con el apartado la prueba en conjunto consistió en la introducción de diversos dedos al sistema biométrico y ver en la placa de indicadores y los displays el resultado. Dicha prueba se hizo 10 veces de las cuales el dedo adecuado fue ingresado en 3 ocasiones. Los indicadores usados para visualizar la información reportaron errores en

el método de reconocimiento vascular como ya se suponía desde la prueba anterior. En los displays aparecen las etiquetas y posteriormente el resultado asignado a dicha etiqueta. En la siguiente tabla se enseñan los resultados de los 10 intentos:

Tabla 11: Resultados de las pruebas del sistema biométrico multimodal

Intento	Dedo	Mano	Registrado: Dactilar - Vascular	Sensor dactilar	Sensor vascular	Sistema biométrico multimodal
1	Meñique	Izquierda	No-No	Fallo	Fallo	Válido
2	Índice	Izquierda	No-No	Fallo	Fallo	Válido
3	Anular	Derecha	Si-No	Válido	Fallo	Válido
4	Corazón	Izquierda	Si-Si	Válido	Válido	Válido
5	Anular	Izquierda	Si-No	Válido	Fallo	Válido
6	Corazón	Izquierda	Si-Si	Válido	Fallo	Fallo
7	Corazón	Izquierda	Si-Si	Válido	Válido	Válido
8	Índice	Derecha	Si-No	Válido	Fallo	Válido
9	Corazón	Derecha	Si-No	Válido	Válido	Fallo
10	Meñique	Derecha	No-No	Fallo	Válido	Fallo

Como se aprecia el sistema biométrico funciona correctamente en 7 de las 10 pruebas ejecutadas. Todos los errores se acumulan en el sensor vascular entregando al sistema un 30% de error al reconocer a los usuarios. A continuación, se muestran los resultados de algunas pruebas realizadas:

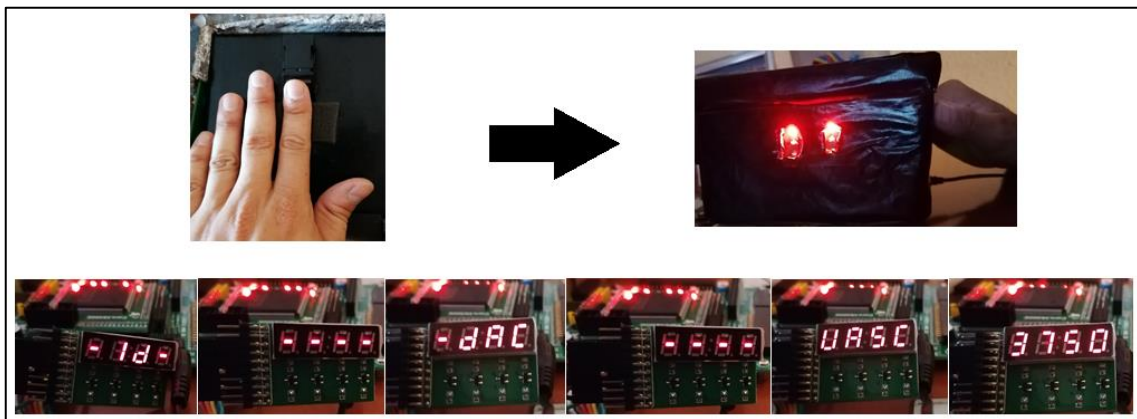


Figura 99: Intento 2 de la prueba al sistema de reconocimiento biométrico multimodal

La imagen muestra el intento 2 de la tabla (Dedo índice de la mano izquierda), se puede observar cómo funciona correctamente dando a través de la placa indicadora los resultados de “no reconocimiento”. En el módulo display reporta un mayor cúmulo de información. Se muestran las etiquetas de ID y DAC, pero no tienen asociado ningún resultado, esto es debido a la configuración de la FPGA, donde si no existe ningún dedo similar en la biblioteca no debe de escribirse nada en ellos, dejando en su lugar guiones. En el reconocimiento vascular se aprecia una coincidencia entre plantillas del 37,50%, al no superar el umbral del 75 % de coincidencia, se rechaza al usuario.

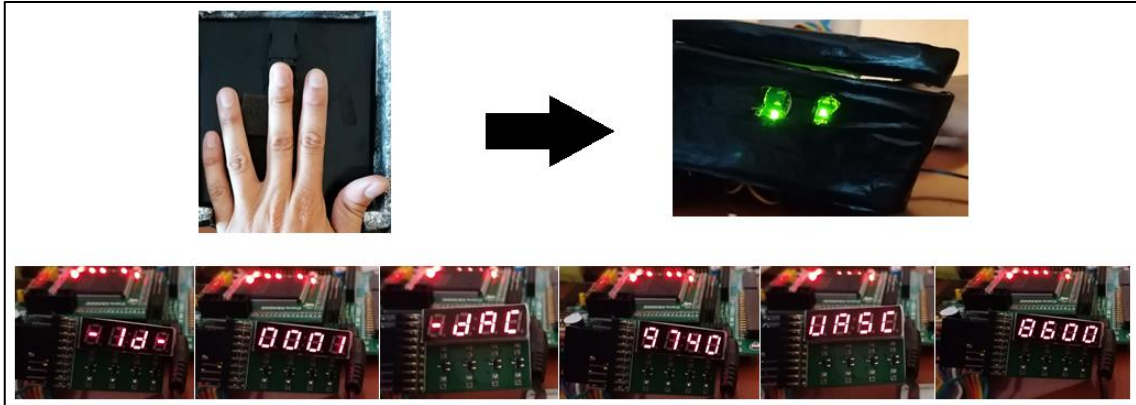


Figura 100: Intento 3 de la prueba realizada al sistema de reconocimiento biométrico multimodal

En esta ocasión el sistema es capaz de reconocer al usuario adecuadamente ya que el dedo ingresado es el único inscrito en ambas bases de datos. El sensor dactilar facilita la información del usuario dando el porcentaje de coincidencia del 97,40% y la posición en la que se encuentra la huella dactilar en la biblioteca. Con respecto al sensor vascular la coincidencia de plantillas debería ser del 100%, pero en su lugar aparece un 86%, esto ocurre debido a que la colocación del dedo no es la misma que cuando se almaceno el patrón venoso.

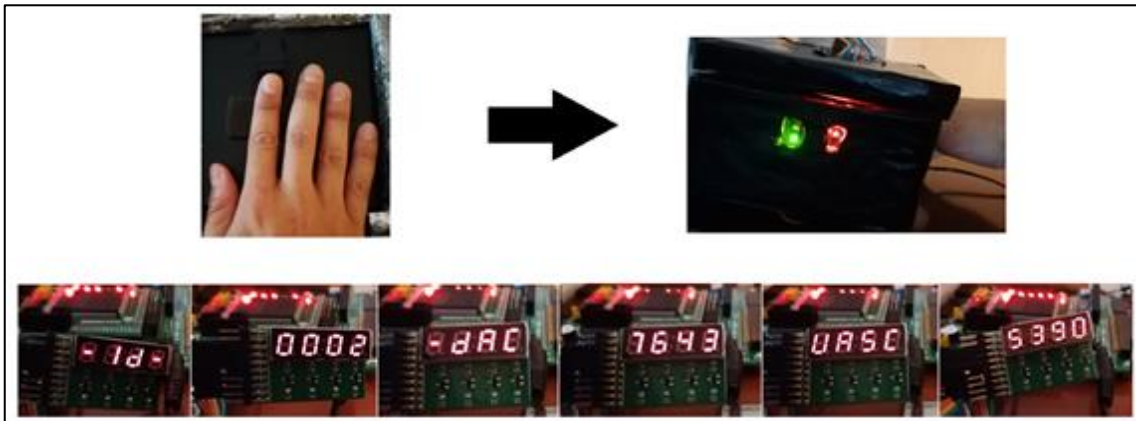


Figura 101: Intento 4 de la prueba realizada al sistema de reconocimiento biométrico multimodal

En este caso se aprecia como el sensor dactilar es capaz de reconocer adecuadamente la huella dactilar proporcionando el resultado de la coincidencia del 76,43 % y la localización en la biblioteca interna, en este caso la segunda. El sensor vascular indica una coincidencia del 53,90% por lo tanto debe ser rechazada por el sistema.

Todas las pruebas ejecutadas están vinculadas al mismo usuario, pero con diferentes dedos, estas mismas pruebas se hicieron con otros 3 usuarios diferentes. Los resultados se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12: Resultados del sistema biométrico multimodal en diferentes usuarios

Usuario - Intento	Dedo	Mano	Registrado: Dactilar - Vascular	Sensor dactilar	Sensor vascular	Sistema biométrico multimodal
2-1	Corazón	Derecha	No-No	Fallo	Fallo	Válido
2-2	Índice	Derecha	No-No	Fallo	Válido	Fallo
2-3	Corazón	Izquierda	Si-No	Válido	Fallo	Válido
3-1	Corazón	Derecha	No-No	Fallo	Válido	Fallo
3-2	Corazón	Izquierda	Si-No	Válido	Fallo	Válido
4-1	Índice	Derecha	No-No	Fallo	Válido	Fallo
4-2	Anular	Izquierda	No-No	Fallo	Válido	Fallo
4-3	Corazón	Derecha	No-No	Fallo	Fallo	Válido

Se visualiza como al introducir los dedos otros usuarios, se da un incremento mayor en cuanto al porcentaje de fallos llegando a un 50%. El error sigue dándose en el sensor vascular y los resultados de coincidencia que reporta el display están entre un 77% y 82%.

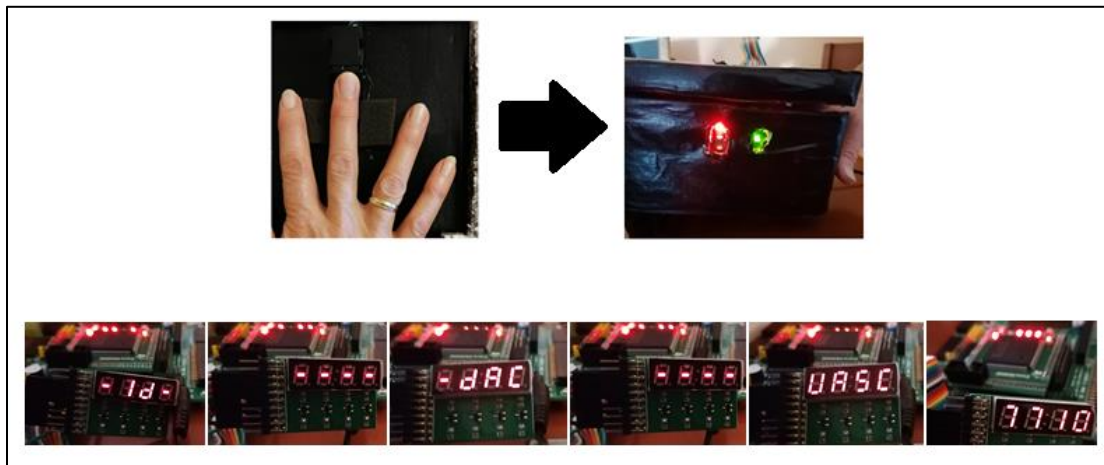


Figura 102: Resultado de la prueba realizada al usuario 3

En la imagen se puede apreciar el resultado correspondiente al usuario 3-1, en esta ocasión se refleja un fallo del sistema biométrico, debido a que el reconocimiento vascular ha fallado. El sensor dactilar no muestra nada en display ya que la huella del usuario 3 no esta registrada, mientras que la coincidencia de la plantilla digital del patrón venoso del usuario tiene una coincidencia final del 77,10% sobrepasando el umbral.

7. Conclusiones y líneas futuras

En este capítulo se presentarán las conclusiones y las posibles líneas futuras pertenecientes al presente trabajo

7.1 Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones más importantes extraídas de los resultados alcanzados durante las pruebas.

- La técnica para lograr la extracción de las características del árbol venoso es bastante acertada, debido a su simplicidad y sus buenos resultados. El algoritmo de reconocimiento generado tiene buenas características y presenta, en un umbral del 75% de coincidencia, resultados óptimos para los reconocimientos vasculares.
- Los recursos ocupados en la FPGA son bajos 18%, esto indica un rendimiento muy alto ya que el dispositivo no está saturado y tendrá una mayor vida útil por su bajo calentamiento interno.
- La implementación en un dispositivo FPGA en el modo de búsqueda en comparación con los microprocesadores supone un cambio muy poco significativo en lo relativo a los tiempos de procesamiento. La ganancia de utilizar una FPGA solo reporta una ventaja en cuanto a expansión de implementar otros métodos y la rapidez al paralelizar los procesos.
- EL sensor biométrico multimodal es preciso con las huellas dactilares y en ocasiones da problemas con los patrones venosos. Las imágenes obtenidas por la cámara OV7670 tienen una similitud a las proporcionadas por la base de datos (dataset), sin embargo, estas últimas presentan una mejor iluminación y se distinguen mejor el árbol venoso.
- La implementación del algoritmo de reconocimiento a la FPGA es adecuada y rápida, ya que desde que toma la captura del 4 frame a su posterior resultado pasa un tiempo insignificante para el usuario.

En líneas generales el trabajo es viable y con un grado de complejidad alto, ya que sería necesario mejorar aspectos para no cometer una tasa de error alta en los reconocimientos vasculares. El sistema de reconocimiento biométrico multimodal se puede asumir que no es del todo operativo y funcional por los fallos producidos en las diferentes pruebas, principalmente estos fallos son debidos a la colocación del dedo en el sensor y el contraste entre la vena y la piel, es decir, una falta de luminosidad mayor. Aunque en contrapartida también es asumible un éxito, debido a que los datos suministrados por el sensor son los adecuados (resultados de la búsqueda del sensor dactilar y las imágenes del OV7670), además de la integración completa de un sistema de reconocimiento biométrico en la FPGA es bastante correcto.

7.2 Líneas futuras

Por concluir proponer futuras líneas de investigación implica que el sistema de reconocimiento biométrico está dispuesto a mejorar para cumplir al 100% con los requisitos de un sistema biométrico multimodal y una apariencia más profesional. Conocido esto, se está en disposición para exponer los puntos débiles y las posibles mejoras:

- Para mejorar la apariencia física, es recomendable diseñar y fabricar un encapsulado para el sensor biométrico multimodal, facilitando así una estética exterior atractiva a la vista. Asimismo, al diseñar el encapsulado se puede diseñar una forma para inmovilizar los dedos, logrando en todos los reconocimientos vasculares la misma colocación.
- Gracias a los bajos recursos ocupados posibilita una expansión de implementación con otros métodos de reconocimiento y la mejora de los existentes, añadiéndole unas prestaciones mayores.
- El algoritmo de reconocimiento puede ser mejorado incluyéndole un módulo para detectar el umbral automáticamente por el método OTSU [32] o implementar otras técnicas como pueden ser redes neuronales [3].
- El diseño de una placa madre para unificar a la FPGA, la placa de conexiones y la fuente de alimentación. Con ello se consigue la eliminación de los cables y una reducción de tamaño.
- Añadir un mayor número de LED's NIR en la parte interior de la tapa otorgando así una mayor luminosidad, o en su defecto buscar alternativas como modificar los LED SMD por LED normales con una alta luminiscencia en el rango de los NIR

8. Presupuesto

En este capítulo se pretende realizar una estimación del coste de este trabajo, como si hubiera sido elaborado profesionalmente. Se divide el presupuesto en dos bloques: materiales y mano de obra.

8.1 Materiales

En cuanto a los recursos materiales se desglosarán en dos vertientes, una referida al coste de los elementos y componentes hardware y otra referida a la parte software.

8.1.1 Coste Hardware

En la tabla se muestran todo lo referentes a componentes físicos necesarios para la fabricación del prototipo del sensor y la tarjeta de desarrollo:

Tabla 13: Importes de los componentes hardware

Componente u elementos	Importe
Insoladora de PCB	15€
Agua oxigenada de 110 volúmenes	3,25€
Salfumán	1,19€
Placas de cobre con película fotosensible	2€
Pasta para máscara anti-soldadura	3,49€
Sensor de imagen OV7670	7,65€
MB102 (Fuente de alimentación)	3,20€
Componentes pasivos (resistores y condensadores)	2,15€
Diodos LED y diodos LED NIR	1,70€
Filtro IR	4,89€
ZFM-FINGERPRINT (Sensor de huellas dactilares)	8,99€
Tarjeta de desarrollo con SPARTAN 3E	44,99€
Ordenador personal	429€
Otros (cables, cartones, pintura)	9€

8.1.2 Coste Software

Con respecto al software necesario, hay que destacar que los IDE utilizados suelen ser gratuitos para estudiantes puesto que es un presupuesto para un entorno profesional, se requiere de una licencia. Para el IDE de KICAD o es necesario dicha licencia, es un entorno gratuito. Publicando a con posterioridad los importes de estas:

Tabla 14: Importe de las licencias de los IDE

Licencias	Importe
ISE-XILINX	3.500€/año*
MATLAB	6.000€/año* más 20€ por cada toolbox

*Los precios estipulados son orientativos

8.2 Mano de Obra

La duración del trabajo ha sido aproximadamente de unas 550 horas de las cuales 480 horas pertenecen al trabajo realizado por un ingeniero junior y las 70 horas restantes a técnico superior. Por lo tanto, el cúmulo de estas horas deben ser abonadas siendo las siguientes cuantías económicas:

Tabla 15: Importe de la mano de obra

Mano de obra	Precio por hora	Importe final
Ingeniero Junior	12€/h*	5.760€
Técnico superior	8€/h*	560€

*Los precios estipulados son orientativos.

8.3 Total

Todo el desglose reportado anteriormente se resume en la siguiente tabla, proveyendo el coste total del trabajo

Tabla 16: Importe total del trabajo

Clase de presupuesto	Importe
Hardware	536,50€
Software	9.500€
Mano de obra	6.320€
Total	16.356,50€

Anexo I: Esquemático y diseño de los fotolitos para las PCB's

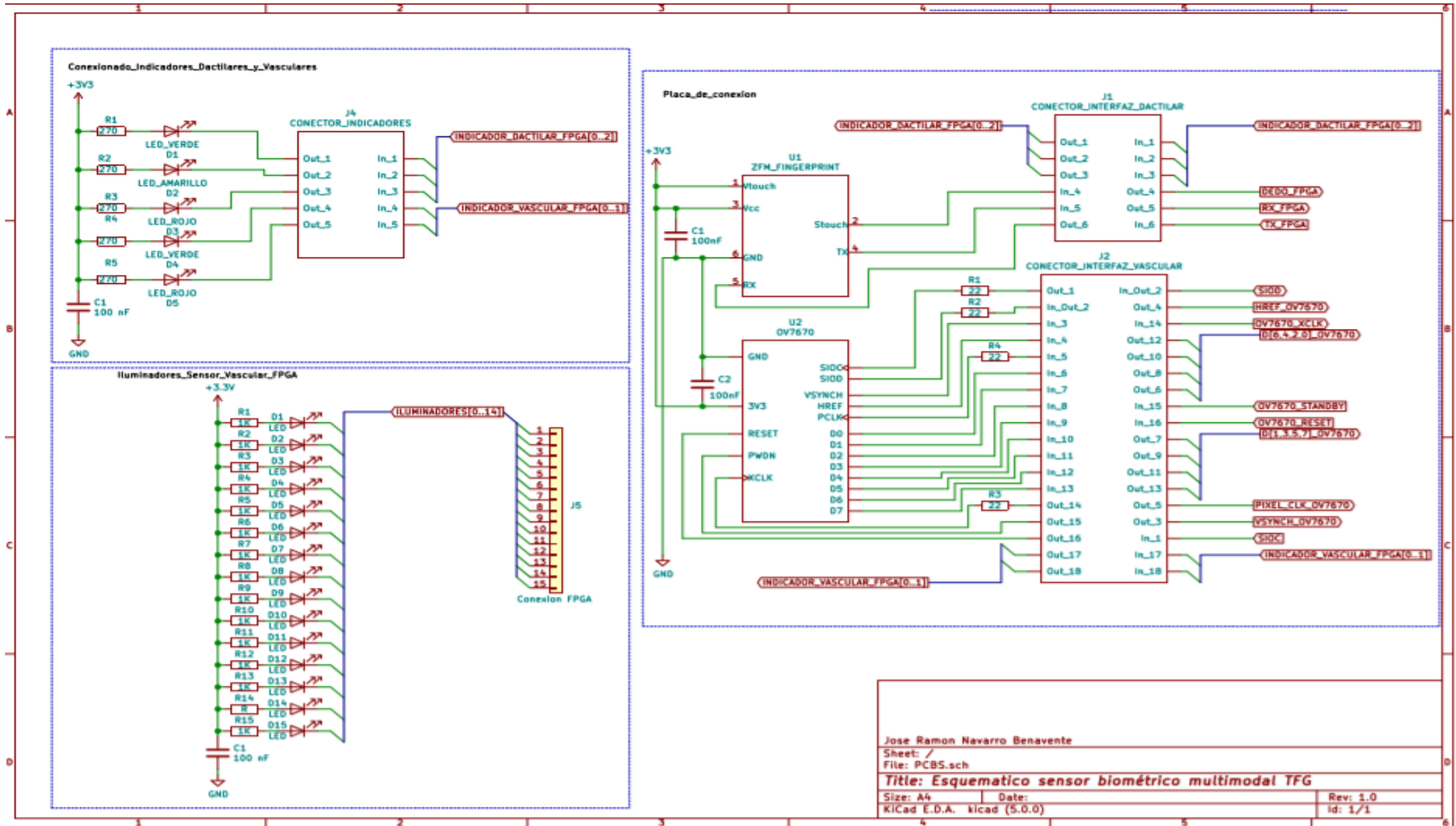
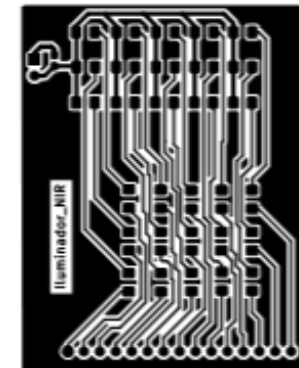
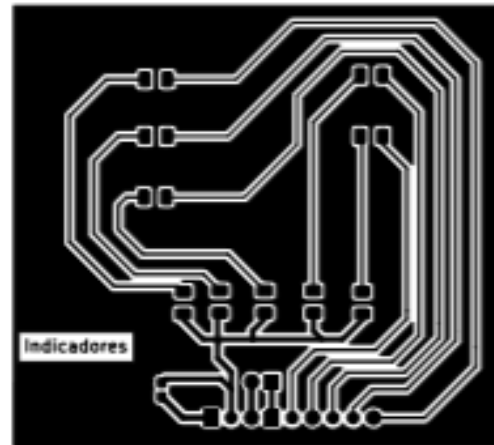
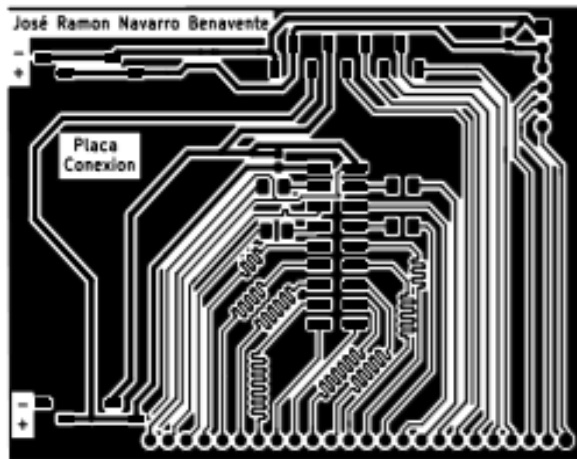


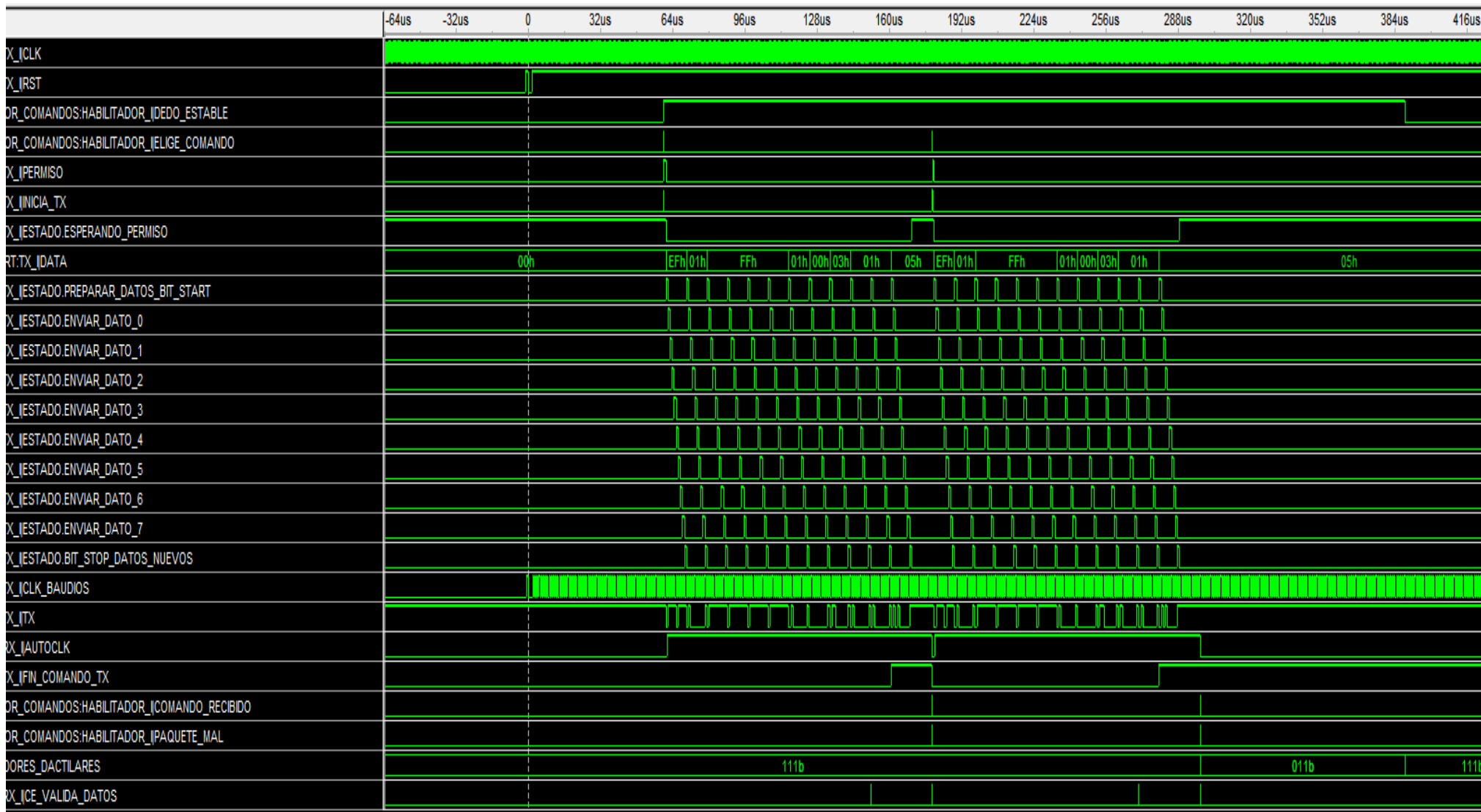
Figura 103: Esquemático de la placa de conexiones, iluminadores NIR e indicadores

Se presenta los fotolitos utilizados para el insulado de las placas fabricadas.



Anexo II: Extensión de las simulaciones temporales

Figura 104: Simulación temporal del módulo "Interfaz Dactilar"



En la imagen de arriba se representa la simulación temporal del módulo “Interfaz dactilar”, donde se aprecia el envío de un comando hacia el sensor ZFM-Fingerprint. Si el sensor no realiza bien la acción la señal RX recogerá la información y reportara dos señales que son: COMANDO_RECIBIDO y PAQUETE MAL. Al ocurrir esto el módulo habilita comando selecciona el comando anterior y da la señal de PERMISO para iniciar una nueva transmisión del mismo comando, asegundo que el sensor realice de forma correcta la acción que anteriormente no pudo realizar. Si en la segunda transmisión el sensor ZFM-Fingerprint no ejecuta correctamente la acción se volverá a producir la misma secuencia de COMANDO_RECIBIDO y PAQUETE_MAL, pero en esta ocasión se señalará el error para iniciar de nuevo todo el proceso. Para restaurarlo es necesario quitar el dedo del sensor.

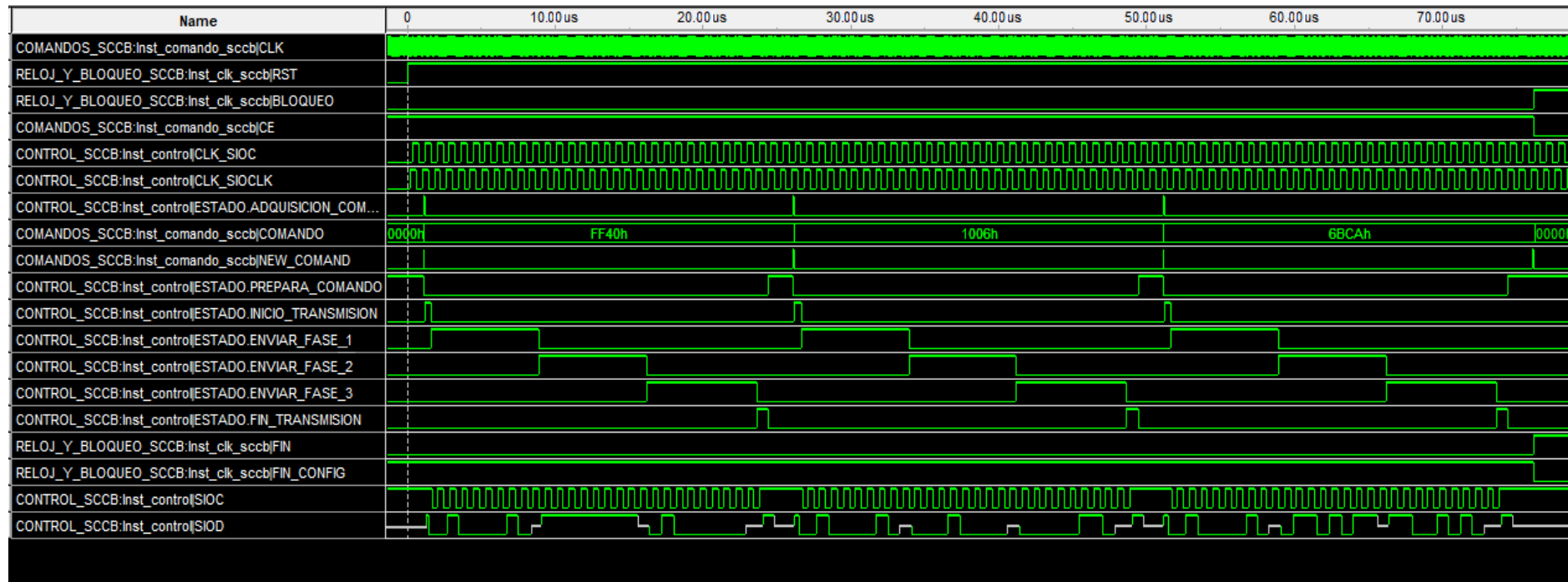


Figura 105: Simulación temporal del módulo "Interfaz SCCB"

La simulación temporal correspondiente a la interfaz SCCB, representa todo el conjunto de la configuración del sensor. Se exhibe la configuración completa del sensor. En ella se puede apreciar como la señal SIOD transita por los diferentes niveles a medida que se comunica con el sensor. Las zonas grises son las denominadas alta impedancia o ‘Z’. Al término del reinicio de la FPGA comienza la configuración, se ve como la máquina de estados transita por todos ellos, los envíos de las fases deben tener la misma duración. Al término de un comando debe seleccionarse el otro, esto

ocurre con las señales de NEW_COMAND y COMANDO. La señal de BLOQUEO sirve a la vez como la señal negada del CE de todos los módulos por ello si está a '1' los módulos no despeñaran ninguna función. Esto solo ocurre al final de la configuración y se puede apreciar al final de la imagen.

Por último, se mostrará la simulación temporal del sistema biométrico (módulo TOP). Tras aplicar un reset la FPGA, se observa como las señales SIOD y SIOC son las encargadas de configurar el sensor de imagen OV7670, esto se encuentra comprendido entre el instante 0 y los 64us. Posteriormente se apoyará el dedo sobre el sensor biométrico multimodal, los sensores captan esta acción y la transmiten a través de las señales DEDO_DACTILAR y DEDO_VASCULAR. Cada una activa diferentes módulos por ello se describirán por separado:

- DEDO_DACTILAR: Se aprecia como la señal TX comienza a transmitir los paquetes de información al sensor, son 3 comandos al ser modo búsqueda, al finalizar sin errores de envíos, se activa las señales validez dactilar, otorgando así el valor de los resultados enviados por el sensor al módulo de representación. Las señales de indicadores dactilares varia, esto indica el encendido de la placa de indicadores en un correcto procedimiento de búsqueda. Al levantar el dedo del sensor se apagarán los indicadores y los displays.
- DEDO_VASCULAR: El sistema contará 4 frames a través de la señal VSYNCH, en ese momento la señal de iluminadores NIR se pondrá todo el vector a '0' indicado el encendido de la matriz iluminadora (mitad del intervalo 64 us y 128 us). Las señales HREF y PIXEL_IN procedentes del sensor de imagen OV7670, dan la información para seleccionar la ROI, al acabar de comparar ambas plantillas se activa la señal de RESULTADO_VÁLIDO y se actualiza la señal de INDICADORES VASCULARES. Al levantar el dedo del sensor se apagarán los indicadores y los displays.

Las fluctuaciones rápidas de las señales NUM_DISPLAY y VALOR_DISPLAY es debido a que cambian para engañar al ojo tal y como se describió.



Figura 106: Simulación temporal del sistema de reconocimiento biométrico multimodal

Bibliografía

[1] *INCIBE* (Instituto nacional de ciberseguridad). “La seguridad vista desde sus inicios”
Disponible en: <https://www.incibe.es/protege-tu-empresa/blog/seguridad-desde-inicio>

[2] Nicolau Cañellas. Tesis Doctoral “Diseño de hardware específico para extracción de características y comparación de huellas dactilares”

[3] Zhongbo Zhang; Siliang Ma; Xiao Han. "Multiscale Feature Extraction of Finger-Vein Patterns Based on Curvelets and Local Interconnection Structure Neural Network", Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. 18th International Conference.

[4] Zhong Bo Zhang; Dan Yang Wu; Si Liang Ma; Jie Ma. "Multiscale Feature Extraction of Finger-Vein Patterns Based on Wavelet and Local Interconnection Structure Neural Network", Neural Networks and Brain, 2005. ICNN&B '05. International Conference.

[5] Chiang, J.Y. "A new approach for binary line image vectorization," Systems, Man and Cybernetics, 1995 Intelligent Systems for the 21st Century, IEEE International Conference.

[6] *Daniel Moreno* (9 marzo 2018) [¿Está el empleo en riesgo por el auge de la robótica?](https://www.finanzasparamortales.es/esta-el-empleo-en-riesgo-por-el-auge-de-la-robotica/)
Disponible en: <https://www.finanzasparamortales.es/esta-el-empleo-en-riesgo-por-el-auge-de-la-robotica/>

[7] Sam Smith «Human Interface & Biometric Technologies: Emerging ecosystems, Opportunities & Forecast 2014-2019»,
Disponible en: <https://www.juniperresearch.com/press/press-releases/biometric-authentication-app-downloads-to-reach-77>

[8] Disponible en: <https://www.dermalog.com/es/productos/software/identificacion-combinada-abis/>

[9] Maersa “Historia de la biometría”
Disponible en <http://www.maersa.com.mx/historia.html>

[10] Valencia Murill, José Fernando “Iris Feature Extraction as a Biometric Identification Mechanism”.

[11] *INCIBE* (Instituto nacional de ciberseguridad). “Guía de tecnologías biométricas aplicadas a la ciberseguridad”

Disponible en:

https://www.incibe.es/sites/default/files/contenidos/guias/doc/guia_tecnologias_biometricas_aplicadas_ciberseguridad_metad.pdf

- [12] López Verástegui, German Oswaldo “Implementación de algoritmos de procesamiento de imágenes en FPGA”
- [13] López Gobernado, Carlos J. “La admisión como prueba de los otogramas en el proceso penal español”.
- [14] Raphaël Terris “Sensores de imagen – CMOS contra CCD”
Disponible en: <https://www.albedomedia.com/tecnologia/sensores-de-imagen-cmos-contra-ccd/>
- [15] Escajedo San Epifanio, Leire “Reconocimiento e identificación de las personas mediante biometrías estáticas y dinámicas”.
- [16] Suárez Pascual, José Enrique “*Mecanismos de Captura y Procesado de Imágenes de Venas para Identificación Personal*”, Tesis doctoral
- [17] Morris Mano, M (2003) “Diseño Digital”. Pearson [ISBN° 970-26-0438-9](https://www.pearson.com/9780130438901)
- [18] Gonzáles Maxinez, David Jaime. Grupo Editorial Patria, ed. “Programación de Sistemas Digitales con VHDL”
- [19] Geeky theory Puertos y Buses 1: I2C y UART
Disponible en: <https://geekytheory.com/puertos-y-buses-1-i2c-y-uart>
- [20] Machine Learning and Data Mining Lab, Department of Computer Science and Technology Shandong University, Jinan, Shandong, P.R. China
Disponible en: <http://mla.sdu.edu.cn/info/1006/1195.htm>
- [21] “Image Processing Toolbox” Disponible <https://es.mathworks.com>
- [22] OTSU, N. “A threshold selection method from gray-level histogram”. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,
- [23] R.C. González, R.E. Woods, “Digital Image Processing, Pearson Prentice Hall, 200”
- [24] Hoja de características del sensor ZFM-Fingerprint
Disponible en: https://www.velleman.eu/downloads/29/infosheets/vma329_datasheet.pdf
- [25] Cortés Martínez, Francisco. “Sistemas biométricos de reconocimiento mediante la identificación de patrones de las venas de la mano”. Informe técnico, Universidad Carlos III de Madrid
- [26] Hoja de características del OV7670
<https://www.voti.nl/docs/OV7670.pdf>

[27] Hoja de características del interfaz SCCB

Disponible en : <http://www4.cs.umanitoba.ca/~jacky/Teaching/Courses/74.795-LocalVision/ReadingList/ov-sccb.pdf>

[28] Learning about electronics ¿Qué es un Condensador de Desacoplo?

Disponible en: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Condensador-de-desacoplo.php>

[29] Hoja de características de la fuente de alimentación

Disponible en: <http://www.handsontec.com/dataspecs/mb102-ps.pdf>

[30] Hoja de características de la tarjeta de desarrollo

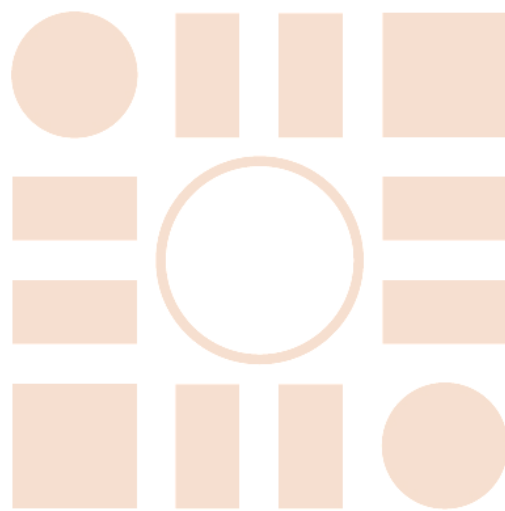
Disponible en: <https://www.waveshare.com/wiki/Open3S500E>

[31] Hoja de características de XILINX SPARTAN 3E

Disponible en: https://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds312.pdf

[32] Bárbaro M. López-Portilla Vigil, Reinaldo J. Menéndez Alonso y Miguel E. Iglesias Martínez “Otsu’s algorithm implementation on FPGA”.

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá