

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecatrónica

Tesis

**Diseño e implementación de prototipo de gafas con
visión artificial y detección de obstáculos para
personas con discapacidad visual en la ciudad de
Huancayo - Junín - Perú**

Phool Josue Esteban Cristobal
Willian Alfredo Buendia Aponte

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecatrónico

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Frank William Zárate Peña
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 12 de Junio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE GAFAS CON VISIÓN ARTIFICIAL Y DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL EN LA CIUDAD DE HUANCAYO - JUNÍN - PERÚ

Autor:

1. Phool Josue Esteban Cristobal – EAP. Ingeniería Mecatrónica
2. Willian Alfredo Buendía Aponte – EAP. Ingeniería Mecatrónica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI ☐ NO ☒
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI ☐ NO ☒
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI ☐ NO ☒

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme desde el comienzo de mi vida hasta el proceso actual y permitir que culmine con la investigación con la finalidad de cumplir metas y objetitos profesionales.

Agradezco a mis padres y hermano, por el apoyo constante y la perseverancia de brindarme sostén en cada dificultad de mi vida. De igual manera a mi novia por la ayuda en proceso de desarrollo de tesis.

Agradezco a mi casa de estudios, la Universidad Continental, por brindar los conocimientos necesarios para mi formación profesional.

Phool J. Esteban Cristobal.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, hicieron posible la realización de esta tesis.

Agradezco a mi madre, Carmen Rosa Aponte Mayta, por su guía y apoyo constante, su paciencia y valiosos consejos. Gracias por su apoyo emocional, moral sin el cual no habría podido llegar hasta aquí.

A mi compañero Phool Esteban, con el que compartimos este proyecto el cual tenemos la dicha de haber concluido

A todos, gracias.

Willian A. Buendia Aponte.

DEDICATORIA

Dedico mi investigación a mis padres, Edilberto F. Esteban Leiva y Erlinda F. Cristobal Castro, por el apoyo incondicional, enseñanza en cada etapa de mi vida y agradecer por inculcarme valores; asimismo, a mi hermano Samuel Esteban Cristobal por el apoyo brindado en la vida Universitaria.

Phool J. Esteban Cristobal.

Dedico esta investigación a mi madre Carmen Rosa Aponte Mayta y hermanos, por su apoyo inconmensurable y constante su confianza depositada hacia mi persona, incluso en los momentos más difíciles.

A todos los que de una u otra forma nos brindaron su apoyo durante el desarrollo de este proyecto y por la amistad brindada hacia mi persona.

Willian A. Buendia Aponte.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCION.....	XV
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	16
1.1.1. Descripción de la situación problemática.....	16
1.1.2. Formulación del problema.....	17
1.1.2.1. Problema general.....	17
1.1.2.2. Problemas específicos	17
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. Justificación e importancia	17
1.3.1. Importancia de la investigación	18
1.3.1.1. Justificación teórica	18
1.3.1.2. Justificación práctica.....	18
1.3.1.3. Justificación social.....	18
1.3.2. Viabilidad de la investigación.....	19
1.3.2.1. Viabilidad técnica	19
1.3.2.2. Viabilidad tecnológica.....	19
1.3.2.3. Viabilidad temporal.....	19
1.3.2.4. Viabilidad social	20
1.4. Alcance y limitaciones del estudio	20
1.4.1. Alcances.....	20
1.4.2. Limitaciones	21
1.4.2.1. Limitación documental.....	21

1.4.2.2. Limitación teórica.....	21
1.4.2.3. Limitación social	21
1.5. Hipótesis.....	21
1.5.1. Hipótesis general.....	21
1.5.2. Hipótesis específicas.....	21
1.6. Variables.....	22
1.6.1. Variable independiente	22
1.6.2. Variable dependiente	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes de la investigación.....	25
2.1.1. Antecedentes nacionales	25
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	26
2.2. Bases teóricas	28
2.2.1. Discapacidad.....	28
2.2.2. Reconocimiento facial	28
2.2.3. Detección de obstáculos.....	29
2.2.4. Inteligencia artificial.....	32
2.2.5. Software	33
2.2.6. Hardware	33
2.2.7. Lenguajes de programación.....	33
2.2.8. Microcontrolador.....	34
2.2.9. Sensores	35
2.2.10. Actuadores.....	36
2.2.11. Impresión 3D	37
2.2.12. Raspberry Pi.....	37
2.2.13. Diseño de sistemas electrónicos.....	38
2.3. Definición de términos básicos	39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	40
3.1. Metodología de investigación	40
3.1.1. Enfoque mixto.....	40
3.1.2. Tipo de la investigación	40
3.1.3. Alcance	41
3.1.4. Diseño.....	41

3.2. Diagrama de bloques (VDI 2221).....	42
3.3. Diseño metodológico	43
3.4. Estado de la tecnología.....	45
3.5. Lista de deseos y exigencias	46
3.6. Caja negra y blanca.....	47
3.6.1. Caja negra.....	47
3.7. Estructura de funciones	48
3.8. Matriz morfológica	49
3.8.1. Solución 1.....	52
3.8.2. Solución 2.....	53
3.8.3. Solución 3.....	53
3.9. Evaluación técnica, tecnológica y económica.....	54
3.9.1. Evaluación técnica.....	54
3.9.2. Evaluación tecnológica	54
3.9.3. Evaluación económica	55
3.9.4. Solución óptima	56
CAPÍTULO IV: SISTEMAS DEL PROTOTIPO	59
4.1. Sistema general funcional.....	59
4.2. Sistema de control.....	60
4.3. Sistema electrónico.....	64
4.4. Comunicación	64
4.4.1. Sensor de distancia.....	65
4.4.2. Sensor de imagen	65
4.4.3. Raspberry Pi 4B	66
4.4.4. Amplificador de audio	67
4.4.5. Planos de prototipo.....	68
4.4.5.1. Diseño de plano electrónico de dispositivo esclavo	68
4.4.5.2. Diseño de plano electrónico de dispositivo maestro	69
4.5. Sistema eléctrico.....	70
4.5.1. Suministro de energía de dispositivo esclavo	70
4.5.2. Suministro de energía de dispositivo maestro	73
4.6. Diseño de mecánico - case.....	77
4.6.1. ABS	77

4.6.1.1. Propiedades mecánicas del ABS	78
4.6.1.2. Simulación en el prototipo de gafas.....	78
4.6.2. Posición de cargas en relación al cuerpo.....	82
4.6.3. Diseño de case	83
4.6.3.1. Dispositivo maestro	83
4.6.3.2. Dispositivo esclavo	85
4.7. Fabricación de PCB y conexiones eléctricas	85
4.8. Proceso de fabricación de placas electrónicas.....	91
CAPÍTULO V: RESULTADOS ESPERADOS	94
5.1. Pruebas.....	94
5.1.1. Pruebas eléctricas	94
5.1.2. Pruebas de control.....	97
5.1.2.1. Entrenamiento de imágenes para reconocimiento facial	97
5.1.2.2. Pruebas de desempeño del software en reconocimiento facial e identificación de personas	98
5.1.2.3. Pruebas de identificación de billetes	107
5.1.2.4. Pruebas de detección de colores primarios y secundarios	115
5.1.2.5. Detección de obstáculos con sensor láser	121
5.1.2.6. Pruebas de conversión de texto a voz	128
5.2. Resultados.....	129
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
6.1. Conclusiones.....	137
6.2. Recomendaciones	138
6.3. Trabajos futuros.....	139
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
8. ANEXOS	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de necesidades y métricas.....	47
Tabla 2. Matriz morfológica.	49
Tabla 3. Evaluación técnica.....	54
Tabla 4. Evaluación tecnológica.	55
Tabla 5. Evaluación económica.	56
Tabla 6. Consumo de corriente y potencia total de dispositivo esclavo.....	70
Tabla 7. Características de baterías.	72
Tabla 8. Baterías LiPo celdas.....	72
Tabla 9. Consumo de corriente y potencia total de dispositivo maestro.....	73
Tabla 10. Baterías litio celdas.....	75
Tabla 11. Cuadro de propiedades mecánicas y físicas.....	78
Tabla 12. Tabla climática - Huancayo.	79
Tabla 13. Descripción de pines del VL53LOX.....	87
Tabla 14. Pruebas de autonomía de baterías.....	95
Tabla 15. Identificación de rostros de personas a diferentes distancias.....	103
Tabla 16. Pruebas de identificación de rostros de personas.	106
Tabla 17. Identificación de billetes a diferentes distancias.	111
Tabla 18. Pruebas de identificación de billetes.....	114
Tabla 19. Detección de colores a diferentes distancias y horarios.	117
Tabla 20. Pruebas de detección de colores a 3 cm.	120
Tabla 21. Pruebas de medición de distancias hacia un objeto.	123
Tabla 22. Resultados de las pruebas.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Personas con alguna discapacidad.....	16
Figura 2. Gráfico de resultados asociados al antecedente.	26
Figura 3. Fórmula de distancia sensor ultrasónico.	30
Figura 4. Partes de un sensor láser.....	31
Figura 5. Cuadro de reflectancia objetivo.	31
Figura 6. Cuadro de modo, alcance y precisión.	31
Figura 7. Señal entrada sintetizada.	32
Figura 8. Software de programación Python.	33
Figura 9. Tarjeta de programación Arduino.	34
Figura 10. Programa de desarrollo de PCB y simulación de circuitos electrónicos.....	34
Figura 11. Microcontrolador usado por Arduino es el Atmega 328p.	35
Figura 12. Ejemplo de sensor resistivo.	35
Figura 13. Clasificación de sensores.....	36
Figura 14. Clasificación de actuadores según energía utilizada.....	36
Figura 15. Máquina de impresión 3D.	37
Figura 16. Pines de entrada y salida de una tarjeta Raspberry pi.	38
Figura 17. Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi.	38
Figura 18. Sistema electrónico digital.....	38
Figura 19. Diagrama de bloques.....	42
Figura 20. Norma VDI 2206.....	43
Figura 21. Modelo VDI 2206.....	43
Figura 22. VDI 2206 diagrama de bloques.....	44
Figura 23. Diagrama del estado de la tecnología.	46
Figura 24. Caja negra.....	48
Figura 25. Caja negra - funcional.....	48
Figura 26. Estructura de funciones.....	49
Figura 27. Diseño de la solución 1.	52
Figura 28. Diseño de la solución 2.	53
Figura 29. Diseño de la solución 3.	53
Figura 30. Gráfico y cuadro comparativo de soluciones por criterio.....	57
Figura 31. Solución de desarrollo elegida.	57
Figura 32. Sistema de control.	59
Figura 33. Diagrama de bloques de control.....	60
Figura 34. Diagrama de flujo de control de gafas (controlador esclavo).	61
Figura 35. Diagrama de flujo de control de RPI 4 (controlador maestro).....	63

Figura 36. Módulo bluetooth HC05.....	64
Figura 37. Plano esquemático dispositivo esclavo.	68
Figura 38. Plano esquemático dispositivo maestro.....	69
Figura 39. Fórmula de baterías conectadas en serie.	74
Figura 40. Fórmula de baterías conectadas en paralelo.....	76
Figura 41. Configuración de baterías - medición de corriente.....	77
Figura 42. Configuración de baterías - medición de voltaje.....	77
Figura 43. Simulación sometida bajo radiación solar máxima.	79
Figura 44. Deformación equivalente de ABS de gafas.	80
Figura 45. Desplazamiento total de gafas de ABS.	82
Figura 46. Relación de pesos con relación de H y V.....	83
Figura 47. Soporte de cámara vista 3D.	84
Figura 48. Tapa de case vista 3D.....	84
Figura 49. Módulo case en vista 3D.	84
Figura 50. Modelo de gafas vista posterior desarrollado en SOLIDWORK.	85
Figura 51. Modelo de gafas vista frontal desarrollado en SOLIDWORK.	85
Figura 52. Circuito electrónico en PCB.	85
Figura 53. Circuito electrónico de módulo de control.	86
Figura 54. Salidas de circuito integrado ATMEGA328P basado en Arduino.	86
Figura 55. Tarjeta de sensor láser VL53LOX.....	86
Figura 56. Pines de chip VL53LOX.	87
Figura 57. Módulo de microcomputador con los circuitos de comunicación.....	88
Figura 58. Módulo de microcomputador ATMEGA328 configurado para Arduino.....	88
Figura 59. Módulo de cámara para reconocimiento.	89
Figura 60. Gráfico de la sensibilidad de cámara utilizado en el proyecto.....	89
Figura 61. Módulo de sistema de audio-altavoz.....	90
Figura 62. Diagrama de flujo del módulo amplificador PAM8403.....	90
Figura 63. Diagrama de flujo del módulo de baterías.....	91
Figura 64. Circuito impreso y baquelita lista para el grabado.	91
Figura 65. Transferencia de circuito impreso a la placa de PBC en baquelita.....	92
Figura 66. Proceso de grabado con ácido bórico.....	92
Figura 67. PCB limpios y grabados.	93
Figura 68. PCB doble cara UART RPI.	93
Figura 69. Componentes electrónicos soldados en ele PCB.....	93
Figura 70. Prueba de simulación de fuente de alimentación estable para Raspberry.	94
Figura 71. Prueba física de fuente de alimentación.....	95
Figura 72. Gráfica de datos obtenidos de simulación de consumo de baterías.	96

Figura 73. Gráfico de datos obtenidos de tarjeta electrónica.....	96
Figura 74. Diagrama de bloques de la creación de archivos Haar.....	98
Figura 75. Diagrama de bloques de funcionamiento de identificación de rostros.....	99
Figura 76. Personas no registradas ni identificadas, con reconocimiento de rostros.....	100
Figura 77. Diagrama de flujo para activación de audio.	101
Figura 78. Identificación de rostros de personas registradas.	102
Figura 79. Gráfica de pruebas de identificación de personas diurno.....	104
Figura 80. Gráfico de pruebas de identificación de personas nocturno.	104
Figura 81. Billetes peruanos.	107
Figura 82. Billetes peruanos no identificados, con reconocimiento de rostros.....	108
Figura 83. Diagrama de flujo de identificación de billete.	109
Figura 84. Billetes peruanos identificados.....	109
Figura 85. Gráfica de pruebas de identificación de billetes diurno.	112
Figura 86. Gráfico de pruebas de identificación de billetes nocturno.....	112
Figura 87. Diagrama de bloques de detección de color.	115
Figura 88. Colores primarios y secundarios.	116
Figura 89. Intervalos de colores formato HSV.	116
Figura 90. Gráfica de detección de color horario diurno.....	118
Figura 91. Gráfico de detección de color horario nocturno.	118
Figura 92. Detección de colores.....	119
Figura 93. Fórmula de conversión de tiempo de vuelo láser a distancia.....	121
Figura 94. Código de adquisición de distancia desde un haz de luz láser.	122
Figura 95. Gráfica de distancia sensor láser vs distancia real.....	123
Figura 96. Ángulo de distancia de cobertura.	124
Figura 97. Promedios de rotación cérico-capital en mujeres.	125
Figura 98. Promedio de rotación cérico-capital en hombres.....	125
Figura 99. Persona con un solo sensor en las gafas.....	126
Figura 100. Persona con un sensor, con ángulo de rotación del cuello 60°.....	126
Figura 101. Persona con 3 sensores láser y ángulo de rotación de 60°.....	127
Figura 102. Diagrama de flujo 4 funciones y salida a audio.	129
Figura 103. Prototipo de gafas para personas invidentes.	130
Figura 104. Terminal - activación y llamado de código.....	131
Figura 105. Script general y script secundario.....	132
Figura 106. Identificación del rostro de Josué.	133
Figura 107. Terminal - activación y llamado de código.....	133
Figura 108. Prueba de reconocimiento de billetes.....	134
Figura 109. Identificación correcta del billete.	134

Figura 110. Detección de color verde.....	135
Figura 111. Persona voluntaria pruebas de obstáculos.	136
Figura 112. Usuario voluntario para las pruebas.....	136

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se tuvo como objetivo desarrollar e implementar un prototipo dividido en dos partes que sea capaz de brindar beneficios y ventajas a personas con discapacidad visual, además de obtener un manejo intuitivo hombre-máquina en la localidad de Huancayo - Junín. Durante el desarrollo se aplicaron conocimientos en diseño electrónico, desarrollo y fabricación electrónica, diseño de mecánico del case y materialización, finalmente desarrollo de software. Se realizaron pruebas de funcionalidad y corrección de funcionalidad para su operatividad adecuada.

La funcionalidad del prototipo es: detección de obstáculos, identificación de billetes, identificación de personas y detección de colores, toda la información llega al usuario final mediante audio. Se realizó el desarrollo del prototipo teniendo en cuenta parámetros de tiempo de vuelo de haz de luz láser, distancia de detección de obstáculos, iluminación de ambiente exterior, iluminación de ambiente cerrado.

Se tuvieron 7 etapas para el desarrollo del prototipo según la matriz morfológica: ETAPA 1: búsqueda de hardware compatible para desarrollo. ETAPA 2: Diseño electrónico y diseño de case. ETAPA 3: Materialización de tarjetas electrónicas e impresión 3D de case. ETAPA 4: Ensamblaje de hardware. ETAPA 5: Pruebas individuales de funcionalidad de cada sensor y actuador. ETAPA 6: Desarrollo de software y pruebas de funcionalidad. ETAPA 7: Correcciones finales y término del prototipo. Finalmente. Se realizó la funcionalidad y se brindó las condiciones seguras y óptimas de funcionalidad de acuerdo a los parámetros ambientales existentes.

Palabras clave: prototipo de gafas, discapacidad visual, diseño e implementación.

ABSTRACT

The objective of this research project was to develop and implement a two-part prototype capable of providing benefits and advantages to people with visual impairments, in addition to achieving intuitive human-machine operation in the Huancayo, Junín. During the development process, knowledge in electronic design, electronic development and manufacturing, case mechanical design and implementation, and finally software development were applied. Functionality testing and functional corrections were performed to ensure proper operation.

The prototype's functionality includes obstacle detection, banknote identification, person identification, and color detection, all of which is delivered to the end user via audio. The prototype was developed taking into account parameters such as laser beam flight time, obstacle detection distance, outdoor ambient lighting, and indoor ambient lighting.

The prototype development process was carried out in 7 stages according to the morphological matrix: STAGE 1: Search for compatible hardware for development. STAGE 2: Electronic design and case design. STAGE 3: Materialization of electronic cards and 3D printing of the case. STAGE 4: Hardware assembly. STAGE 5: Individual functionality tests for each sensor and actuator. STAGE 6: Software development and functionality tests. STAGE 7: Final corrections and completion of the prototype. Finally, the functionality was achieved, and safe and optimal conditions for functionality were provided in accordance with existing environmental parameters.

Keywords: prototype glasses, visual impairment, design and implementation.

INTRODUCCION

El trabajo de investigación presentado a continuación, tiene como objetivo el diseño e implementación de un prototipo dividido en dos partes basado en gafas y módulo con visión artificial, cuya finalidad es facilitar el desplazamiento, brindar un extra con respecto a temas cotidianos (detección de obstáculos, identificación de personas, billetes y colores) de las personas con discapacidad visual en la localidad de Huancayo - Junín - Perú.

La investigación de la problemática está basada en el desarrollo de los prototipos para garantizar el funcionamiento adecuado y cumplir con los objetivos propuestos, se desarrolló el diseño para el hardware, software y salida de audio para la interacción intuitiva máquina - hombre.

El estudio realizado se propuso de acuerdo a la encuesta y datos de INEI y ENEDIS donde existe un grupo de porcentaje alto en discapacidad visual en el Perú y en Huancayo.

El trabajo de investigación está estructurado en 5 capítulos: CAP.I-Planteamiento del estudio, CAP.II-Marco teórico, CAP.III-Metodología de la investigación, CAP.IV-Sistemas del prototipo, CAP.V-Resultados esperados, finalizando con las conclusiones, recomendaciones, trabajos futuros y referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Descripción de la situación problemática

Actualmente en la sociedad se observa un comportamiento inhumano por parte de la población, en su mayoría, debido al escaso apoyo que brindan a una persona con discapacidad o habilidades diferentes. Tal es el caso de las personas que padecen de discapacidad visual, que recurren a una familiar cercano para que les sirva de guía en su caminata diaria o a un perro lazarillo entrenado, sin embargo, existe dificultades en ambos medios de apoyo. En caso de la persona guía, se puede observar el cansancio inminente y el descuido de sus actividades, asimismo si la persona con discapacidad visual dispone de un perro guía, existe la posibilidad de no tener libre acceso a lugares o transporte público, además de existir una escasez de estos perros entrenados en Perú.

En julio del 2013, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) presentó los resultados de la Primera Encuesta Nacional Especializada sobre Discapacidad (ENEDIS). Esta encuesta muestra que en el Perú existen 1 millón 575 mil 402 personas con algún tipo de discapacidad, es decir, alrededor del 5.2 % de la población total (1).

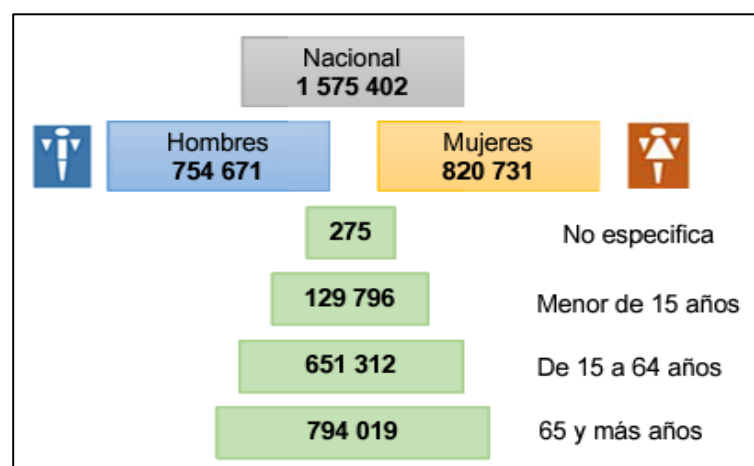


Figura 1. Personas con alguna discapacidad.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (1).

La encuesta reveló que el 13.3 % de la población encuestada presenta limitaciones para ver, lo que representa un total de 44 386 personas con este tipo de discapacidad en nuestro país (1).

Dentro de nuestra región Junín, las personas con discapacidad son aproximadamente 17 263 personas inscritas dentro del CONADIS, y tan solo en la provincia de Huancayo, que es donde nuestra investigación se enfoca, es de 5 500 personas entre niños, adultos y ancianos (2).

La investigación pretende mejorar la calidad de vida, así como mejorar la dependencia de las personas con discapacidad visual; brinda información del entorno de manera precisa y accesible, para la toma de decisiones de la misma.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo diseñar e implementar un sistema inteligente y electrónico para personas invidentes para su fácil movilidad?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo desarrollar el software con detección de obstáculos y visión artificial del prototipo para personas invidentes?
- ¿Cómo diseñar el hardware y sistema electrónico del prototipo para personas invidentes?
- ¿Cómo diseñar el sistema de control capaz de ayudar personas invidentes?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar e implementar gafas con detección de obstáculos y visión artificial para personas con discapacidad visual.

1.2.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un software con visión artificial que permita la identificación de personas, billetes y colores primarios - secundarios.
- Implementar un sistema electrónico de detección de obstáculos basado en sensores láser.
- Diseñar un sistema de control para facilitar la comunicación del sistema de gafas con el centro de procesamiento de la información.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Importancia de la investigación

1.3.1.1. Justificación teórica

El proyecto comprende el desarrollo de Software y Hardware, por lo que precisa de conocimientos relacionados a Mecánica, Electrónica y Programación.

El Software presentará el algoritmo de reconocimiento Haarcascade en el Lenguaje de Programación de Python aplicando la inteligencia artificial (visión por computador) con la ayuda de la biblioteca OpenCV.

El Hardware contará con electrónica hecha a medida aplicando las teorías de circuitos electrónicos y diseño electrónico, donde se estimará los cálculos de consumo energético y brindar una autonomía de funcionamiento de 6 h como mínimo. Dentro de Hardware se desarrollará el diseño del case del prototipo con los criterios de diseño basados en la ergonomía y portabilidad del mismo.

1.3.1.2. Justificación práctica

La investigación de justifica mediante la aplicación de nuestros conocimientos aprendidos y compartidos en la rama de la Mecánica, Electrónica y Programación de sistemas inteligentes, lo cual pretende brindar una mejor calidad de vida y mejorar la interacción de las personas con discapacidad visual con su entorno.

La presente investigación será capaz de brindar información en posteriores investigaciones sobre el reconocimiento facial e identificación de billetes, así también como la evasión de obstáculos guiado por un Asistente de Voz; además el aporte de conocimientos sobre la creación y/o aplicación de una base de datos en el lenguaje de programación Python con la ayuda de la inteligencia artificial (visión artificial).

1.3.1.3. Justificación social

Las personas con discapacidad visual tienen movilidad motora, capacidades cognitivas y sensoriales normales; debido a ello, esta investigación se enfoca en aquellas personas.

El tema de estudio propuesto es de gran interés a nivel mundial, en su mayoría basándose en la evasión de obstáculos y navegación para personas

invidentes; la aplicación de la visión artificial o visión por computador se estudia recientemente y muy pocos investigadores aplican sus conocimientos en personas con discapacidad visual.

La investigación beneficiará a personas que padecen de discapacidad visual de cualquier edad, ya que contará con un asistente de voz, capaz de transmitir la información de manera precisa y puntual, logrando generar un desplazamiento autónomo y seguro, capaz de identificar personas (familiares y/o personas allegadas a la persona), billetes y obstáculos dentro del entorno de recorrido de la persona que se encuentre utilizando el dispositivo.

Es por ello que la investigación será sometida a pruebas con 1 persona voluntaria y posterior a la aprobación de funcionalidad con 1 persona inscrita en el CONADIS Huancayo - El Tambo.

1.3.2. Viabilidad de la investigación

1.3.2.1. Viabilidad técnica

Para el desarrollo del presente trabajo, se cuenta con los conocimientos de desarrollo de programas autónomos (software) y la experiencia laboral en diseño, desarrollo e implementación de tarjetas electrónicas con sistemas embebidos (hardware), por lo tanto, nuestras aptitudes adquiridas a lo largo de la vida estudiantil y desarrollo profesional, sumado el acceso a información fundamental tanto en la web, foros, libros, facilitan el desarrollo del presente proyecto.

1.3.2.2. Viabilidad tecnológica

El proyecto se desarrolla en el lenguaje de programación Python debido a que es un programa de licencia de software libre permisiva, y así no afecte con patentes ni otros desarrollos tecnológicos.

Para el desarrollo y diseño del hardware se cuenta con proveedores electrónicos para la compra de materiales a nivel nacional, brindando una amplia gama de componentes electrónicos.

1.3.2.3. Viabilidad temporal

La presente investigación tiene un tiempo de desarrollo de 5 meses tanto la parte hardware como software simulación y diseño, incluyendo el

ensamblaje con el case o carcasa. 1 mes para los entrenamientos y calibración de imágenes, identificación de billetes y reconocimiento de colores básicos. Finalmente con 2 meses de pruebas con personas con discapacidad visual durante 3 veces por semana, tiempo que se modificará y mejorar el interfaz de usuario según las indicaciones del paciente.

1.3.2.4. Viabilidad social

El presente trabajo de investigación constará en el desarrollo de un prototipo completamente funcional, el cual se verá sometido a pruebas y estudios en personas con discapacidad Visual registrados en el (CONADIS), la funcionalidad del sistema se verá sometida a cambios para el fácil uso del usuario. Por lo tanto, el tipo de investigación es experimental. Para completar el proceso de la investigación se realizarán pruebas presenciales con personas voluntarias que padezcan de discapacidad visual, con la autorización del personal de CONADIS - Huancayo. Se tomará en cuenta la ergonomía y capacidad de adaptación en el manejo del dispositivo.

Al ejecutar nuestra investigación con el prototipo no alterará, ni causará ningún tipo de daños a los voluntarios. Al contrario, la finalidad es conocer y mejorar la calidad de vida de las personas en estudio.

1.4. Alcance y limitaciones del estudio

1.4.1. Alcances

- a) Alcance temático: Prototipo de gafas con visión artificial y detección de obstáculos.
- b) Alcance temporal: año 2024.
- c) Alcance especial: CONADIS distrito El Tambo - Huancayo.
- d) Alcance poblacional: 1 persona voluntaria y posterior a la aprobación de funcionalidad con 1 persona con discapacidad visual inscritas en CONADIS - El Tambo.

La investigación se desarrolla en personas con discapacidad visual suscritas dentro de la entidad CONADIS - Huancayo, se solicitará voluntarios para el desarrollo completo del dispositivo, asimismo se tendrán en cuenta las sugerencias e incomodidades para satisfacer las necesidades de las mismas.

La investigación comprende el diseño, desarrollo e implementación de un prototipo de gafas con visión artificial y detección de obstáculos para personas con

discapacidad visual. Mencionado prototipo debe ser ergonómico y portable, además debe brindar una autonomía superior a 6 h. El test de los sensores, datos y procesamiento de las imágenes no deben superar 500 ms.

1.4.2. Limitaciones

1.4.2.1. Limitación documental

Para el desarrollo de la investigación, se precisa conocimientos en programación orientada a procesamiento de imágenes. Por ello, los investigadores llevarán cursos de capacitación en procesamiento de imágenes, además se cuenta con la suscripción a foros de consulta internacionales de desarrolladores tecnológicos.

1.4.2.2. Limitación teórica

Los investigadores no cuentan con conocimiento en maquinado y fabricación de piezas mecánicas o cases. Por ello se diseñará analizando las condiciones mecánicas y ergonómicas y se dará paso a la manufactura a personal capacitado en maquinado de piezas mecánicas o profesional en fabricación digital: CNC, impresora 3D.

1.4.2.3. Limitación social

Las pruebas del prototipo funcional se llevarán a cabo con 1 persona voluntaria y posterior a la aprobación de funcionalidad 1 persona con discapacidad visual inscritas en CONADIS Huancayo - El Tambo. Las pruebas del prototipo se realizarán previa coordinación con el usuario voluntario, adaptándonos a sus tiempos libres.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El sistema inteligente de visión artificial y detección de obstáculos es funcional para personas con discapacidad visual.

1.5.2. Hipótesis específicas

- El software con visión artificial detecta óptimamente a personas, billetes y colores primarios - secundarios en menos de 2 segundos.

- La implementación de gafas con sistema electrónico basado en sensores láser detecta obstáculos en un rango de 0.30 - 1.50 m mejorando el andar de las personas con discapacidad visual.
- El software tiene una interfaz intuitiva para la persona con discapacidad.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

Gafas con visión artificial y detector de obstáculos:

Es un prototipo desarrollado y pensado para brindar mayor independencia al usuario con discapacidad visual, Mediante el uso de la inteligencia artificial se logrará el reconocimiento facial de personas allegadas al paciente, identificación de billetes y detección de colores, con el fin de mejorar el desenvolvimiento en su día a día. Involucra las siguientes dimensiones:

- Distancia máxima y mínima de detección de obstáculos.
 - Validez de reconocimiento facial (identificado o no identificado).
 - Detección de colores primarios y secundarios.
 - Identificación de billetes (valor nacional).
- a) Reconocimiento facial: es un software desarrollado con el fin de analizar, identificar y confirmar la identidad de una persona mediante los rasgos faciales previamente entrenados almacenados en el software. El software necesita de procesos de alto rendimiento, por ello es necesario utilizar un computador o microcomputador, los indicadores para el funcionamiento son los siguientes:
- Sensor 8 Mpx.
 - Tiempo de testeo de 200 milisegundos (ms).
 - Rango de luz para detención 0 - 50000 lux.
- b) Detección de obstáculos: es un sistema que es capaz de detectar la presencia de un objeto a una determinada distancia, utiliza sensores ubicados estratégicamente. El presente trabajo contará con 3 sensores ubicados en unas gafas que serán procesadas por el microcomputador. Los indicadores son los siguientes:
- Tiempo de testeo de 100 milisegundos (ms).
 - Distancia de detección 0.30 m a 1.5 m.
 - Sensor láser de presión de +/- 0.33 milímetros (mm).

- c) Identificación de valor binomial de billetes: la detección de billetes, al igual que el reconocimiento facial, precisa de procesos de alto rendimiento. Será gobernada por el microcomputador que previamente será entrenado para el funcionamiento deseado. Los indicadores para esta función son:
- Tiempo de testeo de 150 milisegundos (ms).
 - Billetes de Perú (antiguos y nuevos 2024).
 - Audio de valor de billete identificado.
- d) Detección de colores primarios y secundarios: la detección de colores está dado la descomposición de colores a RGB (red, green, blue). Con la ayuda de una cámara y un software dedicado a mencionada función, se pretende lograr la detección de colores primarios y secundarios, y enviar la información mediante audio al usuario. Los indicadores son:
- Colores primarios y secundarios.
 - Audio de color de detectado 2 repeticiones.
 - Tiempo de testeo de 100 milisegundos (ms).

1.6.2. Variable dependiente

Interacción efectiva usuario - sistema de prototipo:

El funcionamiento de prototipo debe relacionarse con el usuario de manera intuitiva en su control, respuesta y diseño. Todo equipo electrónico precisa de un entrenamiento o manual de instrucciones; el prototipo desarrollado en el presente trabajo es de aprendizaje rápido e intuitivo con un diseño ergonómico teniendo en cuenta el peso que cargar una persona en el cuello del usuario. A continuación, se describen las dimensiones:

- a) Prototipo intuitivo: el aprendizaje del manejo del prototipo es amigable, debido a que precisa de un intervalo entre 5 - 10 entrenamientos guiados por el desarrollador para poder manejarlo. Es necesario que tenga esta función importante ya que el usuario final es una persona con discapacidad visual. A continuación, se describen los indicadores:
- Aprendizaje general entre 5 - 10 entrenamientos guiados.
 - Modos de funcionalidad y controles con mini selector de 3 estados.
 - Encendido y apagado del prototipo con selector unipolar.

- b) Diseño ergonómico: el diseño ergonómico es diseño de la carcasa o case de un prototipo para interactuar con una persona de manera eficiente y segura. Teniendo en cuenta que el usuario final es una persona con discapacidad visual, se consideran los siguientes indicadores:
- Ubicación del prototipo a la altura del pecho.
 - Esquinas y bordes redondeados con radio mínimo de 3 milímetros (mm).
 - Material de fabricación no tóxico 90 % biodegradable.
- c) Portátil y ligero: la portabilidad es la capacidad de un objeto de su fácil transporte; ligero es la capacidad de un objeto que gracias a sus componentes de diseño tiene un peso reducido. Al juntar ambas características, se busca obtener un prototipo de fácil transporte y de peso reducido para evitar cualquier incomodidad. Se presentan los siguientes indicadores:
- Peso máximo entre 80 a 100 gramos (g) - Prototipo de gafas.
 - Peso máximo entre 300 a 400 gramos (g) - Prototipo de procesamiento.
 - Dimensión es de 140 x 50 x 20 milímetros (mm) - Prototipo de gafas.
 - Dimensiones de 110 x 65 x 40 milímetros (mm) - Prototipo de procesamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes nacionales

Quintana (3) describe en su tesis “Diseño de un sistema electrónico para la detección de líneas de advertencia amarilla y baches en veredas para personas con discapacidad visual dentro de un centro de salud, Lima” el propósito de desarrollar un sistema electrónico con visión artificial mediante el uso del Raspberry pi3, para la identificación de líneas amarillas y obstáculos en veredas en tiempo real, cuyo estudio se realizó dentro de un hospital de la ciudad de Lima. Desarrollando un sistema de algoritmos en Python y el uso de librerías OpenCV, el uso de cámaras para la obtención de imágenes y su procesamiento, luego de esto se realizó la implementación de un prototipo para la realización de las pruebas pertinentes. El resultado conseguido fue de un 91.94 % de eficiencia, permitiéndole ampliar el rango de detección de obstáculos al uso del bastón, esta investigación proyectó que el invidente cuente con una alternativa tecnológica que contribuya a reducir riesgos por accidentes.

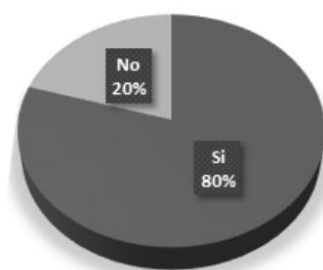
Espinoza (4) describe en su tesis “Diseño de un sistema de visión artificial de reconocimiento de pastillas para personas con discapacidad visual” el reto constante de una persona con discapacidad visual, por lo cual se enfoca al reconocimiento de cajas de pastillas mediante el computador. Los algoritmos desarrollados son de OpenSource en el lenguaje de programación Python, procesados por un Microcomputador que es la Raspberry Pi 4, quien se encarga del procesamiento de imágenes, detección e identificación de las mismas. Al identificar la pastilla en microcomputador se comunica mediante el usuario mediante voz logrando un interfaz usuario máquina amigable. De esta manera se concluye que el prototipo ayuda a la identificación de cajas de medicamentos a personas no videntes.

Marquina (5) describe en su tesis “Bastón inteligente basado en sensores para mejorar el desplazamiento de personas con discapacidad visual de la Asociación Fe y Esperanza de la ciudad de Tarapoto” el desarrollo de un bastón inteligente con sensores ultrasónicos para poder identificar los obstáculos presentes por debajo de la cintura del paciente, alertando con vibraciones cuando existen obstáculos. Con la investigación se pretendió reducir la dependencia hacia una persona o un animal guía, además de poder tener un mejor panorama de los obstáculos presentes en su

entorno y mejorar el desplazamiento de un punto A - punto B de las personas con discapacidad visual de la Asociación Fe y Esperanza. Los resultados obtenidos luego de realizar mediciones de tiempo en el desplazamiento de las personas invidentes, teniendo entre 10 y 12 obstáculos incluyen el haber obtenido un tiempo un promedio de desplazamiento de 155 segundos. Para la calificación del bastón inteligente el 25 % lo calificó como “Bueno” y el 75 % lo calificó que es “Muy Bueno”; infiriendo que el bastón inteligente permitió detectar con mayor eficiencia los obstáculos de su entorno, reduciendo el tiempo de recorrido, teniendo una valoración y aceptación positiva por el usuario.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Maldonado *et al.* (6) describen en su investigación “Gafas electrónicas con sensores ultrasónicos para personas no videntes” la creación de un prototipo de gafas que cumplen la función de guía en el desplazamiento dentro de un entorno a personas con discapacidad visual. La importancia del proyecto fue la mejora de calidad de vida de estas personas en su desplazamiento, para lo cual utilizaron los siguientes métodos de investigación: historio-lógico, inducción-deducción, encuestas, observación y estadístico-matemático, de los cuales se obtuvieron resultados que impactaron de forma significativa en la vida de las personas con discapacidad visual al utilizar el prototipo desarrollado en la investigación hecha, disminuyendo de forma considerable los accidentes que se ocasionaban por los obstáculos encontrados en su desplazamiento. Uno de los resultados a una de las preguntas importantes realizadas a estudiantes, docentes y personas con discapacidad visual de la Universidad de Manabí, sobre la importancia de desarrollar un prototipo de gafas electrónicas para las personas no videntes obtuvo como resultado de un 80 % a favor un 20 % en contra como se puede observar en la siguiente figura.



Personas no videntes, estudiantes y docentes de las carreras de Ingeniería en Computación y Redes, de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. Elaborado por: Autores

Figura 2. Gráfico de resultados asociados al antecedente.

Fuente: Maldonado *et al.* (6).

Arias (7) describe en su tesis “Diseño e implementación de gafas inteligentes como herramienta de asistencia para lectura y reconocimiento del entorno para personas con discapacidad visual utilizando inteligencia artificial” el desarrollo de un dispositivo portátil de lectura y reconocimiento de objetos mediante el uso de red neuronal, algoritmos e inteligencia artificial cuyo objetivo fue desarrollar un dispositivo capaz de leer archivos y reconocer aproximadamente 92 objetos del entorno en el cual se encuentra, permitiéndole conocer los objetos que se encuentran en el rango de visión del dispositivo a la persona con discapacidad visual y brindándole un grado de autonomía, el dispositivo le permitió escuchar el texto de un periódico, revista o libro, con tamaños de fuentes pequeños y medianos. El dispositivo logro una eficiencia de detección del 95.94 % en lectura y 60.67 % en objetos, por lo que se garantizó un funcionamiento aceptable dentro de las limitaciones de los componentes del dispositivo.

Miño (8) describe en su tesis “Diseño de un dispositivo de apoyo para la movilidad de personas con discapacidad visual” el diseño y construcción de un dispositivo electrónico basado en Arduino, para contribuir en la movilidad de personas con discapacidad visual. Seleccionando una opción que cumpla con los requerimientos básicos establecidos, teniendo en cuenta que la accesibilidad de los componentes utilizados, disponibles en su país para el desarrollo de la investigación realizada, como resultado se obtuvo un dispositivo con la capacidad de detectar obstáculos. También logró la geolocalización de usuario en casos de extraviarse, para lo cual se utilizó un dispositivo GPS. Como medida adicional en dispositivo cuenta con la capacidad de enviar mensajes de texto a la persona registrada como tutor. El dispositivo de asistencia brinda ayuda oportuna al momento de reconocer los obstáculos en un rango establecido y logra alertar al usuario de su presencia a través de una alarma. Finalmente, cabe destacar que el modelo es de fácil manipulación, con un peso de 220 g y el costo obtenido representa solo el 20 % de otros modelos presentes en el mercado con características similares.

Villacreses (9) describe en su tesis “Desarrollo de un prototipo de gafas electrónicas con sensores ultrasónicos orientado a personas no videntes para el laboratorio de robótica en la carrera de Ingeniería en Computación y Redes” el desarrollo de un dispositivo que consta de dos partes en su estructura, una en la cabeza en forma de gafas y otra en el abdomen. El prototipo posee 3 sensores ultrasónicos 2 en la parte superior (gafas) y 1 en el abdomen siendo controlados por un Arduino Uno; los sensores están distribuidos de esta manera para poder detectar obstáculos de manera eficiente por encima de la altura de la cintura del usuario. El dispositivo cuenta con

batería y tiene un tiempo de funcionamiento de 5 h. La comunicación de las 2 partes es cableada y es capaz de detectar obstáculos de hasta 80 cm de radio. El prototipo al detectar los objetos y/u obstáculos emite sonidos y vibraciones para informar al usuario y que pueda transitar sin dificultades a personas no videntes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Discapacidad

La Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que “la persona se considera discapacitada cuando se ve afectada en sus actividades diarias o cuando su participación en hechos reales es limitada. Algunas de las cosas que pueden involucrar son comer, socializar con otras personas, limpiarse, hablar, observar y moverse”, ello citado por el portal Apoyarte Perú (10).

Existen varios tipos de discapacidad, los cuales pueden presentarse de manera individual o conjunta en ocasiones:

- a) Discapacidad visual: es la pérdida parcial o total de la vista, se presenta con disminución o ceguera. Es muy común y con mayor porcentaje de probabilidad que ocurra en accidentes que en condiciones genéticas. Por lo general se adquiere a lo largo de la vida del paciente y afecta de manera significativa en la vejez o enfermedad.
- b) Discapacidad auditiva: es la pérdida total o parcial de la percepción de los oídos, para ello se necesita de una evaluación de sonidos. Las causas de padecer esta discapacidad pueden ser hereditarias o adquiridas durante la vida de la persona.
- c) Discapacidad intelectual: se define como la limitación del funcionamiento intelectual, la cual interfiere con las actividades cotidianas del usuario. Es importante mencionar que existen niveles de discapacidad intelectual y se clasifican mediante los grados de dificultad que presentan las personas.
- d) Discapacidad psíquica: se define como alteraciones en la conducta y comportamiento del individuo, en la mayoría son el reflejo de trastornos mentales.
- e) Discapacidad visceral: son las menos conocidas, pero una de las más frecuentes, se presenta ante el mal funcionamiento de algún órgano interno gastrointestinal.

2.2.2. Reconocimiento facial

El portal Amazon (11) menciona que “un analizador facial es un software que identifica o confirma la identidad de una persona a partir del rostro. Funciona mediante la identificación y medición de los rasgos faciales en una imagen. El

reconocimiento facial puede identificar rostros humanos en imágenes o videos, determinar si el rostro que aparece en dos imágenes pertenece a la misma persona o buscar un rostro entre una gran colección de imágenes existentes”.

Las ventajas de los sistemas de reconocimiento facial son amplias y aplicables a los tipos de tecnologías existentes que pueden brindar seguridad eficiente, mayor precisión, una integración más fácil, etc.

Las imágenes se entrenan (haarcascade) en computador previas a ser reconocidas y se tienen como una base de datos para poder detectar los rostros de personas. El reconocimiento facial se desarrolla en cinco pasos:

- Fase de detección: la información se da cuando se detecta un rostro a través de un periférico tal como una cámara web o video.
- Pre procesado de la imagen: se desarrolla la extracción de las propiedades geométricas de un rostro detectado y se realiza una conversión de la imagen a escala de grises.
- Extracción de características faciales: se obtiene la información biométrica de las propiedades geométricas y se almacena en patrones y/o matrices.
- Comparación: el patrón obtenido es comprado con la base de datos que se ha entrenado previamente al proceso para identificar a la persona con la imagen actual, estos resultados son basados en porcentajes de similitud.
- Toma de decisiones: utilizando el porcentaje de identificación de las personas se decide que acción realizar al encontrar el mayor porcentaje obtenido. Posteriormente se refrescan los datos y reinicia el bucle.

2.2.3. Detección de obstáculos

Existen muchas maneras de identificar obstáculos, existen sensores conocidos y utilizados en electrónica para poder detectar la presencia de objetos, ya sea por reflexión de luz infrarroja, señales ultrasónicas, tiempo de vuelo de haz de luz, entre otros; mediante la ayuda de fórmulas matemáticas y la señal emitida y recibida de los sensores, se puede obtener una señal de voltaje que al procesarla se expresada en medidas de distancia.

Los sensores ultrasónicos trabajan con el sonido, emiten y las ondas que retornan al rebotar en un objeto se analizan y se miden el tiempo en que están retorna al sensor. Es decir, se emite un pulso sonoro, sabiendo que la velocidad del sonido es de 343 m/s en condiciones de temperatura 20 °C, una humedad de 50%, considerando la presión atmosférica a nivel del mar, se presenta la presente fórmula (12):

$$343 \frac{m}{s} * 100 \frac{cm}{m} * \frac{1 s}{1000000 us} = \frac{1 cm}{29.2 u}$$

Es decir, el sonido tarda 29.2 ms/cm, por tanto podemos obtener la distancia teniendo en cuenta el tiempo entre la emisión y recepción del pulso mediante la presente ecuación (12):

$$Distancia(cm) = \frac{Tiempo(us)}{29.2 * 2}$$

El motivo de dividir por 2 el tiempo es porque se ha medido el tiempo que tarda el pulso en ida y retorno, se tiene en cuenta que la distancia recorrida por el pulso es el doble de la que se desea medir (12).

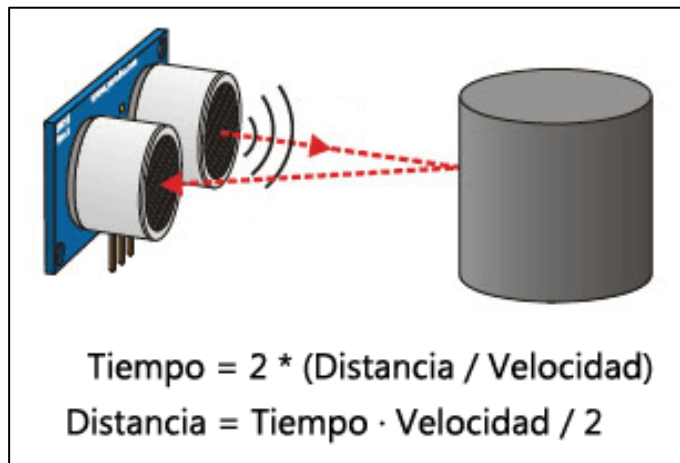


Figura 3. Fórmula de distancia sensor ultrasónico.

Fuente: Llamas (12).

- Los sensores láser o VL53L0X es un tipo de sensor ToF (Time of Flight):

Su funcionamiento se basa en enviar un pulso de láser de luz infrarroja y medir el tiempo de retorno del haz de luz en retornar al mismo. El sensor está incorporado por diodos, un emisor y receptor, distribuidos de manera afectiva y con una electrónica interna de precisión que permite realizar los cálculos para la medición de distancias.

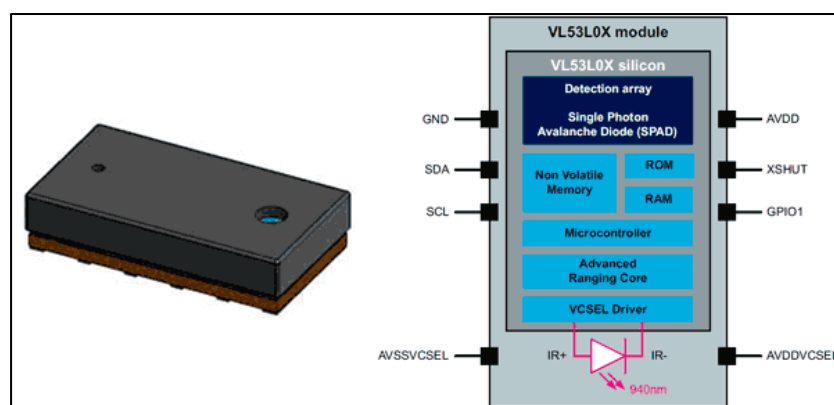


Figura 4. Partes de un sensor láser.

Fuente: Llamas (13).

El rango de medición depende de las condiciones del entorno, las características del objeto y del modo de funcionamiento. Por lo general, tenemos dos modos. El estándar es de 50 a 1200 mm, y un modo ampliado hasta 2000 mm. Para rangos más cercanos, la variante de sensor VL6180X posee un rango de 5 mm a 200 mm.

Reflectancia objetivo	Conditions	Indoor	Outdoor
Objetivo blanco	Típico	200cm	80cm
Minimo	120cm	60cm	
Objetivo gris	Típico	80cm	50cm
Minimo	70cm	40cm	

Figura 5. Cuadro de reflectancia objetivo.

Fuente: Llamas (13).

La precisión, de igual manera depende del entorno, objetivo y modo de funcionamiento. En la tabla se muestra los valores típicos de rango y precisión según los modos de funcionamiento del VL53L0X (13).

Modo	Timing	Alcance	Precisión
Default	30ms	1.2m	Ver tabla siguiente
Alta precisión	200ms	1.2m	+/- 3%
Largo alcance	33ms	2m	Ver tabla siguiente
Alta velocidad	20ms	1.2m	+/- 5%

Figura 6. Cuadro de modo, alcance y precisión.

Fuente: Llamas (13).

Que se sintetiza en la gráfica, se presenta para el modo de funcionamiento estándar (13).

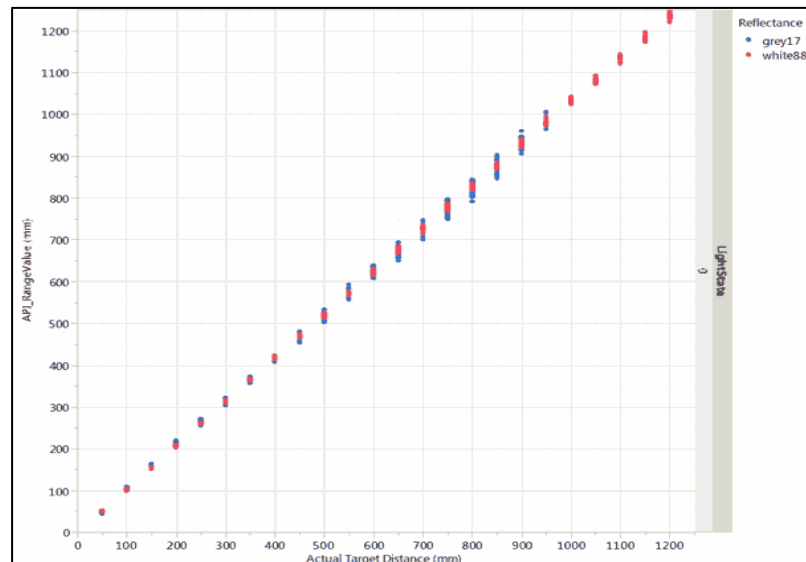


Figura 7. Señal entrada sintetizada.

Fuente: Llamas (13).

2.2.4. Inteligencia artificial

La I.A. es la capacidad que tienen las máquinas para utilizar algoritmos, aprender de la información adquirida mediante los datos y la capacidad de tomar decisiones, tal como lo realizamos los humanos. Pero a diferencia de los humanos, estos dispositivos basados en inteligencia artificial no necesitan descansos y pueden procesar grandes cantidades de información. Del mismo modo, las máquinas que realizan las mismas actividades que las personas tienen porcentajes de error significativamente más bajos (14).

La I.A. se puede aplicar a diferentes situaciones, algunas de las aplicaciones de la inteligencia artificial son:

- Reconocimiento de imágenes, clasificación y rotulado: estas herramientas son útiles para una amplia gama de industrias.
- Mejoras el desempeño de los algoritmos comerciales.
- Procesamiento de datos con mejor eficiencia.

Detección y clasificación de objetos dentro de un rango dado: esta tecnología la encontramos en la industria de asistentes para personas invidentes, vehículos autónomos, también se pueden integrar en muchos otros campos (14).

2.2.5. Software

El software es el conjunto de programas, instrucciones informáticas que se desarrollan en una computadora que se clasifica en tres tipos (15):

- Programas de control, estos controlan y supervisan la ejecución de los procesos que se realizan en la computadora.
- Programas de proceso, estos sirven para que las personas creen sus propios programas dentro de los cuales tenemos la Raspberry, el módulo Arduino mediante el programa Python.
- Programas de aplicación, son los que están desarrollados por el usuario para la solución de sus propios problemas.

2.2.6. Hardware

El hardware es la parte física de un equipo, abarca case, electrónica, sensores y actuadores. Es decir, todo aquello de se puede percibir con el tacto.

2.2.7. Lenguajes de programación

Python:

Es un lenguaje de programación creado por Guido van Rossum a principios de los años 90 cuyo nombre está inspirado en el grupo de cómicos ingleses “Monty Python”. Es un lenguaje con una sintaxis muy limpia y de fácil entendimiento. Se trata de un lenguaje multiplataforma y está orientado a objetos (16).



Figura 8. Software de programación Python.

Fuente: González (16).

Arduino:

El microcontrolador Arduino (figura 9) es un pequeño centro de comando que espera nuestras órdenes, que, con unas pocas líneas de código, puedes hacer que tu Arduino encienda o apague una luz, lea el valor de un sensor y mostrarlo en la pantalla de tu computadora, o incluso podría usarse para construir un circuito casero. Debido a su versatilidad y al soporte masivo disponible en la comunidad de usuarios de Arduino, se ha atraído a una nueva generación de apasionados a la electrónica que nunca antes había manipulado un microcontrolador, y mucho menos programado uno con tanta facilidad (17).

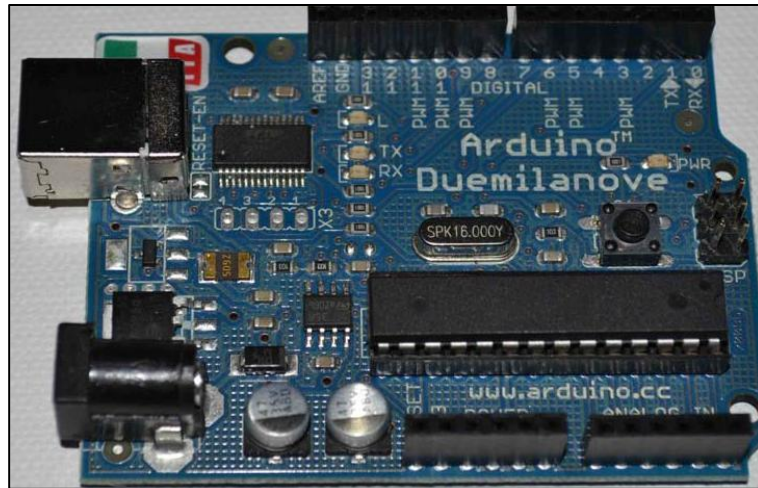


Figura 9. Tarjeta de programación Arduino.

Fuente: Warren *et al.* (17).

Diseño de PCB:

Es la creación de placas de circuitos electrónicos impresos para los cuales se utilizan programas como Proteus, kiCad, Eagle, CircuitMaker, etc.

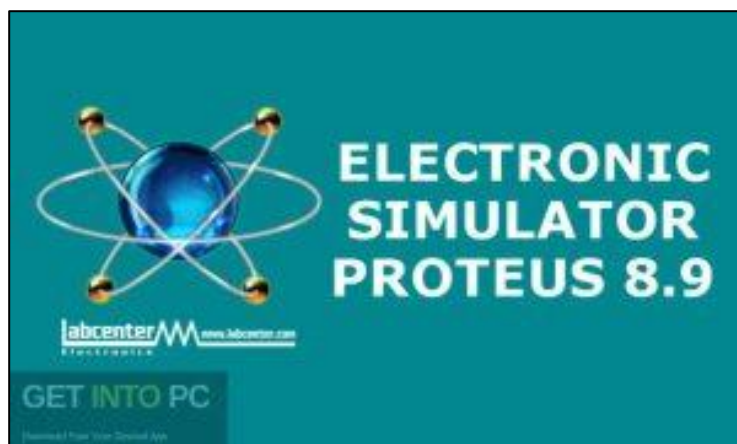


Figura 10. Programa de desarrollo de PCB y simulación de circuitos electrónicos.

Fuente: Engineering Software (18).

2.2.8. Microcontrolador

Un microcontrolador (abreviado UC o MCU) es un circuito integrado programable, que tiene la capacidad de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Este se encuentra compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen funciones específicas. Un microcontrolador incluye en su interior las tres unidades fundamentales: unidad central de procesamiento (CPU), memoria y periféricos de entrada y salida (I/O) (19).

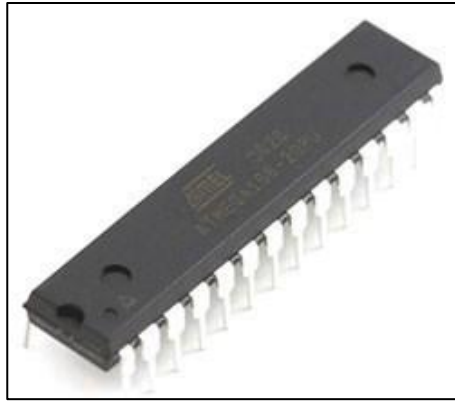


Figura 11. Microcontrolador usado por Arduino es el Atmega 328p.

Fuente: Caicedo (19).

2.2.9. Sensores

El sensor es un dispositivo que capta los fenómenos físicos y los transforma en señales y datos medibles por los microcontroladores. El sensor es un dispositivo solo de entrada, ya que siempre es un intermediario entre la variable física y el sistema de medida utilizado, en la actualidad los sensores entregan señales eléctricas en sus salidas, ya sea analógicas o digitales, puesto que este tipo de dominio físico es uno de los más utilizados en la actualidad (20).

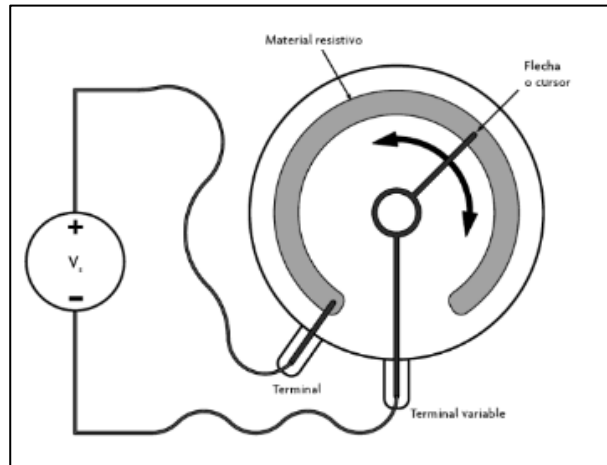


Figura 12. Ejemplo de sensor resistivo.

Fuente: Corona *et al.* (20).

Los sensores se pueden clasificar según la variable medida.

Esta clasificación es una de las más comunes, sin embargo, puede causar una cierta confusión ya que el mismo sensor puede ser utilizado en la medición de diferentes variables físicas; como ejemplo, un sensor ultrasónico puede ser utilizado para medir proximidad, el nivel de un líquido, la presencia de un objeto y solo depende del tipo de configuración en la que se dese utilizarlo.

La figura 13 muestra la clasificación de los sensores según la variable a medir (20).

Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y pH
	Biométricos
	De corriente

Figura 13. Clasificación de sensores.

Fuente: Corona et al. (20).

2.2.10. Actuadores

Un actuador es un dispositivo que tiene la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de posición, velocidad o estado de algún tipo en un elemento mecánico, mediante la transformación de la energía (20).

Por lo regular, los actuadores se clasifican en dos grandes grupos:

- Por el tipo de energía utilizada: actuador neumático, hidráulico y eléctrico.
- Por el tipo de movimiento que generan: actuador lineal y rotativo.

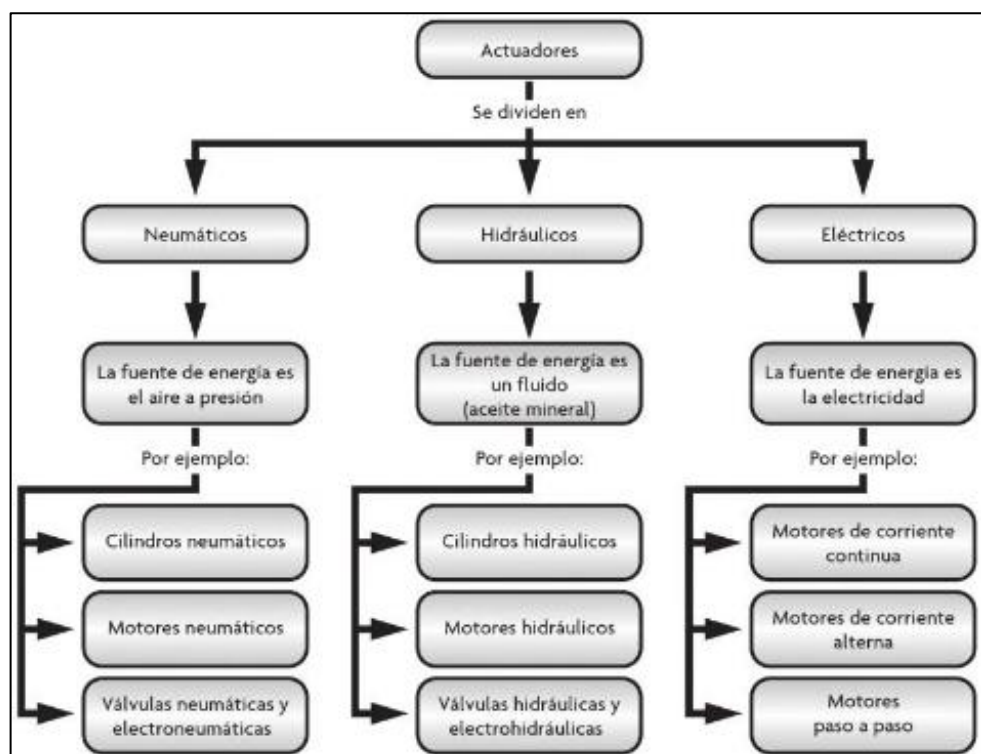


Figura 14. Clasificación de actuadores según energía utilizada.

Fuente: Corona et al. (20).

2.2.11. Impresión 3D

La fabricación digital consiste en materializar objetos a partir de archivos digitales, utilizando una máquina que es controlada por una computadora. Gracias a este mecanismo se logran varias ventajas, desde mejorar procesos de diseño, obtener piezas personalizadas o reducir costos de producción, hasta fabricar formas complejas que no serían posibles con las tecnologías tradicionales (21).

Las impresoras 3D suelen clasificarse, según su uso y prestaciones, en domésticas e industriales. Sus usos son muy variados, debido a la diversidad de materiales de impresión que se usan: se pueden aplicar, por ejemplo, a la fabricación de joyas, muebles, máquinas, y prótesis. La mayoría de estas aplicaciones son mejoras de procesos ya existentes, también existen algunos experimentales en áreas como la construcción, la creación de tejidos humanos y la fabricación de repuestos en lugares remotos (21).

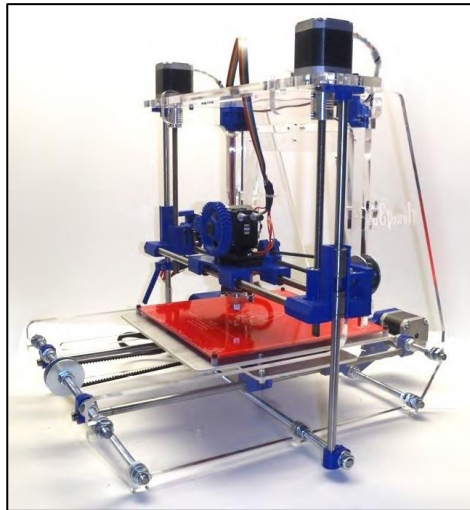


Figura 15. Máquina de impresión 3D.

Fuente: Bordignon *et al.* (21).

2.2.12. Raspberry Pi

La Raspberry Pi, al igual que el Arduino, permite programarse con mucha facilidad. Esto se puede llevar a cabo mediante una variedad de herramientas con diversos lenguajes de programación como Python, Java, C, etc. Como se puede observar en la figura 16, los pines que encontramos en una Raspberry Pi (22).

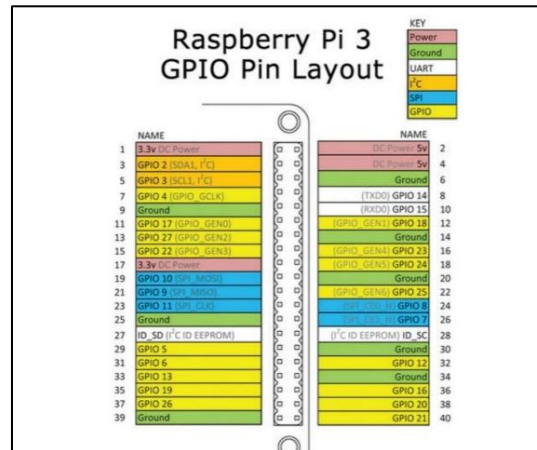


Figura 16. Pines de entrada y salida de una tarjeta Raspberry pi.
Fuente: López (22).

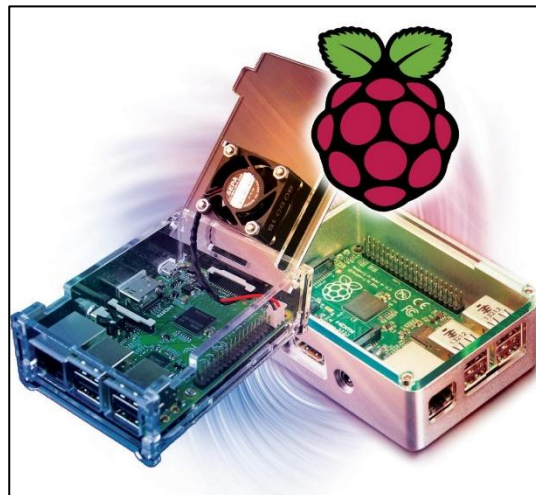


Figura 17. Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi.
Fuente: López (22).

2.2.13. Diseño de sistemas electrónicos

Se entiende por sistemas electrónicos digitales (SED) a todo circuito que realizan el procesamiento de un conjunto de datos digitales de entrada y produce una información en un formato de salida, como resultado de aplicar un algoritmo determinado. Este algoritmo es el que determina el tipo de SED. En la figura 18 se presenta un esquema básico de un SED (23).

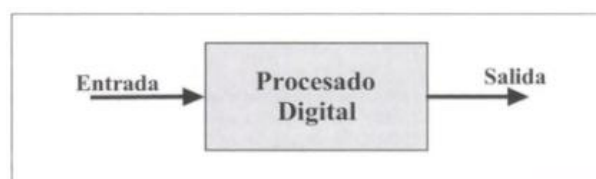


Figura 18. Sistema electrónico digital.
Fuente: Sanchís (23).

Los sistemas electrónicos digitales cableados son contruidos con circuitos integrados combinacionales y secuenciales. En la actualidad se está extendiendo el uso de dispositivos lógicos programables, los sistemas electrónicos digitales programables se encuentran contruidos con microprocesadores y microcontroladores, además del empleo de algunos componentes lógicos cableados, estos a su vez deben de presentar algunos aspectos principales como (23):

- Adaptabilidad en la programación: debe de presentar un grado de facilidad en la modificación de sus funciones (23).
- Reutilización del software: este debe de contar con librerías propias y adquiridas, tal que se pueda acelerar el proceso de desarrollo de los prototipos o productos (23).
- Herramientas de desarrollo: como parte fundamental debe de contar con simuladores que simplifique enormemente la depuración de errores de los sistemas programados (23).
- Independencia de la tecnología: los algoritmos deben ser reutilizables en diferentes prestaciones y tecnologías (23).

2.3. Definición de términos básicos

- Asistente de voz: es un dispositivo que con la ayuda de un software es capaz de interactuar con los usuarios convirtiendo textos a audio.
- GPIO (General Purpose Input/Output, Entrada/Salida de Propósito General): es un pin genérico de un microcontrolador que puede ser configurado por el usuario, según sus necesidades ya sea como entrada o salida de datos.
- Haarcascade: es un algoritmo diseñado para Python, utilizado para la detección de objetos en imágenes o videos previamente entrenados.
- OpenCV: es una biblioteca libre desarrollada para aplicaciones a visión artificial y procesamiento de imágenes en Python, posee funciones avanzadas y fácil manipulación de datos.
- OpenSource: es un código desarrollado por un programador que es de carácter abierto, es decir, cualquier persona puede usar y editar sin citar al autor de dicho código.
- PCB: “Printed Circuit Board” tarjeta de circuito electrónico impreso, este es circuito electrónico que se interconectan y son elaborados en tarjetas de baquelita y cobre.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología de investigación

3.1.1. Enfoque mixto

Albornoz (24) menciona que “el enfoque mixto ayuda a la clasificación y a formular el planteamiento del problema, así como las formas más apropiadas para estudiar y teorizar los problemas de investigación” (24).

Así también, precisa que “los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (meta inferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio” (24).

El desarrollo del presente trabajo aplicó el enfoque mixto debido a que los datos recopilados mediante encuestas para medir actitudes, nivel de control del prototipo, nivel de respuesta, capacidad de aprendizaje, aprendizaje intuitivo, etc., son datos que corresponden al enfoque cuantitativo. Igualmente se analizaron datos de entrevistas a las personas que utilizaron el prototipo, observaciones y opiniones del usuario, datos que corresponden al enfoque cualitativo.

3.1.2. Tipo de la investigación

Aplicada. Behar (25) menciona que “este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica, activa, dinámica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si nos percatamos de que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. Busca confrontar la teoría con la realidad. Es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías” (25).

El desarrollo del presente trabajo utilizó la investigación aplicada debido a que se aplicaron conocimientos adquiridos a lo largo de la vida universitaria y laboral. El prototipo se desarrolló con cálculos matemáticos y datos teóricos que posteriormente se llevaron al desarrollo y a la práctica de la misma. Se busca hacer una comparación de los datos teóricos planteados con los datos prácticos obtenidos.

3.1.3. Alcance

Descriptivo - explicativo. Behar (25) menciona que el alcance descriptivo “identifica características del universo de investigación, señala formas de conducta y actitudes del universo investigado, establece comportamientos concretos, y descubre y comprueba la asociación entre variables de investigación. De acuerdo con los objetivos planteados, el investigador señala el tipo de descripción que se propone realizar. Acude a técnicas específicas en la recolección de información, como la observación, las entrevistas y los cuestionarios. La mayoría de las veces se utiliza el muestreo para la recolección de información, la cual es sometida a un proceso de codificación, tabulación y análisis estadístico” (25).

Así también, Behar (25) menciona que los alcances explicativos “están orientados a la comprobación de hipótesis causales; esto es, identificación y análisis de las causales (variables independientes) y sus resultados, los que se expresan en hechos verificables (variables dependientes). Los estudios de este tipo implican esfuerzos del investigador y una gran capacidad de análisis, síntesis e interpretación. Asimismo, debe señalar las razones por las cuales el estudio puede considerarse explicativo. Su realización supone el ánimo de contribuir al desarrollo del conocimiento científico” (25).

El desarrollo del presente trabajo empleó el alcance descriptivo - explicativo debido a que los datos recopilados provienen de descripción y entrevistas de la persona con discapacidad que usa el prototipo, la observación de los diseñadores del prototipo en cada sesión (aprendizaje intuitivo, capacidad de respuesta, errores, etc.), para posteriormente hacer un análisis estadístico. De igual manera, con los datos obtenidos se buscó mejorar la capacidad del prototipo con los conocimientos adquiridos modificando las variables y se plantearon propuestas de mejora.

3.1.4. Diseño

Experimental. Baena (26) menciona que “se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular” (26).

Así también, Alborno (24) menciona que “es un procedimiento metodológico en el cual un grupo de individuos o conglomerados son divididos en forma aleatoria en grupos de estudio y control y son analizados con respecto a un factor o medida que el investigador introduce para estudiar y evaluar” (24).

El desarrollo del presente trabajo aplicó el diseño experimental debido a que los datos obtenidos de la persona con discapacidad, mediante entrevistas y la observación, buscó modificar los parámetros iniciales del prototipo ajustando a la comodidad del usuario (tiempo de respuesta, aprendizaje intuitivo, capacidad de respuesta, errores). Se buscó analizar la relación de causa y efecto al modificar los parámetros.

3.2. Diagrama de bloques (VDI 2221)

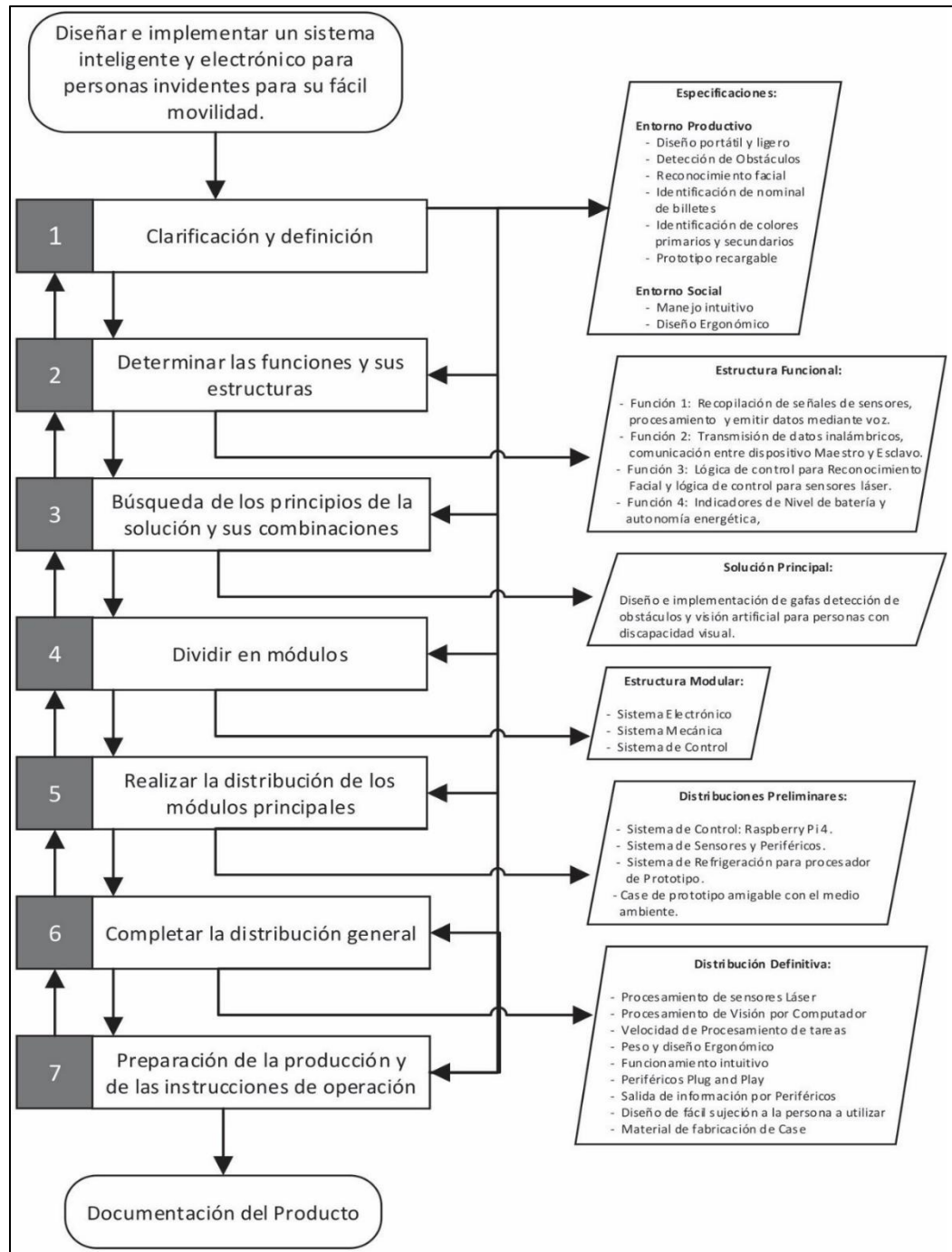


Figura 19. Diagrama de bloques.

3.3. Diseño metodológico

La Asociación de Ingenieros Alemanes (27) indica que la norma VDI tiene una específica para Diseño Mecatrónico, la Norma VDI2206, dada en junio de 2004 como se muestra en la siguiente figura.

ICS 03.100.40; 31.220		VDI-RICHTLINIEN	Juni 2004 June 2004
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme	VDI 2206	Ausg. deutsch/englisch Issue German/English
	Design methodology for mechatronic systems		

Figura 20. Norma VDI 2206.

Fuente: VDI (27).

Un sistema mecatrónico se caracteriza por su complejidad debido a la unión de distintas ramas y dominios de la ingeniería que se conectan y relacionan entre sí. La norma es una guía para una metodología que comprende sistemas mecatrónicos, procesamiento, modelado y análisis, asistencia por computador y aspectos relacionados a sistemas mecatrónicos.

La VDI 2206 propone un modelo en V, como se muestra en la figura 21, para presentar la secuencia de procesos y/o tareas en los bucles de diseño de un sistema mecatrónico orientado al desarrollo de nuevos productos tecnológicos. Brinda un procedimiento flexible para realizar el diseño de prototipos mecatrónicos y mejora constante mediante pruebas, hasta llegar a un producto entregable y éste sea llevado a un escenario real.

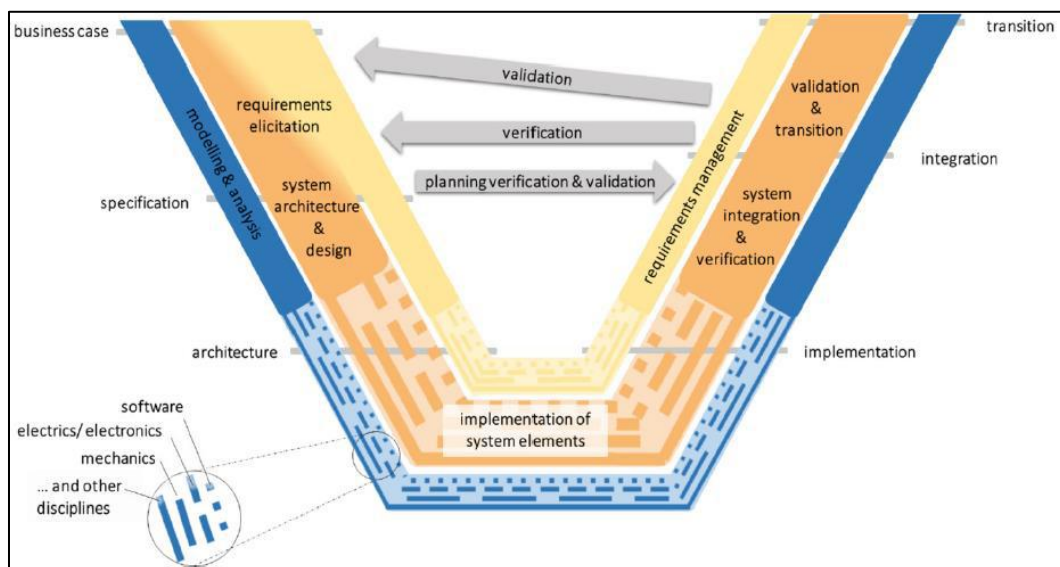


Figura 21. Modelo VDI 2206.

Fuente: VDI (27).

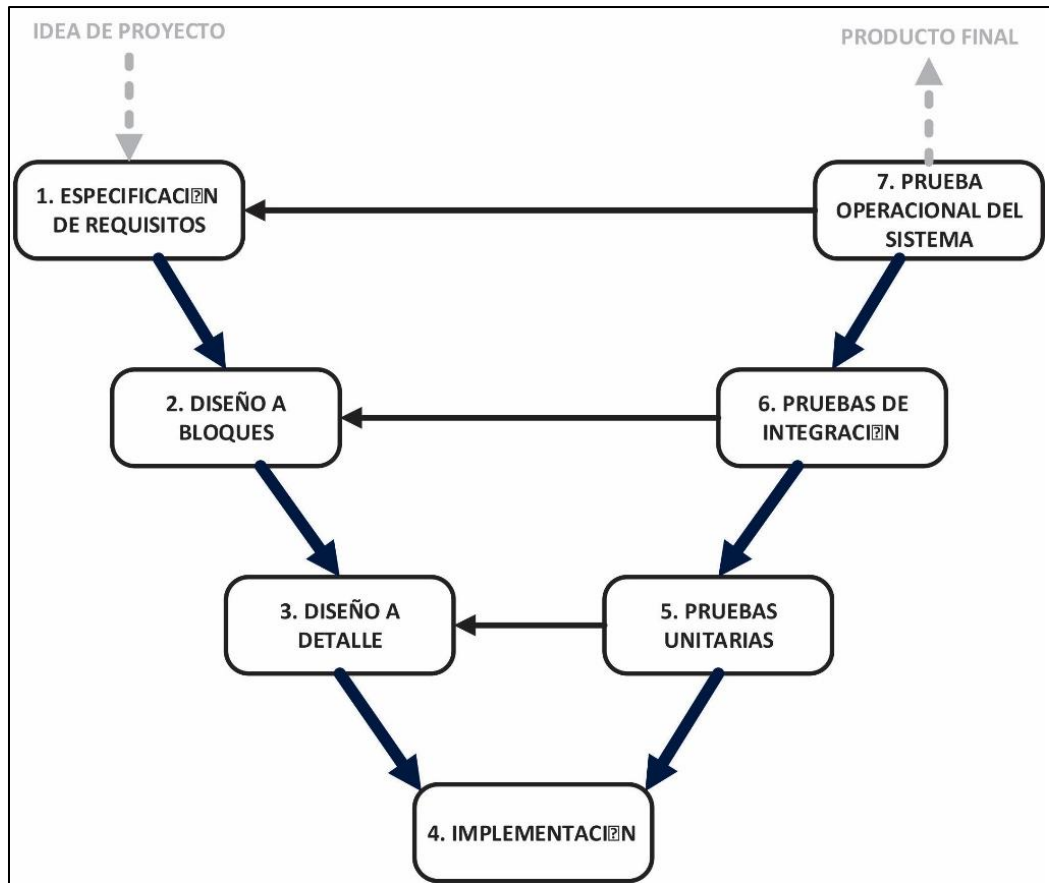


Figura 22. VDI 2206 diagrama de bloques.

La norma VDI 2206 cuenta con 7 etapas dentro de su diseño, cada una depende de la anterior, según cada etapa se pueden hacer modificaciones en el diseño mecatrónico desarrollado.

- a) Especificaciones de requisitos: se definen las especificaciones deseadas para el prototipo.
- b) Diseño a bloques: se realiza el diseño general de sistema, también conocido como diseño de alto nivel (diseño de bloques general del sistema).
- c) Diseño a detalle: cada especificación se diseña a detalle para brindar la solución de lo propuesto (se evalúa sistema mecánico, electrónico y eléctrico).
- d) Implementación: se materializa cada diseño a detalle de los módulos propuestos.
- e) Pruebas unitarias: se realizan pruebas de cada módulo por separado (sistema mecánico, sistema de electrónico, sistema eléctrico, sistema de control).
- f) Pruebas de integración: se interconectan todos los módulos y se realizan pruebas para evaluar el funcionamiento de todo el sistema realizado.
- g) Prueba operacional del sistema: en esta etapa se realizan pruebas en escenario reales siempre y cuando las 6 fases anteriores estén correctamente diseñadas.

Al evaluar el VDI 2206 y los procedimientos que conlleva, el diseño propuesto de nuestra investigación es desarrollar un sistema de visión por computador y detector de obstáculos, el cual será gobernado por la norma VDI 2206 que está orientada al desarrollo e implementación de sistemas mecatrónicos para dar como resultado creación de nuevos productos tecnológicos, igualmente permite la retroalimentación o bucle para una mejora constante realizando las pruebas en cada etapa.

Nuestro prototipo propuesto tiene un grado de dificultad alto, es por ello que aplicaremos el VDI 2206. De igual manera, se plantea llegar hasta la ETAPA 7 - Pruebas operacionales del sistema en escenario reales con 1 personas voluntaria y 1 persona con discapacidad visual que esté inscrita en el CONADIS - Huancayo - El Tambo.

3.4. Estado de la tecnología

El diagrama del estado de la tecnología, presentado en la figura 23, nos permite obtener información precisa mediante la búsqueda de soluciones en otras investigaciones y desarrollos.

En el siguiente diagrama se analizaron 3 investigaciones para personas con discapacidad visual, se evaluó el diseño electrónico y mecánico, viabilidad de proyecto, funcionalidad, limitaciones y futuras actualizaciones. El prototipo por desarrollar, se inclinará a la investigación tecnológica con el uso de microcomputador, ya que nos brinda mayores prestaciones para desarrollar con la lista de exigencias propuestas por el prototipo de nuestra investigación.

En resumen, la figura 23 nos permite visualizar el estado actual de las investigaciones desarrolladas y/o prototipos para personas con discapacidad visual. Teniendo en cuenta las características, ventajas y desventajas de cada tecnología presentada, nos permitirá tomar la mejor decisión para nuestro trabajo de investigación y obtener la mejor solución de un prototipo para personas invidentes.

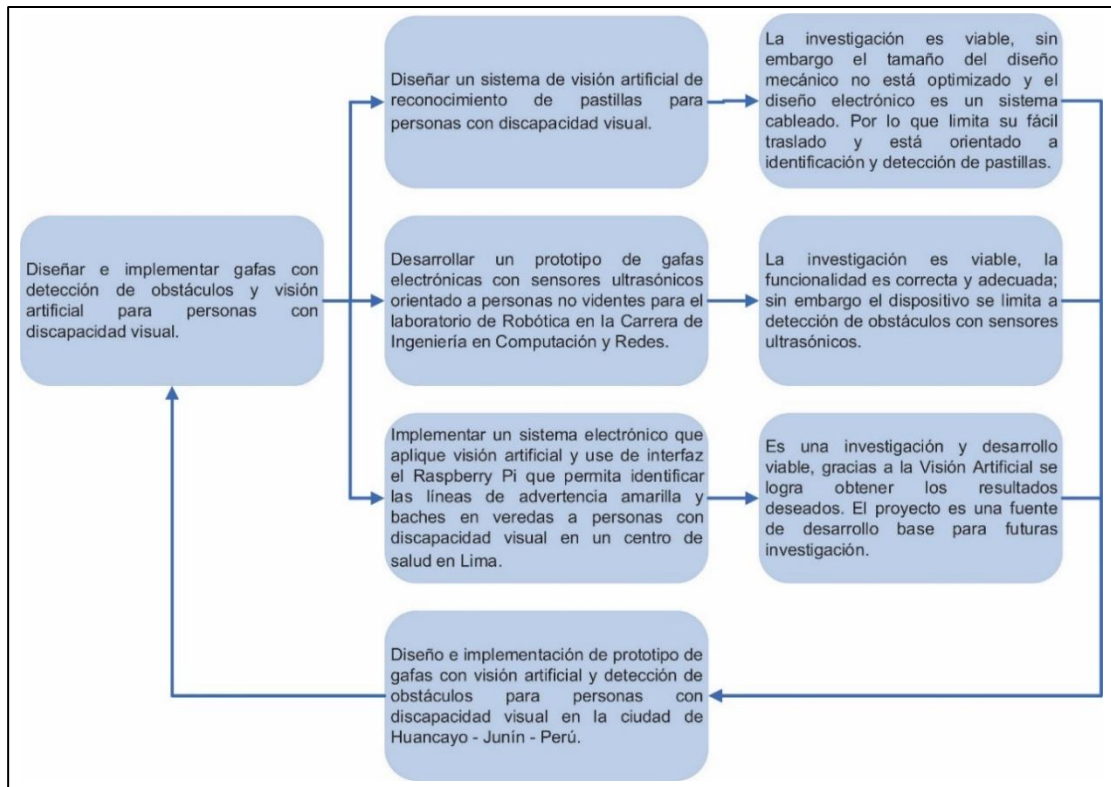


Figura 23. Diagrama del estado de la tecnología.

3.5. Lista de deseos y exigencias

La tabla 1 muestra la lista de necesidades y métricas que debe contar nuestro prototipo de investigación para poder encaminar a una propuesta de funcionalidad, ejecución e implementación del mismo.

Las exigencias son los criterios que debe de cumplir obligatoriamente el prototipo para poder cumplir con los objetivos propuestos y los deseos son aquellos criterios que representan desarrollos adicionales y/o características del prototipo que impulsan a una mejor funcionalidad, mas no son de carácter obligatorio sino de carácter electivo.

Tabla 1. *Lista de necesidades y métricas.*

N° TIPO			EXIGENCIAS Y DESEOS			METRICAS																			
						N°																			
			Dimensiones máximas de Case 97mm * 60mm * 65mm																						
			Rango de detección de rostros de cámara, máximo 50000lux																						
			Tiempo de aprendizaje guiado 50min - 1h 30 min																						
			Tiempo de autonomía de la batería 4h - 5h																						
			Sensor de 8Mpx - Visión Infraroja																						
			Switch de selección de 2 estados ON - OFF																						
			Switch de selección de 3 estados Reconocimientos de PERSONAS, BILLETES, COLORES																						
			Altavoz de 8ohm - 3W																						
			Procesador de 4 núcleos ARM v8 deese 64 bits a 1.5GHz																						
			Microcomputador Raspberry Pi 4 4Gb																						
			Conexión Inalámbrica: Bluetooth 5.0, Wi-Fi 802.11b/g/n/ac																						
			Sensor de Precisión Infrarojo de 5cm a 200cm de rango de medición																						
			Cargador de 1 celda de Lito a 2.5Amp. / 12.5W																						
			Conector de carga hembra tipo C v3.1																						
			Tiempo de muestreo de reconocimiento Facial, Billetes, colores 150ms																						
			Discipadores 3 unidades																						
			Dimensiones de 30cm * 30cm, velocidad 50RPM																						
			El cable de cobre con código de colores número AWG 18 y AMG 20																						
			correas de sujeción tipo mochila talla M graduable																						
			Diseño Impreso en 3D ABS, bordes redondeados radio: 3mm																						
1	D	Diseño de prototipo portátil y ligero																							
2	D	El sistema de control debe contemplar el funcionamiento de Visión por Computador al cambio de intensidad de luz ambiente																							
3	D	Manipulación de prototipo intuitivo																							
4	D	El sistema electrónico debe permitir la autonomía energética por un tiempo prolongado																							
5	D	El Sensor de cámara debe ser Alta Calidad																							
6	E	El sistema de control debe permitir el encendido práctico																							
7	E	El sistema de control debe permitir el cambio de modo de funcionamiento del prototipo																							
8	E	El sistema de control debe de brindar toda información mediante audio																							
9	E	El sistema de control debe procesar los datos de cámara y tener una tasa de actualización alta																							
10	E	El sistema de control debe garantizar la comunicación inalámbrica Bluetooth fluida entre 2 partes del prototipo																							
11	E	El sistema de control debe procesar los datos de sensores de distacia láser																							
12	E	El sistema electrónico debe ser un microcomputador para brindar capacidad de respuesta inmediata de los procesos requeridos																							
13	E	El sistema electrónico debe permitir una carga rápida																							
14	E	El sistema electrónico debe poseer un conector universal para la carga de batería																							
15	E	El sistema electrónico debe permitir la Conexión WiFi para futuras actualizaciones del Sistema de Control																							
16	E	El sistema electrónico debe de contar con refrigeración por aire para garantizar el funcioamiento de procesador del prototipo																							
17	E	El sistema electrónico no debe de contar con cables expuestos																							
18	E	El case debe permitir la fácil adherencia al cuerpo																							
19	E	El material del case debe ser fabricado con material amigable con el medio ambiente																							
20	E	El case del protipo debe ser ergonómico																							

3.6. Caja negra y blanca

3.6.1. Caja negra

El funcionamiento de nuestro prototipo se muestra en la figura 24 indicando las señales de entrada (input) y las señales de salida (output). Para el planteamiento de la caja negra se tuvieron en cuenta solo señales receptoras y salidas de señal deseadas sin conocer el procesos ni métodos de obtención de resultados.

Entradas:

Las entradas son:

- Sensor de distancia que brinda información mediante señal eléctrica.
- Sensor de imagen que brinda imágenes digitales para poder procesarlas.
- Señal eléctrica que brinda autonomía al prototipo.

Salidas:

Todas las señales deben ser procesadas para obtener como resultado final una salida de audio, debido a que el usuario a utilizar es una persona con discapacidad visual.

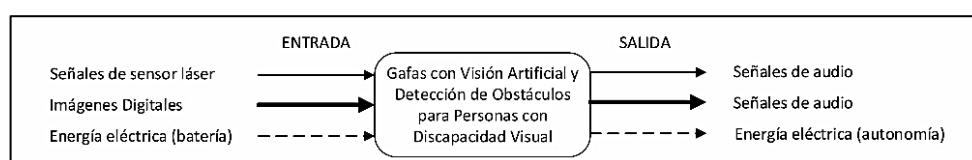


Figura 24. Caja negra.

En la figura 25 se muestra la caja negra desde el punto de vista funcional proponiendo los procesos de funcionamiento para lograr las salidas (output) con respecto a las entradas (input).

Se percibe el despliegue de 3 entradas correspondientes a sensores: láser, imagen, resistivo respectivamente, teniendo como resultado salida de audio.

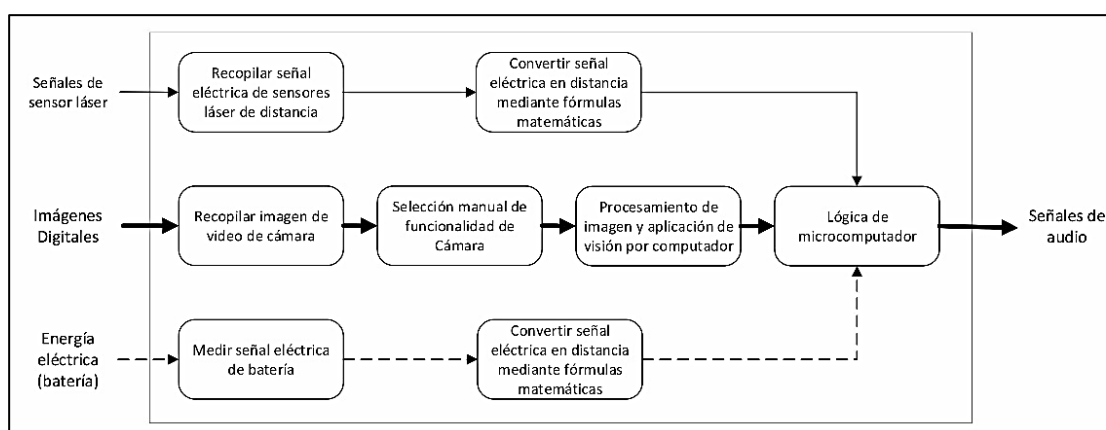


Figura 25. Caja negra - funcional.

3.7. Estructura de funciones

La estructura de funciones, planteada en la figura 26, indica el funcionamiento detallado de cada sistema que engloba el prototipo. La propuesta planteada para la solución de las señales de entrada, procesamiento y obtención de las salidas deseadas fueron analizadas y comprobadas individualmente para garantizar el resultado final deseado. De igual manera, se detalla la relación que deben mantener los 3 sistemas propuestos.

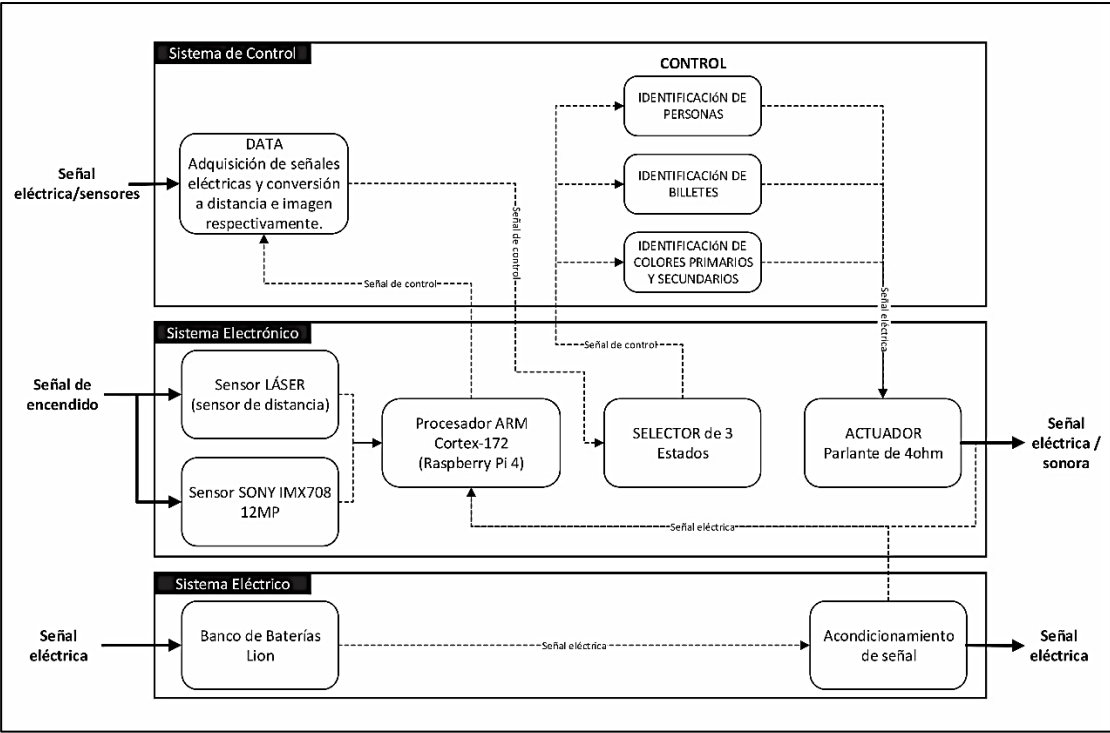


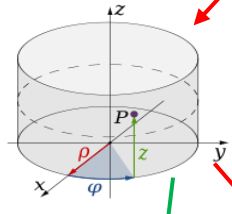
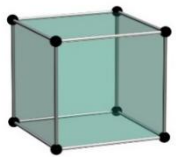
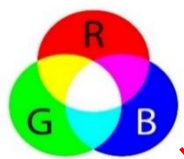
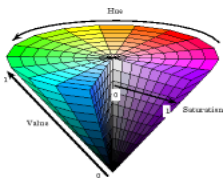
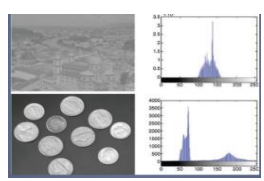
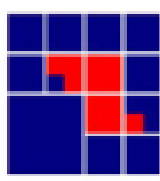
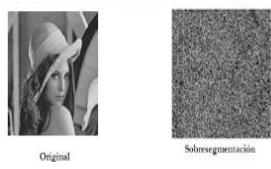
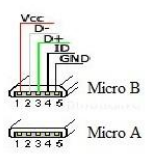
Figura 26. Estructura de funciones.

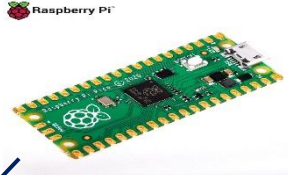
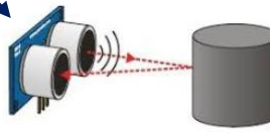
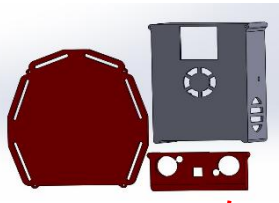
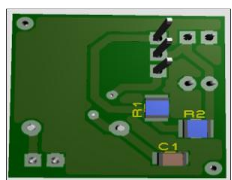
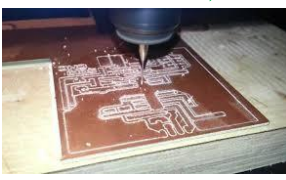
3.8. Matriz morfológica

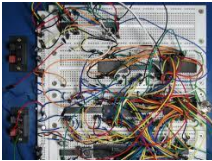
La matriz morfológica, presentada en la tabla 2, muestra gráficamente tres soluciones planteadas para lograr el objetivo del prototipo deseado. Las soluciones: mecánica, electrónica y control, se plantearon de acuerdo a materiales accesibles en el mercado nacional y de acuerdo al conocimiento profesional adquirido.

Tabla 2. Matriz morfológica.

MATRIZ MORFOLÓGICA		Edición:
		Phool Esteban Cristobal. Willian Buendia Aponte.
Proyecto:	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE GAFAS CON VISIÓN ARTIFICIAL Y DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL EN LA CIUDAD DE HUANCAYO - JUNIN - PERÚ”.	Fecha: 20/09/2024
		Revisado:
Cliente:	Personas con discapacidad visual	Elaborado por: Phool Esteban Cristobal. Willian Buendia Aponte.
MECÁNICA		

FUNCIONES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
MATERIAL	CNC CORTE LÁSER EN ACRÍLICO 	IMPRESIÓN 3D CON ABS 	CNC CORTE LÁSER EN MDF 
FORMA	CILÍNDRICA 	CÚBICA 	
LENTES	HIPSTER 	DISEÑO ADAPTADO 	DISEÑO 3D 
SOLUCIÓN	 1	 2	 3
VISIÓN POR COMPUTADOR			
FUNCIONES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
DIVISIÓN EN ESPACIO DE COLOR	RGB 	HSI 	ESCALA DE GRISES 
SEGMENTACIÓN	POR HISTOGRAMA 	DIVISIÓN DE REGIONES 	WATERSHED 
SOLUCIÓN	 1	 2	 3
ELECTRÓNICA Y CONTROL			
FUNCIONES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
COMUNICACIÓN	CSI 	USB 	A/B 

CONTRO-LADOR	 RASBERRY PI 4	 ARDUINO	 RASBERRY PI PICO
ESTRATEGI A DE CONTROL	 HAAR CASCADE	 REDES	 LÓGICA DIFUSA
SOLUCIÓN	1	2	3
SENSORES Y ACTUADORES			
CÁMARA	 CÁMARA WEB	 CÁMARA RPI	 CÁMARA
SENSOR DE DISTANCIA	 SENSOR LÁSER	 SENSOR ULTRASÓNICO	 SENSOR INFRARROJO
ACCESORIO	 ALTAVOZ	 PARLANTE	 AURICULAR
SOLUCIÓN	1	2	3
DISEÑOS DE PROTOTIPO			
SISTEMA INTEGRADO DE CONTROL Y PROCESA-MIENTO	 DISEÑO EN ACRÍLICO O MDF	 DISEÑO DE FÁBRICA	 DISEÑO EN IMPRESIÓN 3D
DISEÑO DE PCB	 EN SOFTWARE	 EN CNC	 MANUAL

ELECTRÓNICA EN LAS LENTES	PRUEBA 	ACOPLADO 	EN PROTOTIPO 3D 
	CABLEADO 	BLUETOOTH 	WIFI 
SOLUCIÓN	 1	 2	 3

A continuación, se describe cada solución planteada y evaluada.

3.8.1. Solución 1

Esta solución planteada, está pensada para el desarrollo del case del controlador a base de MDF y los sensores de proximidad y la cámara de reconocimiento están ubicadas sobre un lentes de fábrica, el cual por su excesivo peso de los componentes, no es un diseño ergonómico pero al contar con cámaras de mayor resolución nos dan mayor fiabilidad al utilizar la IA para la función de reconocimiento, el sensor ultrasónico utilizado en este diseño presenta dificultades en la detección de obstáculos al perder fiabilidad de censado frente a las diferentes prendas de vestir, el MDF es un material sensible a las condiciones climáticas de exteriores (lluvias, humedad, etc.) por lo que no es un diseño viable para el uso robusto.

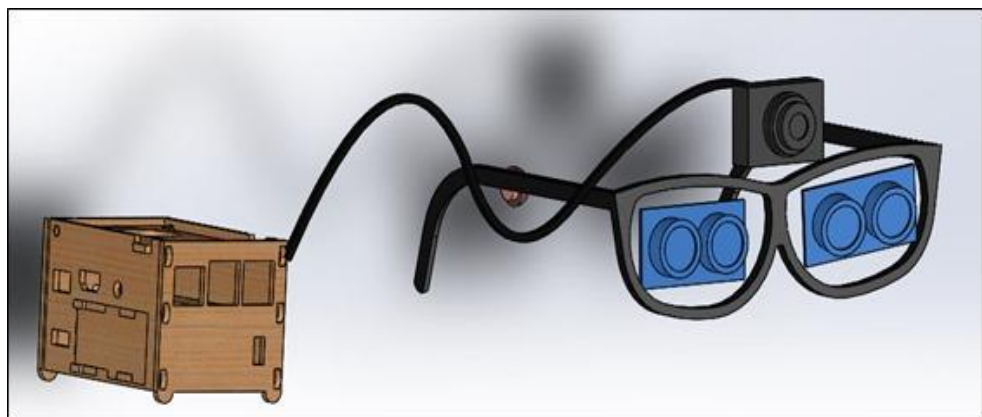


Figura 27. Diseño de la solución 1.

3.8.2. Solución 2

La propuesta de esta solución está basada en fabricar las dos partes del prototipo con material ABS basado en impresión 3D, este material al ser procesado por una impresora en 3D nos brinda mayor fiabilidad.

Al ser diseñada desde cero se pueden personalizar los espacios para los diferentes componentes electrónicos en circuitos de PCB fabricados a medida gracias a los conocimientos adquiridos en los cursos de la facultad, y al seleccionar los componentes del minicomputador (Raspberry Pi 4B), estos al ser diseños más compactos y comerciales, ayudan a que el diseño sea más compacto y ergonómicamente amigable para el usuario.

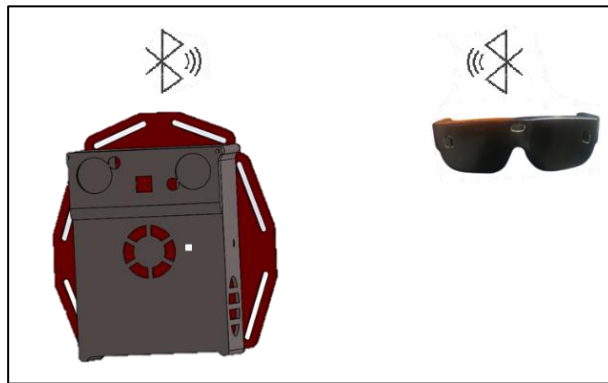


Figura 28. Diseño de la solución 2.

3.8.3. Solución 3

La solución planteada está basada en utilizar un case original para el Raspberry Pi 4, al ser un diseño del fabricante solo está pensada para albergar al controlador mas no a sus diferentes periféricos con las que cuenta y usaremos en el proyecto, los lentes con los circuitos electrónicos usados y sus sensores láser acoplados sobre esta no cuentan con protección a las condiciones climáticas que podrían dañar los mismos, lo que causaría daños, se perdería su función y podría causar daños al usuario.

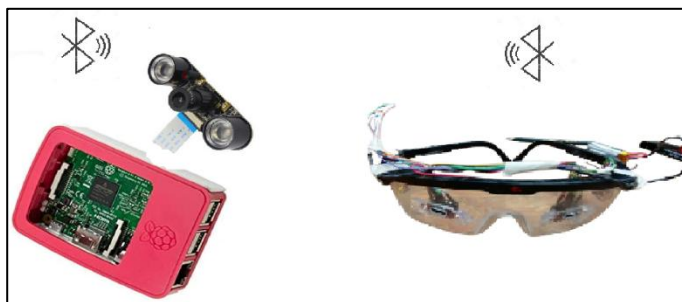


Figura 29. Diseño de la solución 3.

3.9. Evaluación técnica, tecnológica y económica

3.9.1. Evaluación técnica

En la tabla 3 se puede evidenciar la evaluación técnica para las tres soluciones. Este método nos ayudará a elegir la solución viable desde el punto de vista técnico.

Tabla 3. *Evaluación técnica.*

EVALUACION DE SOLUCION-CRITERIOS TECNICOS					
Optimo=5		Bueno=3	Regular=1		
Nº	CRIETERIOS TECNICOS	Importancia %	Solución		
			Solución 1	Solución 2	Solución 3
1	ERGONOMIA	15%			
	PESO DEL PROTOTIPO		1	5	3
	COMODIDAD EN EL USO		1	5	3
2	RESISTENCIA DEL MATERIAL	8%			
	RESISTENCIA A LA HUMEDAD		1	3	5
	RESISTENCIA EN EL ENSAMBLADO		1	3	5
3	PESO DE LOS LENTES	10%			
	PESO CON ELECTRONICA		3	5	3
	INLUIDO SENSORES		3	5	3
4	CALIDAD SE AUDIO	12%			
	SONIDO EN ALTAVOS		5	3	1
5	EFICIENCIA DE RECONOCIMIENTO	17%			
	TIEMPO DE ENTRENAMIENTO		3	5	1
	TIEMPO DE PROCESAMIENTO		3	5	1
6	DETECCION DE OBSTACULOS	14%			
	PRESISION		1	3	3
	RANGO		3	3	3
7	OPERABILIDAD	10%			
	GRADO DE DIFICULTAD		3	3	3
	USO SEGURO		3	5	3
8	INTERCOMUNICACION DE LOS MODULOS	5%			
	DISTANCIA DE CONECCION		1	5	5
	FIABILIDAD DE COMUNICACIÓN		5	3	3
9	AUTONOMIA DE FUNCIONAMIENTO	4%			
	DURACION DE BATERIA EN FUCIONAMIENO		3	5	3
10	FIABILIDAD DEL DISEÑO	5%			
	GRADO DE CONFIABILIDAD		5	3	3
	GRADO DE RESISTENCIA AL USO		3	5	3
Puntaje total		100%	48	74	54
Porcentaje por solución			48%	74%	54%

3.9.2. Evaluación tecnológica

En la tabla 4 se puede evidenciar la evaluación tecnológica para las tres soluciones. Este método nos ayudará a elegir la solución viable desde el punto de vista tecnológico.

Tabla 4. *Evaluación tecnológica.*

EVALUACION DE SOLUCION-CRITERIOS TECNOLOGICOS					
Optimo=5		Bueno=3	Regular=1		
Nº	CRIETERIOS TECNOLOGICOS	Importancia %	Solución		
			Solución 1	Solución 2	Solución 3
1	GRADO DE RESOLUCIÓN DE CAMARA	15%			
	TIPO DE CAMARA UTILIZADO		5	3	3
2	FIABILIDAD DE DETECCION DE OBSTACULOS DE LOS SENSORES	15%			
	GRADO DE DETECCION EN DIFERENTES AMBIENTES		3	5	3
	TIPO DE SENSOR		3	5	5
3	TARJETA DE PROCESAMIENTO DE DATOS	5%			
	RAPSBERY PI4		5	5	5
4	TIPO DE CONECCION ENTRE MODULOS	8%			
	COMUNICACIÓN POR RED CABLEADA		5	3	3
	COMUNICACIÓN MEDIANTE MODULOS INALAMBRICOS		1	5	1
5	SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DATOS	13%			
	CAPACIDAD DE PORCESADOR		3	5	3
	SOFTWARE		3	5	5
6	GRADO DE RECONOCIENTO FACIAL	10%			
	TIPO DE ENTRENAMIENTO		1	5	3
	RESOLUCION DE CAMARA		5	3	3
7	DETECCION DE DENOMINACION D BILLETES	8%			
	DIFERENIACION DE RECONOCIMIENTO		5	3	3
	RESOLUCION DE CAMARA		5	3	3
8	DETECCION DE COLORES	8%			
	ENTRENAMIENTOPRA DETECCION DE COLORES		5	3	3
	RESOLUCION DE CAMARA		5	3	3
9	SOTWARE UTILIZADO EN EL PROCESADOR	8%			
	LINUX		3	5	3
	PYTHON		5	5	5
10	RANGO DE DETECCION DE LA CAMRA	10%			
	SEGÚN SU UBICACIÓN		3	5	5
	SEGÚN SU RESOLUCIÓN		5	3	3
Puntaje total		100%	70	74	62
Porcentaje por solución			70%	74%	62%

3.9.3. Evaluación económica

En la tabla 5 se puede evidenciar la evaluación técnica para las tres soluciones. Este método nos ayudará a elegir la solución viable desde el punto de vista económico.

Tabla 5. *Evaluación económica.*

EVALUACION DE SOLUCION-CRITERIOS ECONOMICOS					
Optimo=5		Bueno=3	Regular=1		
Nº	CRIETRIOS ECONOMICOS	Importancia %	Solución		
			Solución 1	Solución 2	Solución 3
1	COSTO DE MATERIALES	20%			
	TIPO DE MATERIAL		3	5	3
	CALIDAD DE MATERIAL USADO		3	5	3
2	DISEÑO DE LA ELECTRÓNICA	8%			
	COSTO DE SIMULACION		3	5	5
	COSTO DE SOFTWARE USADO		3	5	5
3	COSTO DE DISEÑO DE LOS MODULOS	5%			
	EN CORTE LASER		3	3	3
	EN IMPRESIÓN 3D		3	5	3
4	COSTO DE FABRICACIÓN DE COMPONENTES	8%			
	CIRUITOS ELECTRONICOS EN PCB		5	3	3
	MONTAJE DE COMPONENTES ELECTRONICOS		3	5	3
5	COSTO DE ENSAMBLAJE DE DISEÑO	10%			
			3	5	1
6	COSTO DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS	12%			
	COMPONENTES USADOS		5	3	3
7	COSTO DE SISTEMA DE SUJECION AL USUARIO	15%			
	SISTEMA DE SUJECION DE MODULO DE PRECESAMIENTO		3	5	3
	ARNES DE SUJECION DE LENTES CON SENSORES		1	5	3
8	COSTO DE CAMARA PARA RECONOCIMIENTO	10%			
	CAMARA UTILISADA SEGÚN SOLUCION		5	3	3
	SEGÚN RESOLUCION DE CAMARA		5	3	3
9	COSTO DE SENSORES UTILIZADOS	7%			
	TIPO DE SENSOR		5	3	3
	ESTABILIDAD DE DETECCION		1	5	5
10	COSTO DE MANO DE OBRA	5%			
			3	5	3
Puntaje total		100%	57	73	55
Porcentaje por solución			%	%	%

3.9.4. Solución óptima

Se realizó un cuadro comparativo de las soluciones planteadas anteriormente para poder evaluar la viabilidad del desarrollo del prototipo.

En la siguiente figura se puede observar que la solución 2 es viable técnica, tecnológica y económica dentro de las tres soluciones planteadas en consecuencia; por la tanto, será nuestra solución por trabajar en el presente desarrollo del prototipo.

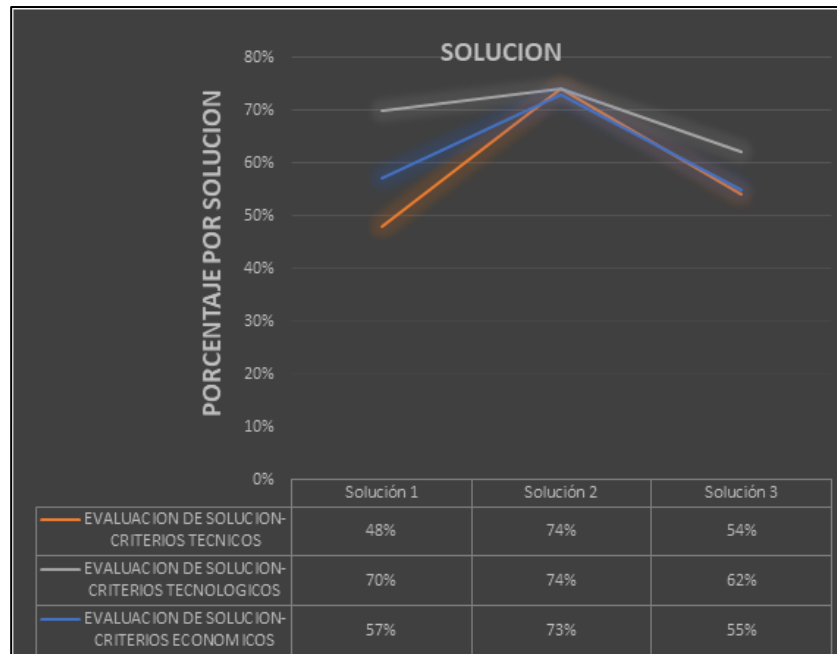


Figura 30. Gráfico y cuadro comparativo de soluciones por criterio.

Descripción de la solución 2.

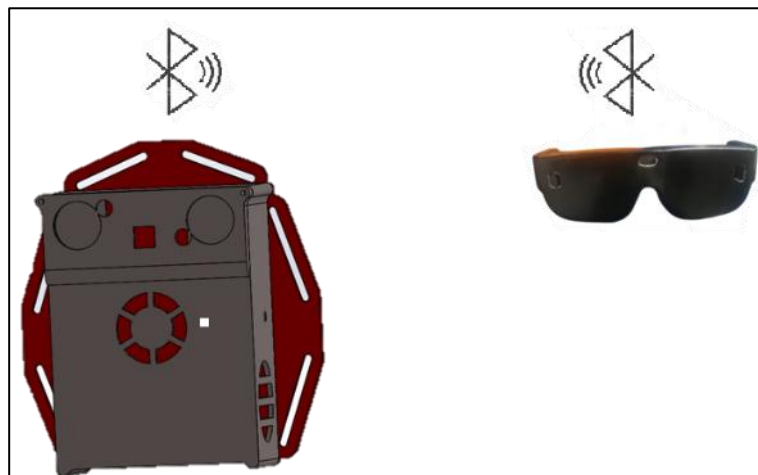


Figura 31. Solución de desarrollo elegida.

Esta solución está compuesta de dos partes, la primera un prototipo de gafas, el cual está hecho a base de impresión 3D en filamento de ABS, este diseño cuenta con los alojamientos necesarios para los sensores de proximidad basado en el sensor láser VL53L0X que tiene un rango de detección de hasta 1.2 metros y está diseñado para prototipado con el microcontrolador ATMEGA328P SMD.

El módulo de control de las gafas está basado en el microcontrolador ATMEGA328P, que es el encargado de decodificar la señal del sensor y enviar la información al controlador principal que se encuentra en la parte del pecho del usuario, mediante un módulo de bluetooth.

Estos componentes se encuentran alimentados por una batería de 250 mAh que le brinda una autonomía de funcionamiento de 90 minutos para el prototipo, además cuenta con una tarjeta electrónica para la carga de la batería y un switch on/off para esta parte de las gafas.

La segunda parte del diseño del prototipo está basado en una microcomputadora basada en el módulo Raspberry Pi 4, para la cual se diseñó un case que albergará los periféricos como son el sistema de audio y el módulo de baterías de 5000 mAh incluido su sistema de carga.

El sistema de reconocimiento ya sea de colores primarios y secundarios, rostros y/o valor nominal de billetes, se realizará mediante el módulo de cámara Raspberry Pi V3 de 12 MP, el cual es una de las versiones más recientes y de mayor fiabilidad de adquisición de imágenes de calidad y poco distorsionadas por la luz diurna y poca nocturna.

El sistema operativo está basado en Linux, ya que este es un sistema más ligero y de mejores prestaciones para el diseño, las funciones de reconocimiento y tratamiento de imágenes. El módulo también cuenta tarjetas electrónicas, tanto para la comunicación con el sistema de altavoces y para el alertado de obstáculos, con la información dada desde los sensores de las gafas que son procesadas por el microcontrolador, es cual se comunican mediante módulos bluetooth. El prototipo manda alertas mediante comandos de voz tanto en los modos de reconocimiento y de detección de obstáculos.

Estas dos partes que conforman el prototipo están diseñadas para ser intuitivos en su uso cotidiano, también están pensado en la comodidad del usuario final, es en consideración de estos puntos el diseño planteado, entendiendo que un peso excesivo en la cabeza causaría incomodidad y el sistema de reconocimiento tendría mucha fluctuación, por lo que se perdería efectividad en esta tarea ya sea de reconocimiento facial, colores o denominación de billetes.

CAPÍTULO IV

SISTEMAS DEL PROTOTIPO

4.1. Sistema general funcional

En la figura 32 se muestra un diagrama pictórico que representa la interacción de los sistemas propuestos de la estructura de funciones y la funcionalidad deseada de nuestro prototipo. A continuación, se detalla el funcionamiento y uso del prototipo.

El usuario del prototipo (persona con discapacidad visual), mediante selectores y un pulsador indica al controlador maestro el modo que desea utilizar para facilitar sus necesidades. Las gafas (controlador esclavo) testean la distancia de obstáculos en frente y hacia los lados de la persona a la altura de la cabeza, dichos distancia las procesa y envían los datos de manera inalámbrica al controlador maestro.

El procesamiento se realiza mediante visión por computador y la obtención de los resultados se adhieren a las señales de distancia obtenidas de las gafas. Posteriormente, se convierte texto a audio y se emiten los resultados mediante sonido al usuario para tomar decisiones o acciones.

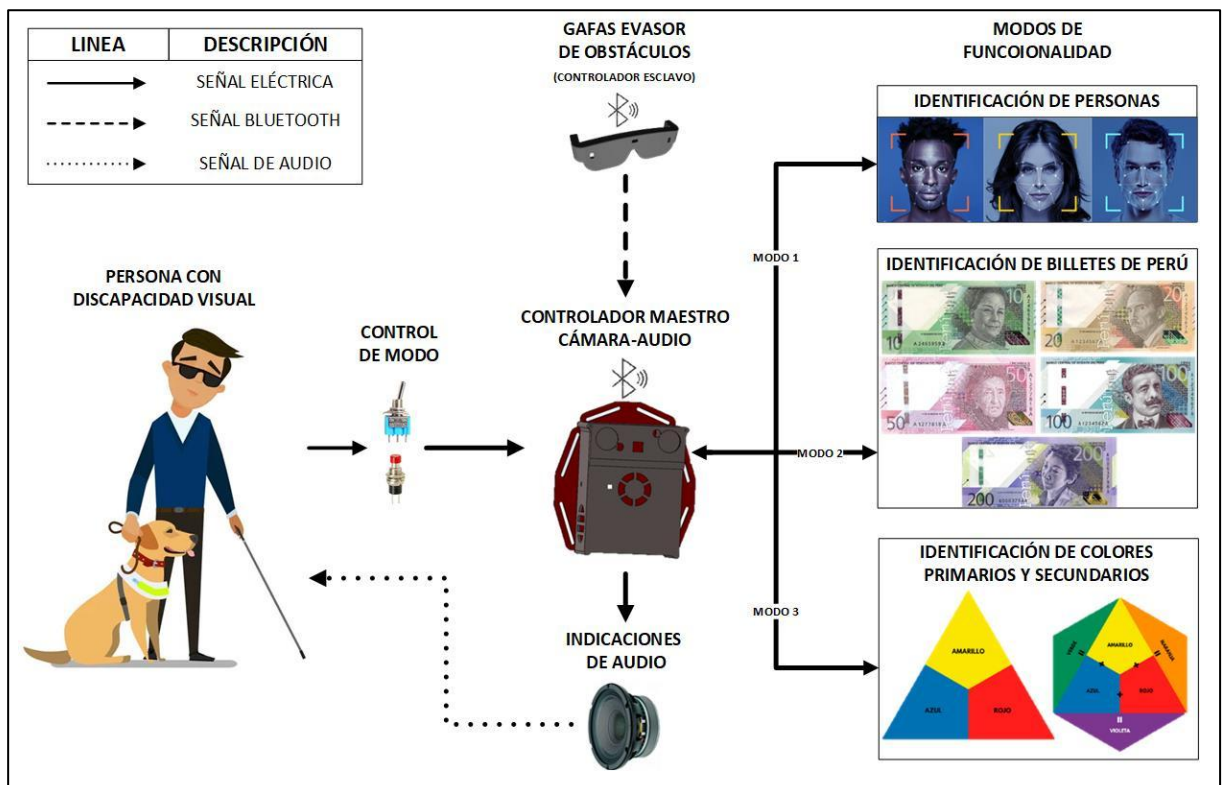


Figura 32. Sistema de control.

4.2. Sistema de control

El sistema de control es fundamental y conlleva muchos procesos para el desarrollo de nuestro prototipo. Como se puede observar en la figura 33, existen 6 procesos que deben de cumplirse en bucle para garantizar el funcionamiento.

Al encender el sistema maestro se cargan las imágenes almacenadas por el clasificador Haar y entra en comunicación con el sistema esclavo, las acciones son gobernadas por un selector de control que ordena el modo de funcionamiento (identificación de personas, identificación de billetes o reconocimiento de colores primarios y secundarios). Según sea la selección se obtienen fotogramas, conversión de imágenes y comparación de características con el clasificador Haar para identificar lo deseado, posteriormente se concatenan los datos obtenidos de los sensores de obstáculos y visión por computador para realizar una conversión de texto a audio para que la información al usuario sea fácil de interpretar.

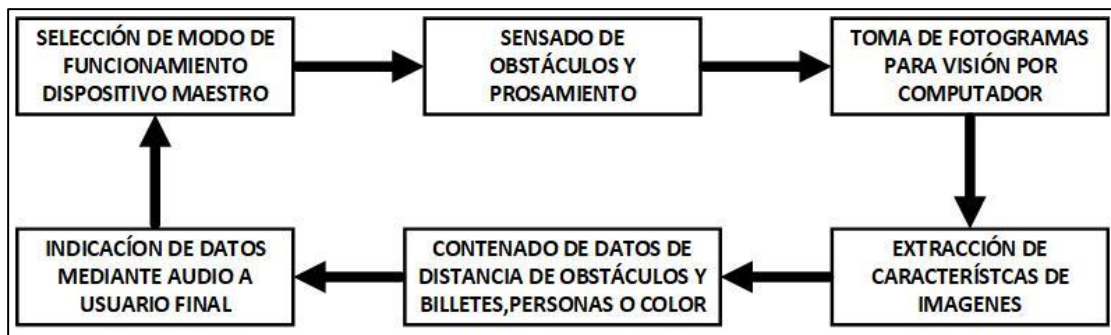


Figura 33. Diagrama de bloques de control.

En cada etapa se realizaron pruebas de funcionamiento y posteriormente a integrar la lógica de control completa y compleja, se detallará desde control de sensor, control de periféricos, algoritmos y visión por computador.

Se observa en la figura que existen dos controladores (maestro y esclavo) que gobiernan nuestro prototipo.

El prototipo cuenta con un microcontrolador (esclavo) y un microcomputador (maestro) que están comunicados mediante conexión inalámbrica bluetooth, por lo tanto, para realizar una buena interacción se precisa de dos lógicas de control para brindar los resultados esperados.

A continuación, se muestran las figuras 34 y 35, correspondientes a los controladores respectivamente.

Dispositivo esclavo:

En la figura 34 se muestra el diagrama de flujo detallando el funcionamiento de la lógica del controlador esclavo, el mismo que tiene la función de recoger datos eléctricos de tres sensores y convertirlos en distancia, mediante su algoritmo verificar si existen de obstáculos en frente, lado izquierdo y lado derecho de la persona, posteriormente enviar datos en binario mediante comunicación bluetooth al controlador maestro para que éste pueda procesar, concatenar y enviar la información mediante audio al usuario final.

Además, se envían los datos de nivel de batería del dispositivo para que el usuario pueda estar informado y saber cuándo tiempo aproximado le resta de autonomía.

En el diagrama de flujo presentado se observa las condicionales de inicialización y conexión entre dispositivo maestro/esclavo, entrada/salida de datos y etapas que forman parte del sistema de control que será controlado por el microcontrolador Atmega 328p SMD.

Se pretende tener una tasa de 25 Hz de bucle.

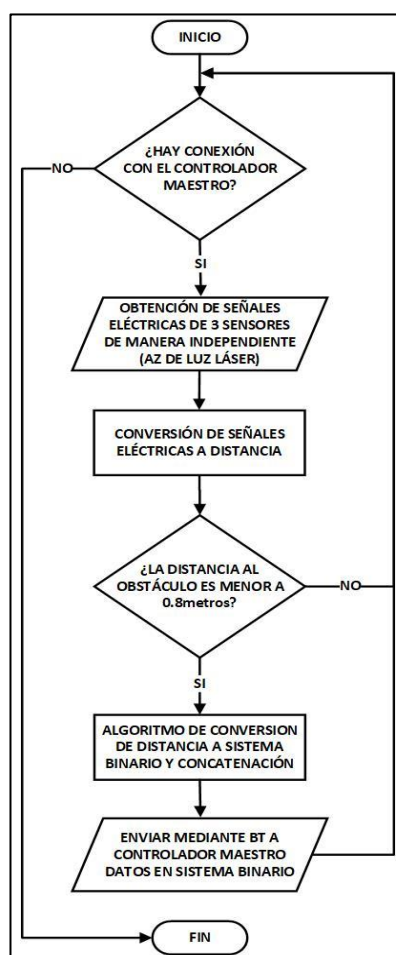


Figura 34. Diagrama de flujo de control de gafas (controlador esclavo).

Dispositivo maestro:

En la figura 35 se muestra el diagrama de flujo detallando el funcionamiento de la lógica del controlador maestro, el mismo que tiene la función de enviar bit de inicio al controlador esclavo mediante comunicación bluetooth para que éste pueda comenzar su funcionamiento y recibir información de obstáculos y nivel de batería, constantemente se revisa la selección del modo de funcionamiento (este proceso será seleccionado por el usuario o persona con discapacidad visual según tenga la necesidad).

El procesamiento de imágenes es mediante visión por computador recopilando fotogramas con el sensor Sony IMX708 de 12 MP de acuerdo al modo de trabajo seleccionado anteriormente, realizando comparaciones de características con las imágenes Haar y librería OpenSource OpenCv para poder identificar lo deseado.

Mediante el algoritmo concatenar y conversión de texto en audio se desea brindar la información final al usuario en formato de audio (altavoz o auriculares) para que el usuario pueda tomar alguna acción o decisión.

En el diagrama de flujo presentado se observa el bit de inicio, las condicionales de inicialización para el dispositivo esclavo, la conexión entre dispositivo maestro/esclavo, entrada/salida de datos, etapas y modos que forman parte del sistema de control y conversión de texto a audio que será controlado por el microcomputador Raspberry Pi 4B.

Se pretende tener una tasa de 33.3Hz de bucle.

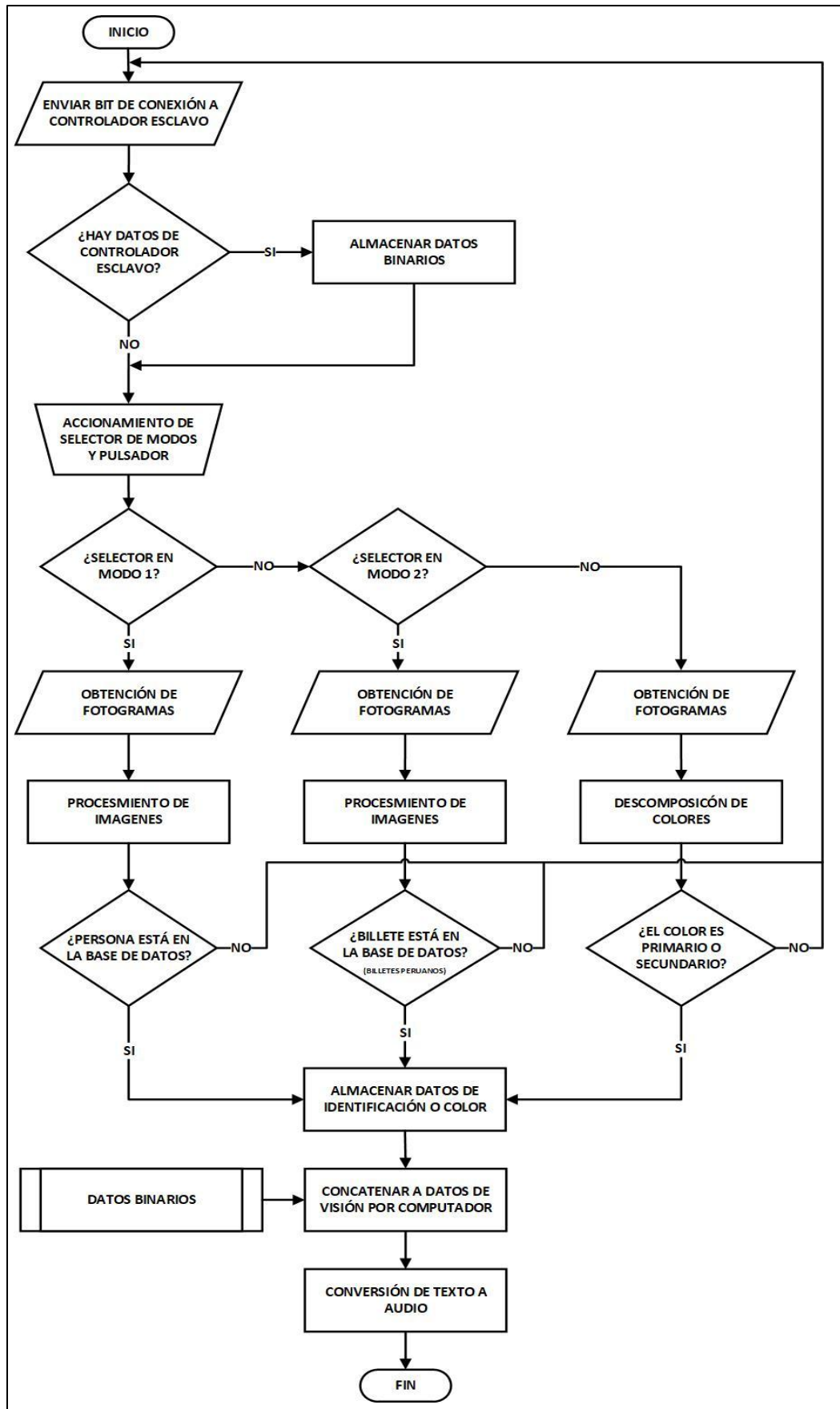


Figura 35. Diagrama de flujo de control de RPI 4 (controlador maestro).

4.3. Sistema electrónico

El prototipo cuenta con dos dispositivos maestro y esclavo que de manera independiente cuentan con placas electrónicas distintas que realizan diferentes funciones, a su vez se requiere que estén comunicadas inalámbricamente.

Según la matriz morfológica, se presenta el diseño electrónico.

4.4. Comunicación

Módulo de bluetooth es el encargado de la comunicación entre los dos dispositivos, está basado en el módulo bluetooth HC05, este módulo tiene un alcance de hasta 10 metros y trabaja a un Banda ISM 2.4 GHz, también es compatible con las tarjetas de Arduino, conectándose de forma directa mediante los pines seriales del microcontrolador ATMEGA328P. considerándose un módulo ideal para proyectos de electrónica y mecatrónica.



Figura 36. Módulo bluetooth HC05.

Características del módulo HC05:

- Voltaje de operación de 3.6 V - 6 V DC.
- Consumo de corriente de 50 mA.
- Potencia de transmisión es de 4 dBm, pertenece a la clase 2.
- Sensibilidad: - 84 dBm.
- Interface comunicación: serial TTL.
- Velocidad de transmisión: 1200 bps hasta 1.3 Mbps.
- Compatible con Arduino y Raspberry.
- Pines: VCC, GND, TXD, RXD, STATE, ENNABLE.

Las características del HC05 cumplen con el requerimiento necesario para nuestro proyecto:

- Distancia entre dispositivo Maestro - Esclavo: 1 metro de separación.
- Velocidad de transmisión: 9600 baudios.
- Interface comunicación: serial TTL.
- Consumo de corriente y voltaje adecuados.

4.4.1. Sensor de distancia

Para la medición de distancia de obstáculos que deseamos realizar a la altura de cabeza de la persona con discapacidad visual usaremos un sensor que cumpla con las siguientes características principales técnicas:

- Precisión.
- Tamaño menor a 3 cm de largo y 2 cm de alto.
- Peso menor a 50 g.
- Alimentación 5V DC.
- Consumo de corriente bajo moderado.
- Rango de medición entre 50 mm - 1000 mm.
- Interfaz: digital.
- Ambiente de trabajo: luz solar.

El sensor VL53L0X es un sensor de distancia láser que cumple con la mayoría de las características que necesita el proyecto. A continuación, se precisan las características técnicas:

- Voltaje de alimentación: 3V - 5V DC.
- Consumo de corriente: 10 mA.
- Rango de medición: 50 mm - 1200 mm.
- Precisión: ± 30 mm.
- Interfaz digital: I2C 400kHz.
- Láser VCSEL de 940 nm.
- Sensor de medición con microcontrolador embebido.
- Puede operar en ambientes con altos niveles de luz infrarroja.
- Uso no causa daños a la vista humana.
- Óptica anti interferencias embebida.
- Xshutdown (reset) y pin de interrupción.
- Dimensiones de sensor: 4.4 mm x 2.4 mm x 1.0 mm.
- Dimensiones de módulo: 10.5 mm x 13.3 mm.

4.4.2. Sensor de imagen

Existen diferentes tipos de sensores de imagen en el mercado nacional, el prototipo pretende realizar visión por computador, descomposición de colores e identificación y clasificación de imágenes. Es necesario contar con un sensor de imagen de calidad que cumpla al menos con las siguientes características técnicas:

- Sensor de calidad Sony 8 Mpx.
- Relación señal - ruido.
- Anti reflejo de luz.
- Resolución de video 720 p.
- Campo de visión horizontal 50°.

Según la matriz morfológica encontramos tres tipos de sensores de imágenes, de las cuales la PiCam V3 tiene las mejores características que cumplen con los requisitos mínimos propuesto, además con mejoras considerables que servirán para el desarrollo del proyecto. A continuación, se precisan las características técnicas:

- Sensor Sony IMX708 - 12 Mpx.
- Alta relación señal / ruido.
- Sistema Autofocus de alta velocidad.
- Modo HDR.
- Resolución de video 1080 p50.
- Rango de foco: 10 cm.
- Distancia focal: 4.7 mm.
- Campo de visión diagonal: 75°.
- Campo de visión horizontal: 66°.
- Campo de visión vertical: 41°.
- Relación de foco: F1.8.
- Sensibilidad de luz infrarroja: no.

4.4.3. Raspberry Pi 4B

Al desarrollar el proyecto de investigación se precisan de ciertas características del software a usar y hardware que no influyan con permisos y licencias de empresas. A continuación, se precisa:

- Software de desarrollo: libre.
- Librerías de software: libre.
- Hardware: libre y portátil.
- E/S en hardware: pines E/S.
- Periféricos de hardware: USB, WI-FI, BT, MIPI CSI.
- Consumo de corriente: moderado 2 A.
- Velocidad de procesador: 1 GHz.
- Memoria RAM: 2 Gb.

Los microcomputadores de Raspberry son ordenadores que cumplen con la mayoría de los requerimientos del proyecto. Dentro de los cuales se va a elegir el que brinde mayor beneficios y características con respecto al precio/beneficio. Además, cuentan con sistema operativo libre y manejo de programas de desarrollo de Python con librerías de OpenSource. La Raspberry Pi 4 es el microcomputador ideal para el desarrollo del proyecto. A continuación, se muestran sus características:

- Software: Linux libre.
- Software de desarrollo: Python.
- Procesador: ARM Cortex A72 64 bits.
- Memoria RAM: 4 Gb DDR4.
- Conectividad inalámbrica WIFI: 2.4 GHz.
- Bluetooth: 5.0
- Puertos USB: 2 puertos USB 2.0 y 2 puertos USB 3.0
- Pines E/S: 40 pines a 3V3.
- Salida de vídeo: sí, 2 puertos.
- Alimentación: 5V - 1.5 A.
- Puerto de cámara: MIPI CSI.
- Dimensiones: 88 mm x 58 mm x 18.5 mm.
- Salida de audio: sí 3 mm.

4.4.4. Amplificador de audio

El proyecto precisa de una salida de audio tipo auricular plug 3 mm y otra de altavoz para poder alertar al usuario o personas alrededor según sea la necesidad del usuario a operar. Es por ello precisar de un amplificador de audio que se encuentre en el mercado nacional que sea capaz de cumplir con las siguientes características:

- Potencia de salida: 3W - 5W.
- Hardware y dimensiones: pequeño.
- Tipo de sonido: estéreo.
- Voltaje de funcionamiento: 5V - 50 mA.
- Eficiencia: 80 %.
- Protección: auto apagado térmico.

Existen infinidad de mini amplificadores que cumplen con los requerimientos, el PAM8403 es uno de los más fiables y con gran uso de mercado nacional, además de ser de bajo consumo y características precisadas:

- Potencia de salida: 3W x 2.
- Tipo de sonido: estéreo.
- Voltaje de operación: 2.5 - 5.5V.
- Impedancia: 4 Ohm.
- No requiere filtrado extra.
- Eficiencia: 90 %.
- Tamaño: reducido, referencia moneda de 10 céntimos.

4.4.5. Planos de prototipo

El desarrollo de los planos electrónicos se realizó en el programa ISIS Proteus, antes del diseño se evaluaron e iniciaron pruebas en protoboard. Además, se basaron en criterios y cálculos electrónicos y eléctricos de diseño electrónicos necesarios para el funcionamiento ideal del prototipo.

4.4.5.1. Diseño de plano electrónico de dispositivo esclavo

El dispositivo esclavo está basado en unas gafas por lo que la PCB deber ser pequeña incluyendo el tamaño de los materiales físicos y ser livianos para evitar daños cervicales al usuario. A continuación, se muestra el plano esquemático.

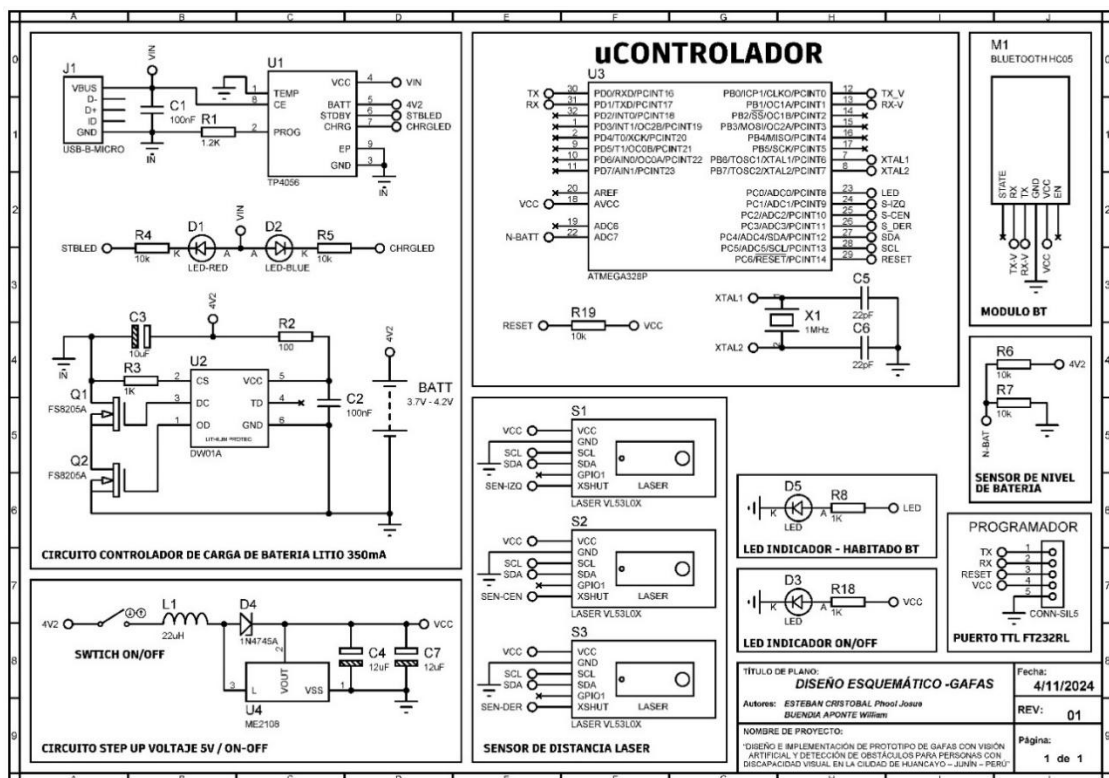


Figura 37. Plano esquemático dispositivo esclavo.

El plano esquemático del dispositivo esclavo se desarrolló con componentes tipo SMD para garantizar la reducción de dimensiones y reducción de peso. A continuación, se describen los componentes presentes en el plano:

- Microcontrolador ATmega 328p SMD.
- 3 sensores de distancia láser VL53L0X.
- 2 leds indicadores de función.
- 1 módulo Bluetooth.
- 1 dispositivo controlador de batería 1S.
- 1 circuito elevador de voltaje de 4.2 a 5v STEPUP.
- 1 batería de 3.7V lipo.

4.4.5.2. Diseño de plano electrónico de dispositivo maestro

El dispositivo maestro está basado en un collar fijado a la altura del pecho, es por ello que se precisa que la PCB y el hardware debe cumplir con características funcionales electrónicas y tamaño - peso para evitar lesiones cervicales. A continuación, se muestra el plano esquemático.

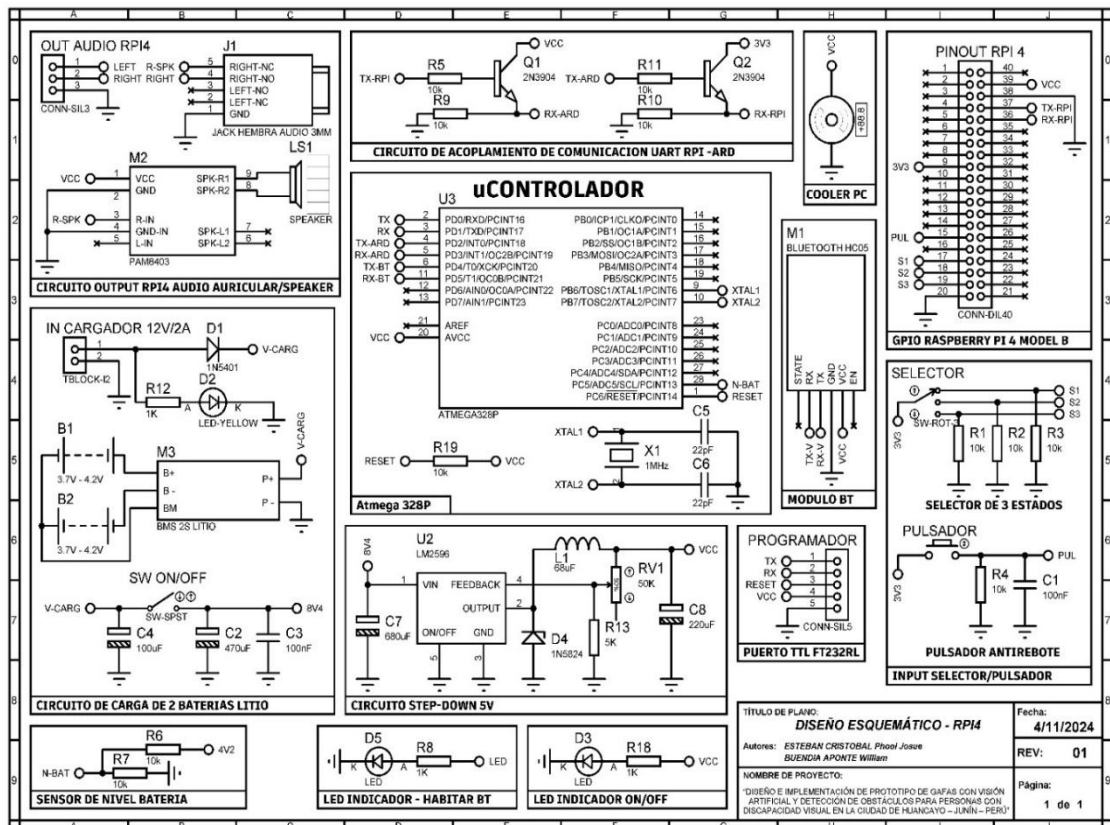


Figura 38. Plano esquemático dispositivo maestro.

El plano esquemático del dispositivo maestro se desarrolló con componentes tipo SMD y THT para garantizar la reducción de dimensiones y reducción de peso. A continuación, se describen los componentes presentes en el plano:

- Microcomputador Raspberry Pi 4B.
- Microcontrolador ATmega 328p THT.
- Amplificador de audio PAM8403.
- 2 leds indicadores de función.
- 1 circuito reductor de voltaje de 7.4 a 5V STEPDOWN
- 1 pulsador de confirmación.
- 1 selector de modo de funcionamiento
- 1 dispositivo controlador de batería 2S
- 2 batería de 3.7V lipo.
- 1 circuito de acoplamiento de UART3V3 - UART 5V0.
- 1 módulo Bluetooth.
- 1 mini cooler.

4.5. Sistema eléctrico

El prototipo cuenta con dos dispositivos maestro y esclavo de manera independiente, es necesario realizar cálculos para garantizar la autonomía de un tiempo prolongado y a su vez el tiempo de carga mínimo.

4.5.1. Suministro de energía de dispositivo esclavo

Como se muestra en la tabla 6 se especifica la cantidad de los componentes electrónicos, el voltaje de funcionamiento y el consumo de corriente unitario.

Tabla 6. *Consumo de corriente y potencia total de dispositivo esclavo.*

DISPOSITIVO ESCLAVO					
CANTIDAD	COMPONENTE	VOLTAJE DE OPERACIÓN	CONSUMO (mA) unitario	CONSUMO (mA) * CANTIDAD	POTENCIA mW
3	sensor laser VL3L0X	5V	10	30	150
1	Atmega 328p SMD	5V	3	3	15
1	bluetooth HC05	5V	5	5	25
1	led indicador	2V	15	15	30
CONSUMO TOTAL DE CORRIENTE Y POTENCIA				53mA	220mW

Mediante la sumatoria y total del consumo de corriente se puede elegir una batería que cumpla con las horas de funcionamiento propuestas.

Para realizar el cálculo se conoce:

- Se sabe que el consumo de corriente total es de 53 mA.
- Las baterías tienen 2 componentes: voltajes y miliamperios*hora.
- Se desea garantizar 5 horas de funcionamiento.

Fórmula para obtener los mAh de un sistema eléctrico:

$$\text{consumo de corriente (mA)} * \text{horas de uso (h)} = \text{mAh}$$

$$53 \text{ mA} * 5 \text{ h} = 265 \text{ mAh}$$

El valor obtenido nos ayudará a obtener las características de la batería. Para tener un porcentaje de seguridad de suministro de energía vamos a usar el resultado de 265 mAh como el 80 % de la batería.

Se hará uso de la regla de 3 simple para obtener el valor de 100 %:

$$x \text{ --- --- --- } 100 \%$$

$$265 \text{ mAh --- --- } 80 \%$$

Aplicando:

$$x = 265 \text{ mAh} * \frac{100 \%}{80 \%}$$

Resultado:

$$x = 331.25 \text{ mAh}$$

Existen baterías de distintos materiales, formas y tamaños dentro de nuestro mercado peruano. Según nuestra Matriz de Consistencia, el peso máximo del dispositivo esclavo debe ser entre 80 - 100 g, además tiene el hardware en un case tipo gafas se precisa que la batería ligera y compacta.

Según conocimientos adquiridos a lo largo de la vida profesional, las baterías LiPo cumplen con las características requeridas: ligera y compacta, además de mostrar capacidades mejoradas y ecológicas. Este sustento se reafirma en la siguiente tabla que pertenece a la empresa DSC ENERGÍA SOLAR especializados en energías renovables.

Tabla 7. *Características de baterías.*

Química	Densidad energética	Temperatura de trabajo	Ciclos	Seguridad	Respetuoso con el medioambiente	Coste en base a ciclosxwh
LiFePO4	>120 wh/kg	-20-60 °C	>2000(0.2C)	Segura	Sí	0.15-0.25
Plomo ácido	> 35wh/kg	-20 - 40 °C	>200	Segura	No	1
NiCd	> 40wh/kg	-20 - 50 °C	>1000	Segura	No	0.7
NiMH	>80 wh/kg	-20 - 50 °C	>500	Segura	Sí	1.2-1.4
LiMnxNiyCozO2	>160 wh/kg	-20 - 40 °C	>500	No segura	No	1.5-2.0
LiC oO2	>200 wh/kg	-20 - 60 °C	> 500	No segura	No	1.5-2.0

Según el mercado peruano, las baterías LiPo comerciales se muestran en la siguiente tabla (celdas).

Tabla 8. *Baterías LiPo celdas.*

	25%	50%	75%	100%
1S	3.3V	3.5V	3.7V	4.2V
2S	6.6V	7.0V	7.4V	8.4V
3S	9.9V	10.5V	11.1V	12.6V
4S	13.2V	14.0V	14.8V	16.8V
5S	16.V	17.V	18.5V	21.0V
6S	19.8V	21.0V	22.2V	25.2V

La tabla 8 muestra la cantidad de celdas de las baterías y el porcentaje de baterías mismo que nos ayudará para poder indicar en qué nivel se encuentra nuestra batería e informar al usuario final.

Usaremos una batería lipo de 1S que será capaz de suministrar la corriente necesaria y el voltaje necesario entre 3.3V - 4.2V, según los cálculos de consumo de corriente se elige una batería.

Batería Lipo 1S de 350 mAh

Según la tabla 6, la columna de voltajes precisa 5V como máximo y 2V como mínimo, por lo que a batería elegida brindará voltajes entre 3.3V y 4.2V. Para obtener los 5V necesarios se hará uso de un módulo STEP UP de 5V - 5W (se consideró el STEP-UP de 5W, debido a que es el más pequeño en el mercado peruano; es ideal para nuestro proyecto porque nuestro sistema consume 0.22W).

4.5.2. Suministro de energía de dispositivo maestro

Como se muestra en la tabla 9 se especifica la cantidad de los componentes electrónicos, el voltaje de funcionamiento y el consumo de corriente unitario.

Tabla 9. *Consumo de corriente y potencia total de dispositivo maestro.*

DISPOSITIVO ESCLAVO					
CANTIDAD	COMPONENTE	VOLTAJE DE OPERACIÓN	CONSUMO (mA) unitario	CONSUMO (mA) * CANTIDAD	POTENCIA mW
1	Raspberry Pi 4B ram 4GB	5V	1500	1500	7500
1	1 ventilador 4cmx4cm	5V	10	10	50
1	sensor cámara SONY IMX708 de 12MP	5V	40	40	200
1	amplificador de audio	5V	50	50	250
2	LED blanco	3V	15	30	150
1	bluetooth HC05	5V	50	50	250
1	led indicador	2V	15	15	30
CONSUMO TOTAL DE CORRIENTE Y POTENCIA				1695mA	8430mW

Mediante la sumatoria y total del consumo de corriente se puede elegir una batería que cumpla con las horas de funcionamiento propuestas, se debe tener en cuenta el espacio, peso y accesibilidad de obtención de la batería(as).

Para realizar el cálculo se conoce:

- Se sabe que el consumo de corriente total es de 1695 mA.
- Las baterías tienen 2 componentes: voltajes y miliamperios*hora.
- Se desea garantizar 5 horas de funcionamiento.

$$\text{consumo de corriente (mA)} * \text{horas de uso (h)} = \text{mAh}$$

$$1695 \text{ mA} * 5 \text{ h} = 8475 \text{ mAh}$$

El valor obtenido nos ayudará a obtener las características de la batería, para tener un porcentaje de seguridad de suministro de energía vamos a usar el resultado de 8875 mAh como el 80 % de la batería.

Se hará uso de la regla de 3 simple para obtener el valor de 100 %.

$$x \text{ — — — — — } 100 \%$$

$$8475 \text{ mAh} \text{ — — — } 80 \%$$

Aplicando:

$$x = 8475 \text{ mAh} * \frac{100 \%}{80 \%}$$

Resultado:

$$x = 10593.75 \text{ mAh}$$

Anteriormente se detalló que existen baterías de distintos materiales, formas y tamaños dentro de nuestro mercado peruano. Según nuestra Matriz de Consistencia el peso máximo del dispositivo esclavo debe ser entre 300 - 500 g, además tiene el hardware en un case tipo pechera se precisa que la batería ligera y compacta.

Se conoce según los conocimientos adquiridos a lo largo de la vida profesional que las baterías LiPo cumplen con las características requeridas: ligera y compacta. De igual manera que al usar un STEP-UP existen corrientes parásitas que al usar un microcomputador será una corriente que afecten el funcionamiento de óptimo, es por ello que se pretende usar un STEP DOWN para estabilizar la corriente y así evitar corrientes parásitas y el uso de filtros EMI y/o filtros π .

Se precisa baterías de alta capacidad de descargar y capaces de mantener estable el voltaje de 5V. Por ello se realizan configuraciones de baterías en serie para tener un voltaje elevado, pero no existen en el mercado, precisamos de realizar una configuración de baterías basándonos en las siguientes formulas.

Baterías en serie:

Según la fórmula mostrada en la figura 39, extraída de la página FísicaLab (28), nos indica que al colocar las baterías en serie sumamos el voltaje y mantenemos la intensidad de corriente, se precisa obtener un voltaje igual o superior al voltaje de funcionamiento de los componentes del dispositivo maestro.

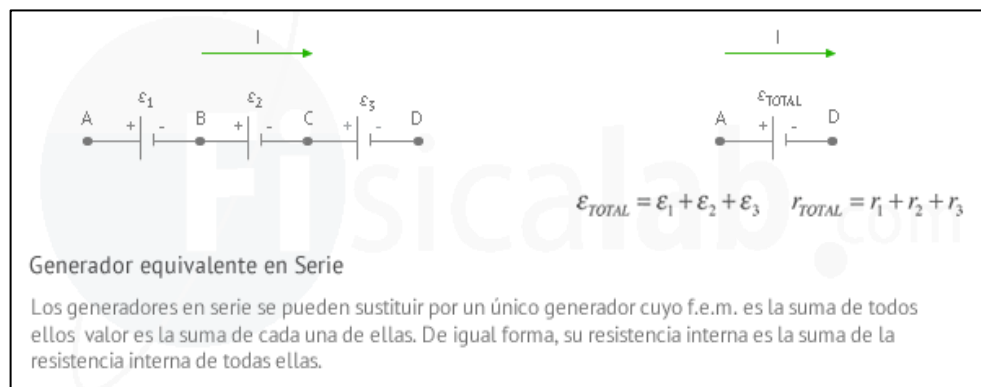


Figura 39. Fórmula de baterías conectadas en serie.

Fuente: Fernández (28).

$$Vf = 3.7V + 3.7V$$

$$Vf = 7.4V$$

Por lo tanto, usaremos 2 baterías en serie para garantizar el voltaje igual o superior para poder suministrar de corriente y voltaje a nuestro dispositivo maestro.

Este sustento se reafirma en la siguiente tabla: que pertenece a la empresa DSC ENERGÍA SOLAR especializados en energías renovables.

Tabla 10. *Baterías litio celdas.*

	25%	50%	75%	100%
1S	3.3V	3.5V	3.7V	4.2V
2S	6.6V	7.0V	7.4V	8.4V
3S	9.9V	10.5V	11.1V	12.6V
4S	13.2V	14.0V	14.8V	16.8V
5S	16.V	17.V	18.5V	21.0V
6S	19.8V	21.0V	22.2V	25.2V

Según la necesidad y los datos comerciales del mercado peruano en venta de baterías con las características necesarias de los cálculos, se usarán baterías de litio, existiendo de las siguientes características:

- 3.7V / 1500 mA - Serie 18650.
- 3.7V / 2000 mA - Serie 18650.
- 3.7V / 2500 mA - Serie 18650.
- 3.7V / 5000 mA - Serie 21700.

Cada batería se diferencia por el amperaje que está asociado al tamaño y peso de la misma.

Los datos del cálculo de batería en 100 % es de 10593.75 mA, es por ello que precisamos no solo de sumatoria de la configuración de baterías en serie, sino también de la configuración en paralelo.

En la siguiente figura se muestra la fórmula en configuración en paralelo de la página Fisicalab (28), donde se menciona que el voltaje total se mantiene, pero se suma la intensidad de corriente.

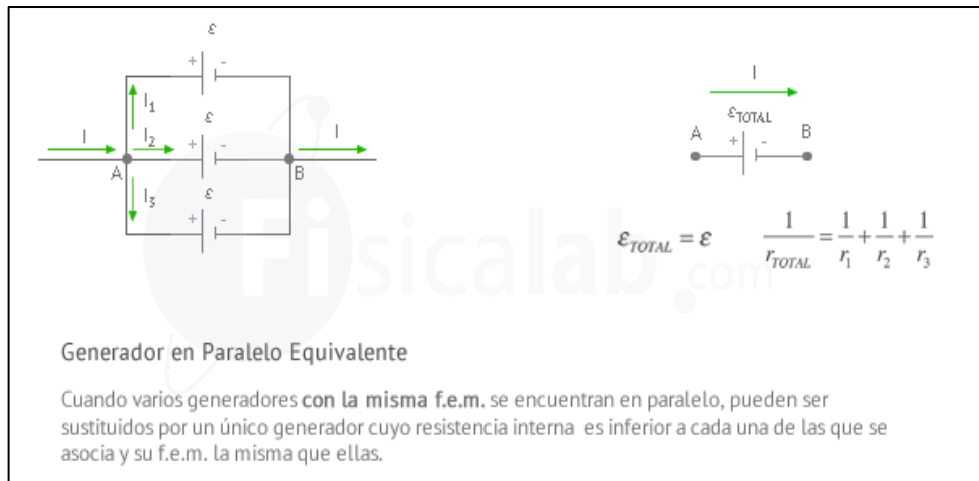


Figura 40. Fórmula de baterías conectadas en paralelo.

Fuente: Fernández (28).

Reemplazando los datos:

$$I_f = 5000 \text{ mAh} + 5000 \text{ mAh}$$

$$I_f = 10000 \text{ mAh}$$

Al finalizar los cálculos se obtiene una configuración en serie y paralelo de 4 baterías de litio de 3.7 V / 5000 mA cada una. Para obtener 7.4 V / 10000 mAh, los valores obtenidos son correctos debido a que las necesidades de nuestro sistema son de 5 V / 8475 mAh para garantizar las 5 h de funcionamiento con una protección de 80 %.

A continuación, en las figuras 41 y 42 se muestra la configuración en serie y paralelo obtenidas de los cálculos. Además, se presentan simulados en el programa ISIS Proteus para corroborar los valores de simulación con los valores obtenidos en cálculo.

Para fines de simulación se usó la resistencia R1 cuyo valor es de 0.64 Ohm.

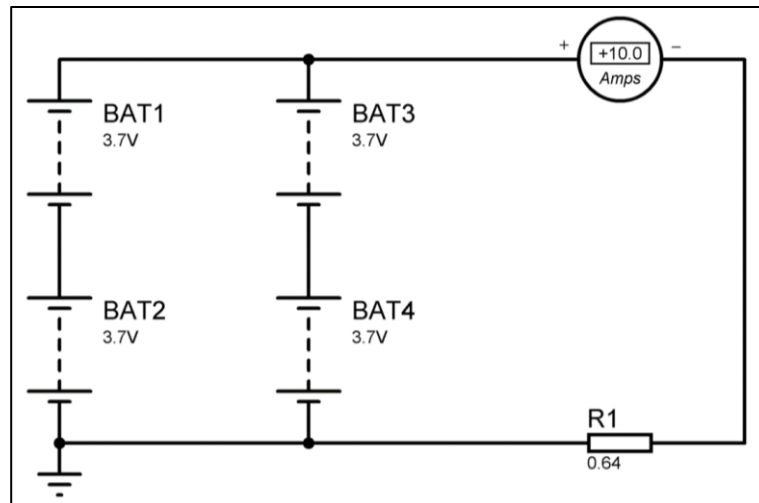


Figura 41. Configuración de baterías - medición de corriente.

Se verifica el voltaje final obtenido de la configuración en serie y paralelo.

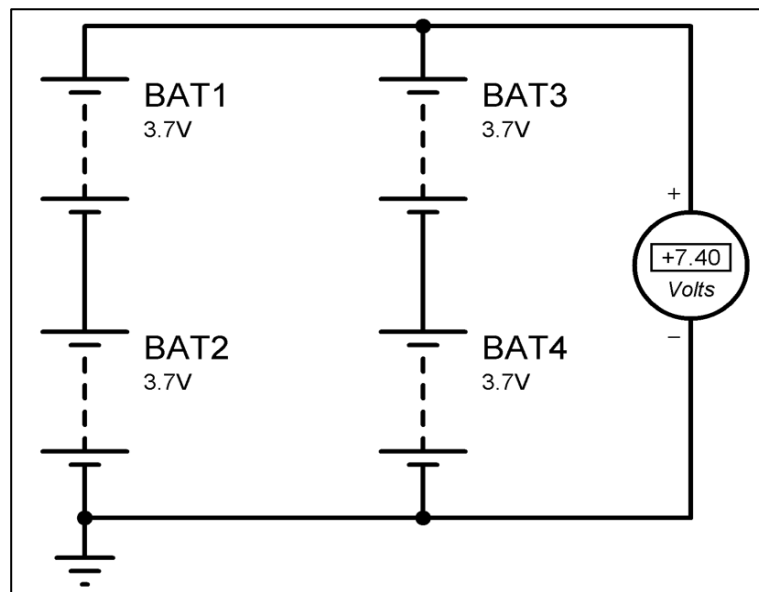


Figura 42. Configuración de baterías - medición de voltaje.

4.6. Diseño de mecánico - case

4.6.1. ABS

Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) es nombrado así por ser un polímero más complejo que el polietileno y propileno. Además, que el ABS tiene un incremento de su resistencia debido al porcentaje elevado de butadieno que posee, también se reduce su resistencia al a tensión y temperatura de deformación, y además cuenta con buenas propiedades mecánicas haciéndolo uno de los materiales más utilizados por la tecnología de impresión en 3D. Este material es uno de los más resistentes en comparación a otros ya existentes como el PVC y el PLA (29).

4.6.1.1. Propiedades mecánicas del ABS

Los materiales ABS cuentan con propiedades importantes desarrolladas en ingeniería como una alta resistencia mecánica, se destaca por ser un material liviano y una alta tenacidad como se observa en la siguiente tabla (29).

Tabla 11. *Cuadro de propiedades mecánicas y físicas.*

Propiedades mecánicas y físicas del ABS	
Módulo elástico	1.1 – 2.9 GPa
Coefficiente de Poisson	0,391 – 0,422
Resistencia mecánica a la compresión	31 – 86,2 MPa
Resistencia mecánica a la flexión	47,8 – 76 MPa
Resistencia mecánica a la tracción	27,6 – 55,2 MPa
Temperatura de transición vítrea	87,9 – 118 °C
Temperatura de fusión	200 – 245 °C

4.6.1.2. Simulación en el prototipo de gafas

Para el análisis del diseño de prototipo de gafas, se consideran los siguientes aspectos para la simulación:

- Temperatura del medio ambiente.
- Límite de fluencia.
- Desplazamiento total.

A continuación, se muestran las simulaciones de cada parámetro anteriormente descrito.

A. Temperatura del medio ambiente:

El proyecto se desarrolla para la ciudad de Huancayo - Junín - Perú ubicado a 3245 msnm, el cual según la página web dedicada a análisis de clima Climate (30), muestra una tabla que muestra el promedio de las variaciones del clima a lo largo año con respecto a cada mes en un periodo de 30 años.

Tabla 12. *Tabla climática - Huancayo.*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	9.2	9.2	9.1	8.8	8.4	7.7	7.3	7.8	8.3	9	9.5	9.4
Temperatura mín. (°C)	6	6.2	6.3	5.4	4.3	3.1	2.4	3	4.1	5.1	5.4	5.9
Temperatura máx. (°C)	13.7	13.5	13.4	13.4	13.3	13	13	13.5	13.6	14	14.6	14
Precipitación (mm)	254	252	228	125	61	34	32	53	100	157	164	222
Humedad(%)	81%	83%	83%	80%	75%	70%	67%	68%	74%	77%	76%	79%
Días lluviosos (días)	21	19	21	19	13	7	7	12	18	20	19	20
Horas de sol (horas)	4.5	4.1	4.0	4.6	5.8	6.5	6.9	6.8	5.7	5.1	5.4	4.9

Data: 1991 - 2021 Temperatura mín. (°C), Temperatura máx. (°C), Precipitación (mm), Humedad, Días lluviosos. Data: 1999 - 2019: Horas de sol

Fuente: Climate (30).

Según la tabla 12 se observan los límites de temperatura de Huancayo los cuales son de 2.4°C por las noches y 14.6°C por el día. Cabe mencionar que la persona puede realizar viajes a distintos lugares del país, considerando la capital que tiene una variación de temperatura de 12°C en invierno - 28°C en verano y según datos históricos extremos 33.9°C en 2016. Vamos a considerar 38°C del clima para la simulación de nuestro prototipo para mejorar el margen de seguridad y factor de seguridad. Además de considerar la temperatura de la persona 37.5°C.

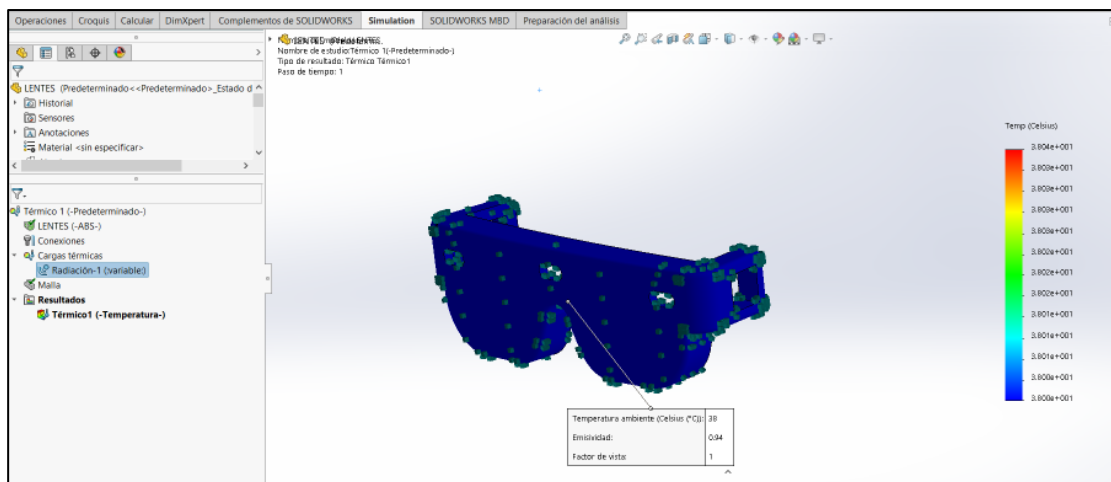


Figura 43. Simulación sometida bajo radiación solar máxima.

Según la simulación de las gafas se obtuvieron los datos que se muestran en la figura 43 sobre el comportamiento del ABS a 38°C, que son:

- Valor máximo: $3.804 \cdot 10^1 \Rightarrow 38.04^\circ\text{C}$.
- Valor mínimo: $3.800 \cdot 10.001^0 \Rightarrow 38.00^\circ\text{C}$.

$$38.04^\circ\text{C} - 38^\circ\text{C} = 0.04^\circ\text{C}$$

La diferencia entre las 2 temperatura es de 0.04°C , que indica que la temperatura a lo largo de toda la pieza de ABS es la prácticamente misma con una mínima variación de 0.04°C , no posee sobrecalentamientos ni puntos críticos.

El diseño del prototipo sometido a temperaturas climáticas es seguro para el uso del mismo, dentro de cualquier clima del país. Es necesario indicar que la temperatura de fusión del ABS es de 200°C , por lo que se recomienda cuidado del prototipo y evitar las transferencias de calor por conducción a partir de 37.5°C (temperatura humana) para alargar la vida útil y protección de la piel del usuario.

B. Límite de fluencia:

Para el presente parámetro, se analizará esfuerzo máximo antes su deformación sin regresar a la forma original por cargas sometidas en el uso de prototipo. Se conoce que el límite de fluencia del ABS es 40 - 60 MPa y esfuerzo último 55 - 70 MPa, además se conoce que el ABS puede soportar hasta 2 % de deformación.

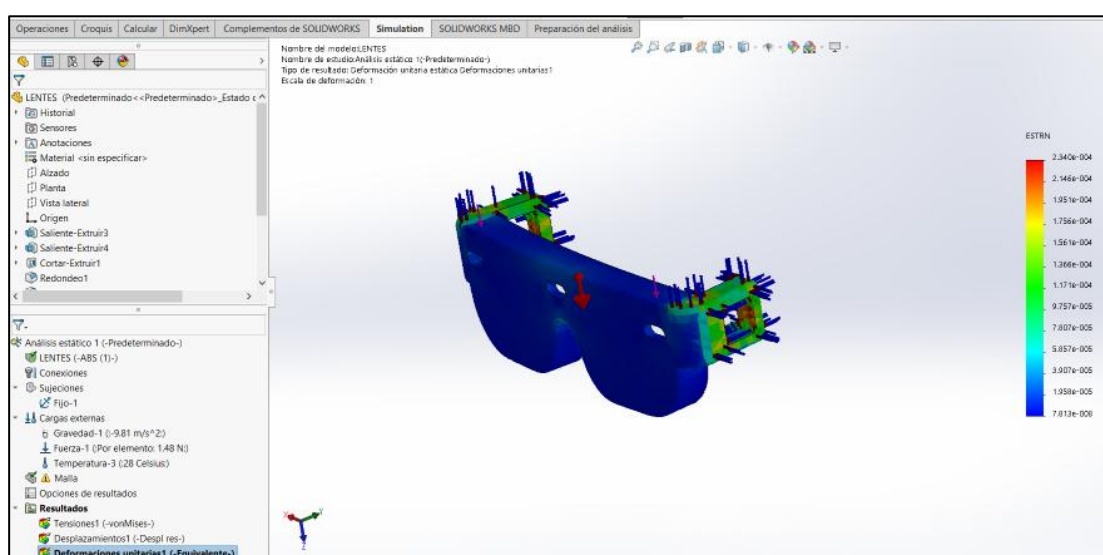


Figura 44. Deformación equivalente de ABS de gafas.

La figura 44 muestra la deformación equivalente sometida a pesos del material ABS utilizados para la fabricación del prototipo, peso de materiales electrónicos y sensores, sujeción del prototipo y gravedad.

Interpretando los datos obtenidos:

- La parte delantera de las gafas donde van incluidos los sensores y componentes electrónicos, aquello es de color azul lo cual indica como valor $7.819e-008$.

$$7.819e-008 \Rightarrow 0.00007812 \varepsilon \Rightarrow 0.007812\% \varepsilon$$

El valor 0.007812 % indica que el ABS se va a deformar en esa cara, siendo menor del 2 % que soporta, siendo de esta manera el diseño seguro para el peso que va a portar y que el diseño no va a sufrir deformaciones críticas.

- Existe una parte de sujeción de 2 puntos para anclar una cinta de nylon a la cabeza para fijar las gafas en su posición propuesta de trabajo, según la simulación en la figura 44 indica que cuenta con un color verde con un valor máximo de $1.561e-004$.

$$1.561e-004 \Rightarrow 0.0001561 \varepsilon \Rightarrow 0.01561\% \varepsilon$$

El valor de 0.001561 % indica que el ABS se va a deformar en ambas ojales donde irá el nylon, siendo menor del 2 % que soporta el ABS, demostrando que el material y diseño propuesto es seguro además de no sufrir deformaciones críticas.

C. Desplazamiento total:

La magnitud de desplazamiento resultante o desplazamiento total indica un desplazamiento en las direcciones X, Y, Z del material y depende del tipo de material u esfuerzos que se aplican. Para nuestro proyecto se aplican: peso de materiales electrónicos, sujeción y gravedad. Para el ABS si el URES es menor a 0.5 mm el diseño es rígido y seguro; si el URES está entre 0.5 y 1 mm puede ser aceptable dependiendo de la función de la pieza; si el URES es mayor a 1 mm hay un problema en la pieza y se debe de revisar el diseño.

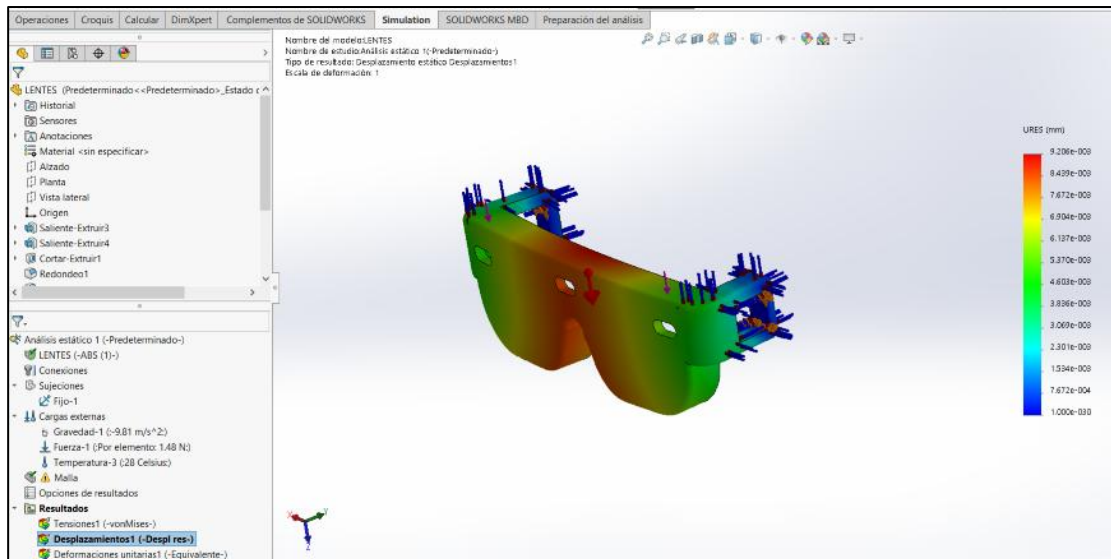


Figura 45. Desplazamiento total de gafas de ABS.

En la figura 45 se muestra el desplazamiento total en mm de las gafas, el cual nos va a indicar si ABS y el diseño planteado es correcto para la aplicación que se está dando.

Interpretando los datos obtenidos:

- Se observa la pieza posee distintos puntos de aplicación con distinto desplazamiento:

$$\text{Valor Máximo: } 9.206e - 003 \Rightarrow 0.009206 \text{ mm}$$

$$\text{Valor Mínimo: } 1.000e - 003 \Rightarrow 0.001000 \text{ mm}$$

Considerando el valor máximo de desplazamiento total en la cara frontal de las gafas, 9.2 μm es un desplazamiento máximo que se va a aplicar en las gafas. El desplazamiento de 9.2 μm que tiende a 0 indica que la pieza se va a mantener rígida y estable baja el peso de sus componentes, siendo un diseño seguro y estable.

4.6.2. Posición de cargas en relación al cuerpo

Según la guía técnica de manipulación manual de cargas, la combinación del peso con otros factores, como la postura, la posición de la carga, determinará que estos pesos estn dentro del rango permisible o, por el contrario, supongan un riesgo relevante para la salud de las personas. Un factor fundamental en el riesgo por manipulación manual de cargas es distancia respecto al centro de gravedad del cuerpo. En esta distancia intervienen dos factores: la distancia horizontal (H) y la distancia vertical (V), que nos darán las “coordenadas” de la situación de la carga.

Cuanto más alejada esté la carga del cuerpo, mayores serán las fuerzas de compresión que se generan, lo cual incrementa el riesgo de lesiones (31).

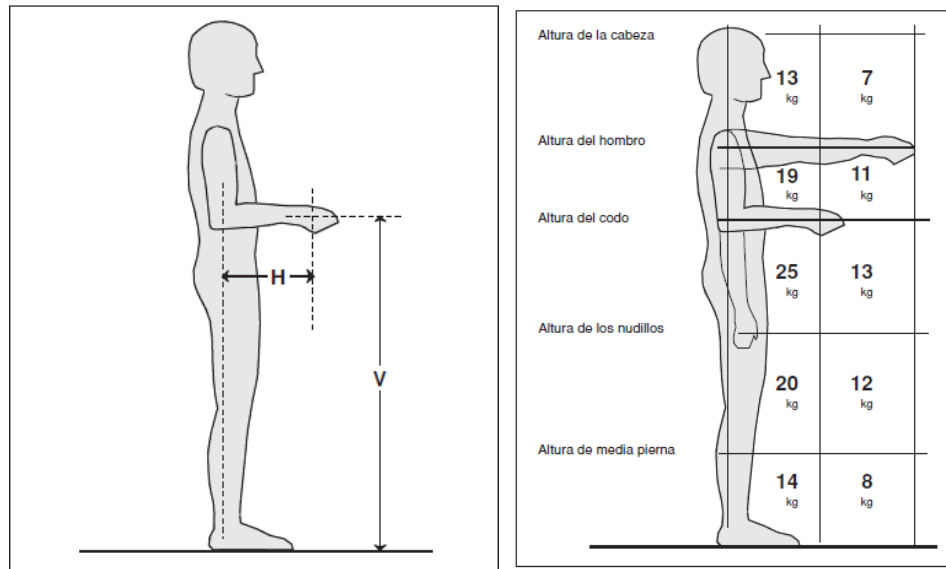


Figura 46. Relación de pesos con relación de H y V.

De la figura 46 se tomará como referencia el peso que se puede cargar a la altura de la cabeza, para el diseño del prototipo de las gafas y el peso a la altura del hombro al codo para el microcomputador, para evitar lesiones a las personas con discapacidad vista que serán los usuarios finales de nuestro prototipo, cumpliendo así con las normas de pesos que puede cargar una persona teniendo el manual de manipulación de cargas.

4.6.3. Diseño de case

Se considero dividir en prototipo en dos etapas la parte de gafas con los sensores de obstáculos y la parte microcomputador que incorpora el sistema de reconocimiento facial, detección de colores y el reconocimiento de billetes.

4.6.3.1. Dispositivo maestro

Módulo de case: el case está diseñado en SOLIDWORKS, este diseño está pensando en la disposición de los módulos que se encontrarán en su interior, teniendo en cuenta sus dimensiones, también se consideró la forma de sujeción que tendrá al usuario, por lo que se plantearon tres partes, una tapa en la que se instalarán correas de sujeción, una tapa delantera que se encargará de fijar la cámara en la parte frontal y por último un case para el soporte de los circuitos electrónicos.

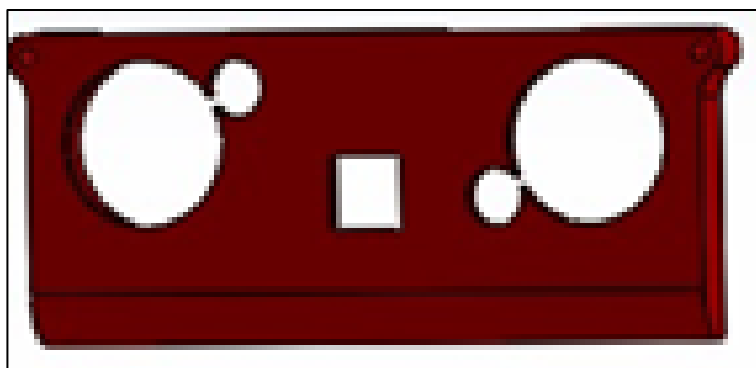


Figura 47. Soporte de cámara vista 3D.

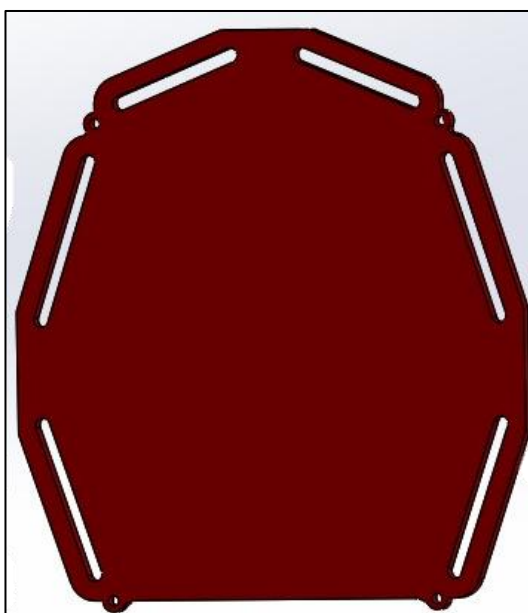


Figura 48. Tapa de case vista 3D.

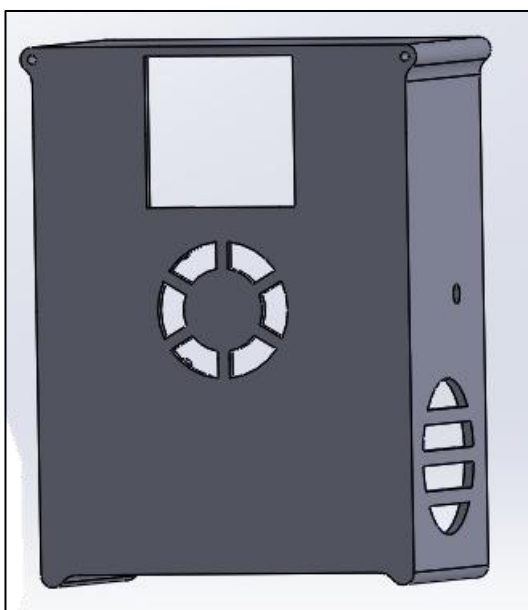


Figura 49. Módulo case en vista 3D.

4.6.3.2. Dispositivo esclavo

Módulo gafas en impresión 3D: se optó por un diseño de gafas fabricado en impresión 3D a base de filamento ABS, por las prestaciones que esta tiene y con la finalidad de reducir el peso del diseño, y teniendo en consideración los componentes que esta albergará en su interior.

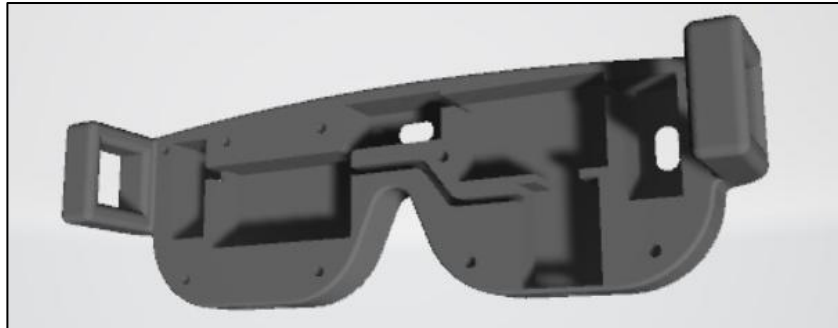


Figura 50. Modelo de gafas vista posterior desarrollado en SOLIDWORK.



Figura 51. Modelo de gafas vista frontal desarrollado en SOLIDWORK.

4.7. Fabricación de PCB y conexiones eléctricas

- Módulo de control: está basado en el microcontrolador ATMEGA328P de un Arduino nano, el circuito electrónico está diseñado mediante el software de PROTEUS el cual nos brinda la base para la materialización del mismo mediante diferentes procedimientos, de cual nosotros elegimos el método de la plancha y el grabado se realizó mediante el ácido férrico, logrando así la materialización de la tarjeta de control que se observa en la figura 52.



Figura 52. Circuito electrónico en PCB.

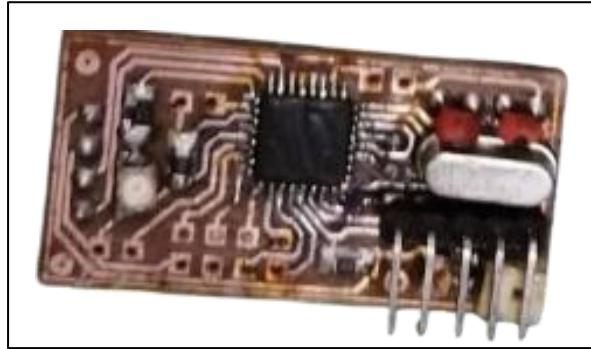


Figura 53. Circuito electrónico de módulo de control.

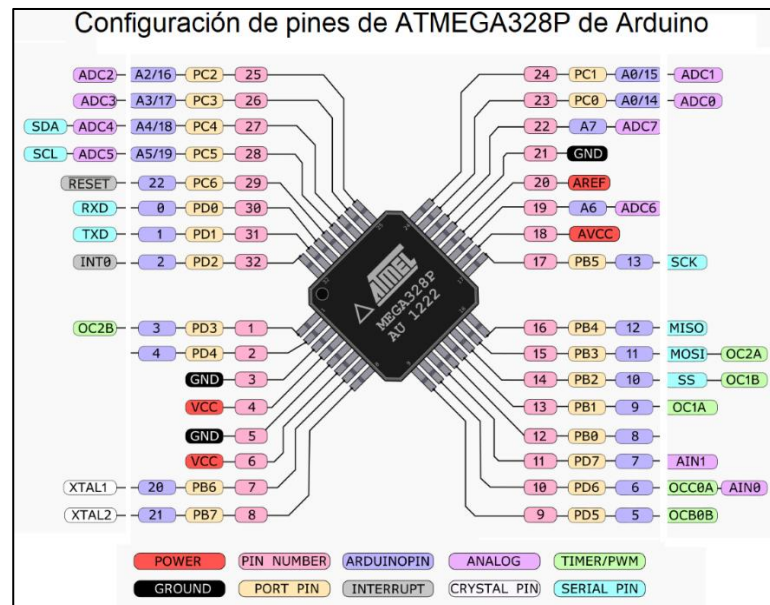


Figura 54. Salidas de circuito integrado ATMEGA328P basado en Arduino.

- Módulo de sensores de proximidad: la detección de obstáculos está dada por tres sensores de distancia basados en el sensor láser VL53L0X, el cual está basado en el principio de tiempo de vuelo Time-Of-Flight.

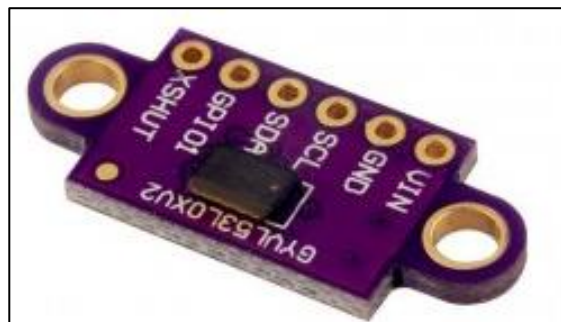


Figura 55. Tarjeta de sensor láser VL53LOX.

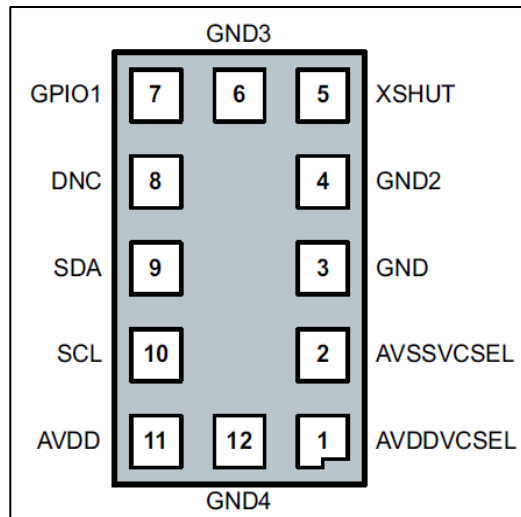


Figura 56. Pines de chip VL53LOX.

Tabla 13. Descripción de pines del VL53LOX.

Pin number	Signal name	Signal type	Signal description
1	AVDDVCSEL	Supply	VCSEL Supply, to be connected to main supply
2	AVSSVCSEL	Ground	VCSEL Ground, to be connected to main ground
3	GND	Ground	To be connected to main ground
4	GND2	Ground	To be connected to main ground
5	XSHUT	Digital input	Xshutdown pin, Active LOW
6	GND3	Ground	To be connected to main ground
7	GPIO1	Digital output	Interrupt output. Open drain output.
8	DNC	Digital input	Do Not Connect, must be left floating.
9	SDA	Digital input/output	I ² C serial data
10	SCL	Digital input	I ² C serial clock input
11	AVDD	Supply	Supply, to be connected to main supply
12	GND4	Ground	To be connected to main ground

- Módulo microcomputador: este es la parte más importante del proyecto, en esta se realiza el procesamiento de la información, tanto de los sensores de proximidad, los datos de la cámara según sea el modo en el que se encuentre seleccionado (reconocimiento facial, detención de colores o denominación de valor de billetes) y la respuesta o alertas que nos brinda mediante el sistema de audio por altavoz incorporado, este también se encuentra entrelazado con un circuito electrónico basado en el microcontrolador ATMEGA328 y un módulo de bluetooth adicional los cuales se intercambian información con el microcomputador basado en la Raspberry Pi4.

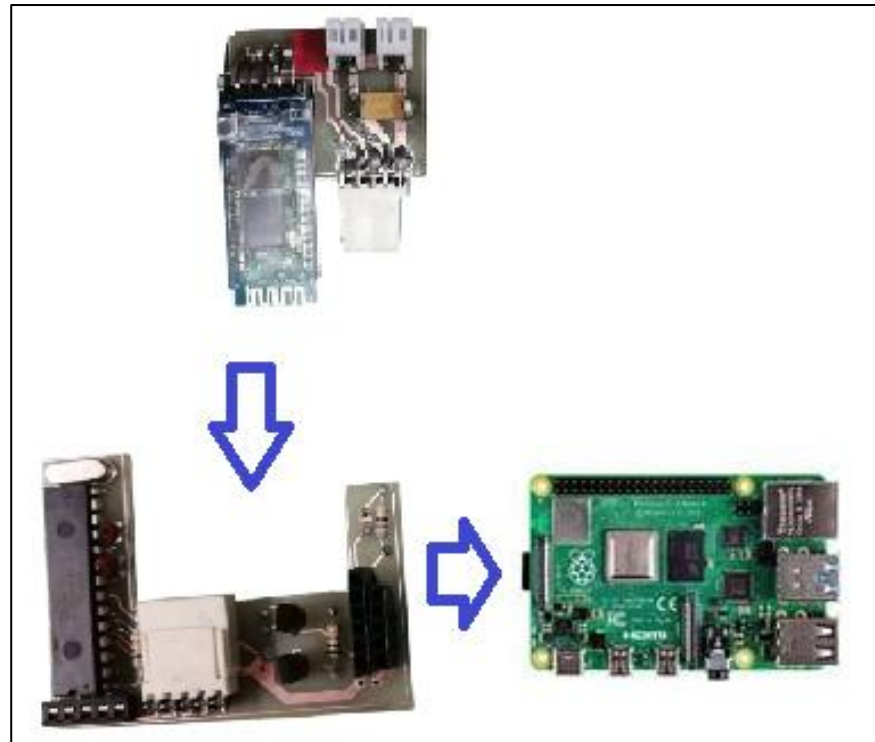


Figura 57. Módulo de microcomputador con los circuitos de comunicación.

PINES DE ATMEGA328			
reset	1	18	analog input 5
digital pin 0 (RX)	2	17	analog input 4
digital pin 1 (TX)	3	16	analog input 3
digital pin 2	4	15	analog input 2
digital pin 3 (PWM)	5	14	analog input 1
digital pin 4	6	13	analog input 0
VCC	7	12	GND
GND	8	11	analog reference
crystal	9	10	VCC
crystal	10	19	digital pin 13
digital pin 5 (PWM)	11	18	digital pin 12
digital pin 6 (PWM)	12	17	digital pin 11 (PWM)
digital pin 7	13	16	digital pin 10 (PWM)
digital pin 8	14	15	digital pin 9 (PWM)

Figura 58. Módulo de microcomputador ATMEGA328 configurado para Arduino.

- Módulo de cámara: para este módulo se optó por una cámara del fabricante de periféricos para la Raspberry Pi4. Esta cámara tiene una resolución de 8MP que se conecta directamente a la tarjeta de Raspberry Pi.

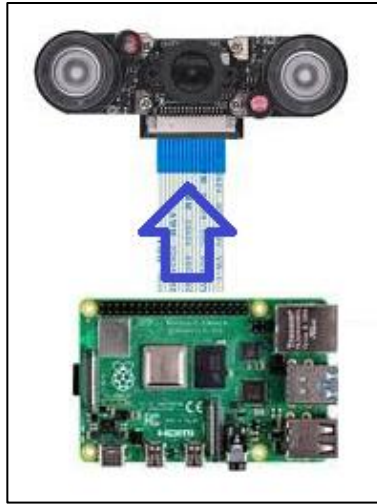


Figura 59. Módulo de cámara para reconocimiento.

La cámara está construida alrededor del circuito integrado IMX219, el cual tiene características de sensibilidad espectral como se muestran en la gráfica de la figura siguiente.

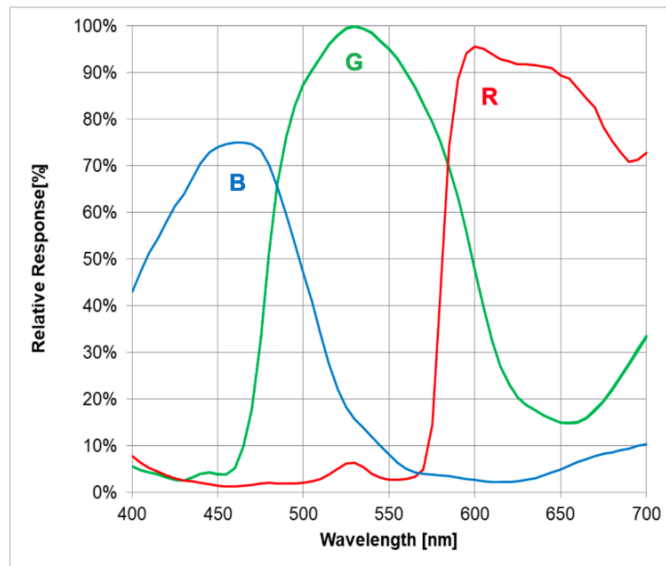


Figura 60. Gráfico de la sensibilidad de cámara utilizado en el proyecto.

- Módulo de audio PAM8403:

Es un amplificador de audio de dos canales de 3W por cada una de sus salidas, correspondientes a los altavoces derecho e izquierdo, este amplificador es de clase D. Ofrece baja THD + N (baja distorsión armónica total), lo que le permite lograr una reproducción de sonido de alta calidad. El diseño sin filtro permite que el módulo accione el altavoz directamente, sin necesidad de filtros de salida, generando ahorro económico del sistema y el área de PCB.

Este módulo tiene una salida máxima de potencia de hasta 3W. Es ideal para la fabricación de amplificadores de prototipos y/o proyectos hechos en casa, debido a su tamaño compacto, facilidad de uso y precio accesible.

Este módulo funciona para amplificar señales de sonido de computadores, Raspberry Pi, MP3, celulares, entre otros y poder escucharla por bafles grandes de una buena capacidad.

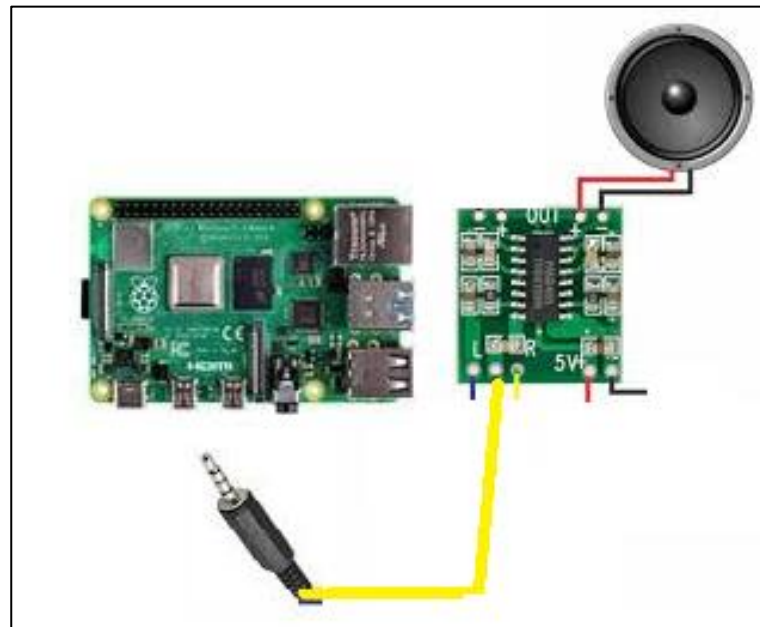


Figura 61. Módulo de sistema de audio-altavoz.

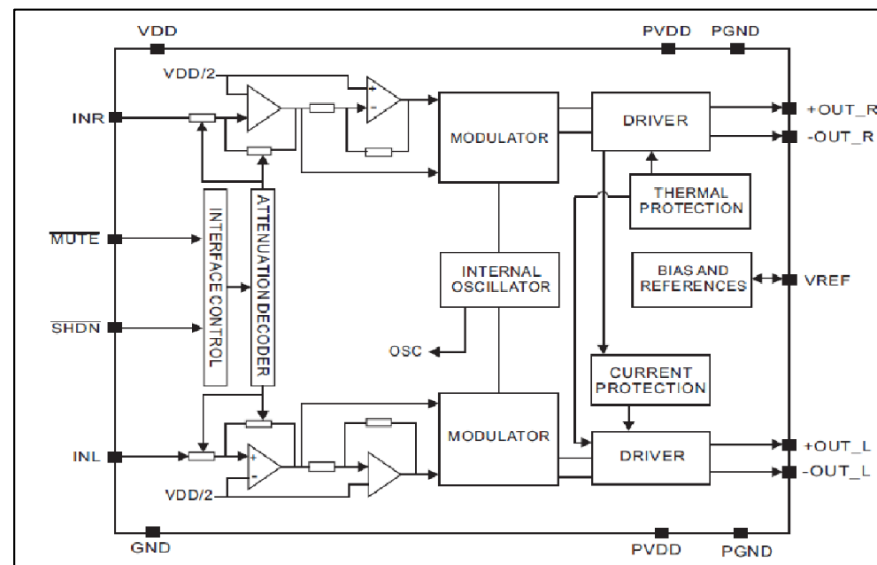


Figura 62. Diagrama de flujo del módulo amplificador PAM8403.

- Módulo de baterías:

Paso 2: planchar el circuito en el PCB de baquelita previamente limpiado, esto para transferir los circuitos que tendrá éste.



Figura 65. Transferencia de circuito impreso a la placa de PBC en baquelita.

Paso 3: una vez trasferido el circuito al PCB se procede a grabarlo sumergiéndolo en ácido bórico controlado el calor y el tiempo para cuidar las pistas que este tiene.



Figura 66. Proceso de grabado con ácido bórico.

Paso 4: se retira del ácido y se procede a lavarlo con abundante agua para luego realizar una limpieza y dejar las pistas de cobre grabadas en el circuito electrónico de PCB.

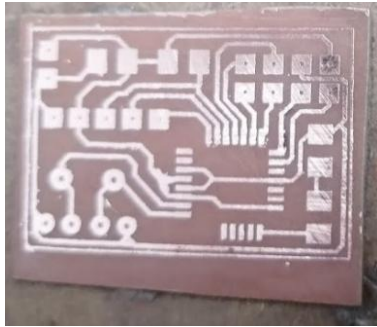


Figura 67. PCB limpios y grabados.

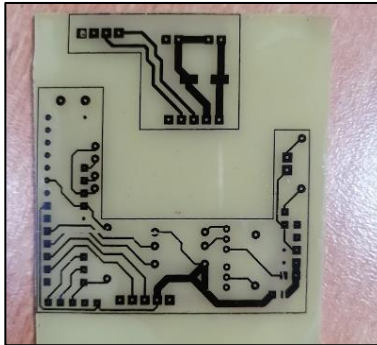


Figura 68. PCB doble cara UART RPL.

Paso 5: en este paso se procede al montaje de los componentes electrónicos y/o microprocesadores que este tendrá los cuales se fijarán con soldadura de estaño.

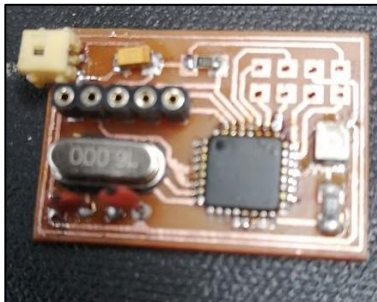


Figura 69. Componentes electrónicos soldados en ele PCB.

CAPÍTULO V

RESULTADOS ESPERADOS

5.1. Pruebas

5.1.1. Pruebas eléctricas

Las pruebas eléctricas del circuito de alimentación portátil para el dispositivo maestro fueron diseñadas de acuerdo a los requerimientos eléctricos del microcomputador Raspberry Pi 4B considerando los periféricos que usamos para el desarrollo del proyecto. Dichos requerimientos para el funcionamiento adecuado del proyecto están descritos y sustentados en la tabla 9.

La prueba se desarrolló en simulación en el programa Proteus como se muestra en la figura 70, y la prueba física con instrumentos de medición (voltímetro /amperímetro) en la PCB diseñada y desarrollada como se muestra en la figura 71.

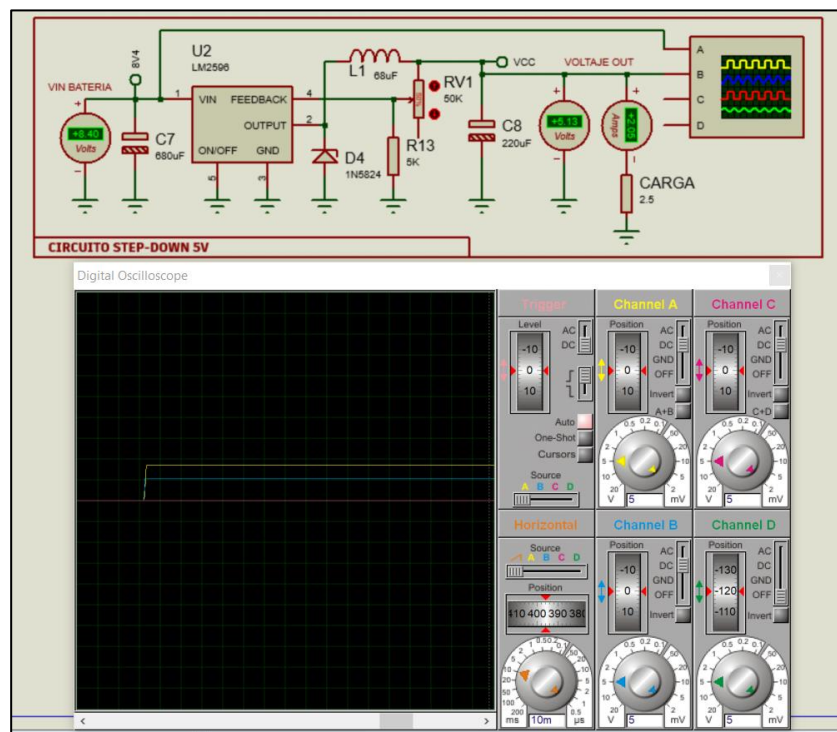


Figura 70. Prueba de simulación de fuente de alimentación estable para Raspberry.



Figura 71. Prueba física de fuente de alimentación.

Los cálculos de diseño para autonomía de funcionamiento indica 5 horas garantizadas, es por ello que se llevaron a cabo las pruebas de acuerdo a lo antes explicado.

Se realizaron las pruebas en un periodo de 5 horas 30 min con intervalos de testeo de 30 min obteniendo de esta manera 12 pruebas. A continuación, se muestra una tabla realizada, datos obtenidos de simulación y datos obtenidos de tarjeta electrónica.

Tabla 14. Pruebas de autonomía de baterías.

PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PORTÁTIL INCORPORADA PARA GARANTIZAR 5 HORAS DE AUTONOMÍA									
Nº	Minutos de funcionamiento (min)	Simulación Proteus				Tarjeta Físicas			
		Voltaje IN BATERIA (V)	Voltaje OUT (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje IN BATERIA (V)	Voltaje OUT (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	1	8.4	5.13	2.05	10.52	8.4	5.12	1.72	8.81
2	30	8.4	5.13	2.05	10.52	8.4	5.12	1.72	8.81
3	60	8.4	5.13	2.05	10.52	8.3	5.11	1.72	8.79
4	90	8.4	5.13	2.05	10.52	8.2	5.12	1.71	8.76
5	120	8.4	5.13	2.05	10.52	8.0	5.12	1.71	8.76
6	150	8.4	5.13	2.05	10.52	7.8	5.12	1.71	8.76
7	180	8.4	5.13	2.05	10.52	7.7	5.12	1.72	8.81
8	210	8.4	5.13	2.05	10.52	7.5	5.12	1.72	8.81
9	240	8.4	5.13	2.05	10.52	7.4	5.11	1.70	8.69
10	270	8.4	5.13	2.05	10.52	7.4	5.08	1.68	8.53
11	300	8.4	5.13	2.05	10.52	7.3	5.06	1.60	8.10
12	330	8.4	5.13	2.05	10.52	7.0	4.89	1.25	6.11

El requerimiento del sistema es mantener un voltaje y corriente continua de manera estable para proteger el microcomputador de daños de parámetros oscilantes. Según los obtenidos en la tabla 14 se detalla de la simulación y tarjeta física, haciendo una comparación considerando la variación de voltaje y corriente a lo largo de las 5 horas de autonomía propuestos en el diseño planteado para un funcionamiento de a lo sumo un día de funcionamiento con una recarga completa del dispositivo.

De la tabla 14 se obtuvieron las gráficas mostradas en las siguientes figuras, para mayor interpretación del voltaje y corriente a lo largo del tiempo propuesto.

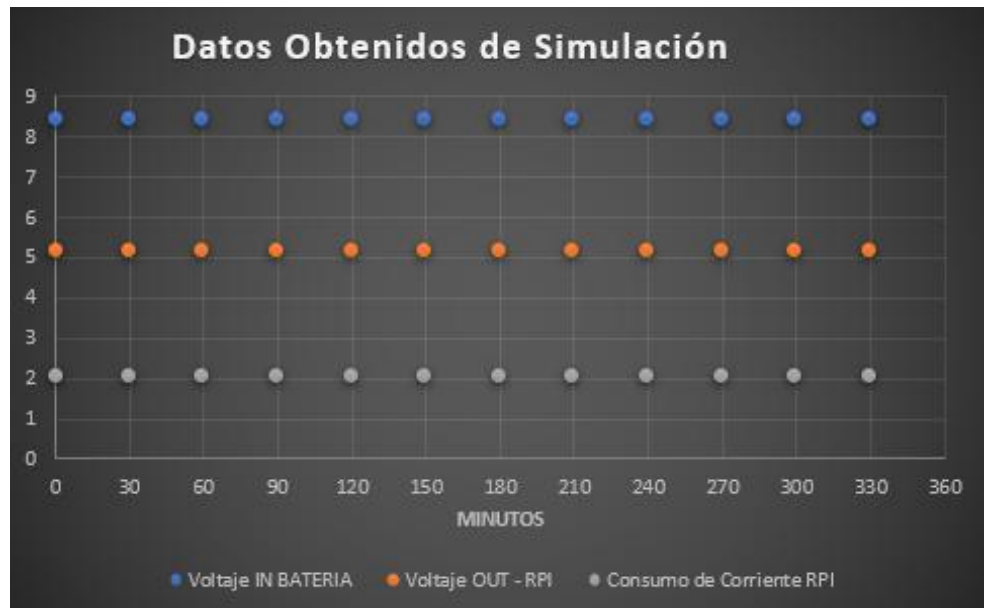


Figura 72. Gráfica de datos obtenidos de simulación de consumo de baterías.

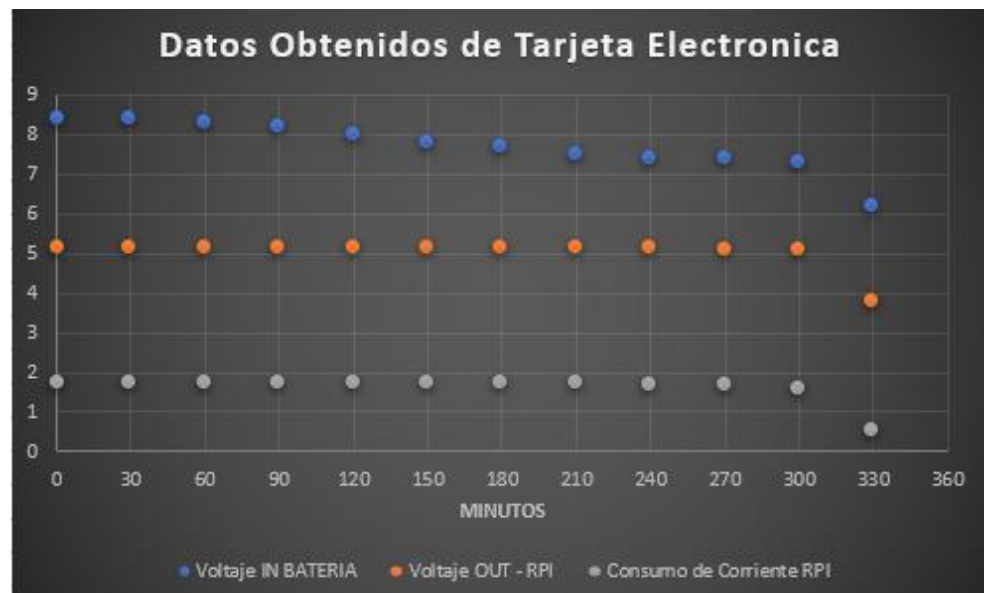


Figura 73. Gráfico de datos obtenidos de tarjeta electrónica.

Se observa en la figura 72 que para datos de voltaje de batería, voltaje regulado para Raspberry Pi (5.1V) y consumo de corriente para Raspberry Pi (2 A) se muestran estables de acuerdo a los requerimientos propuestos en el diseño de nuestro prototipo.

Caso contrario se observa en la figura 73 que los datos varían con tendencia a la descarga de batería (8.4V), caída de voltaje de funcionamiento de Raspberry Pi (5.1V) y consumo de corriente para Raspberry Pi (2 A). Según las pruebas se desde

el minuto 1 hasta el minuto 270 (prueba 10) de la tabla 14 los valores son estables y considerados óptimos para el funcionamiento. Para la prueba 11 minuto 300 se observa una caída de tensión de 7.3V en la batería que indica estar por debajo del intervalo del voltaje de trabajo de la batería para el cuidado de la misma (8.4V - 7.40V siendo 100 % y 0 % el intervalo de la batería de litio) y podría afectar a futuro su vida útil como los componentes que suministra energía. Para la prueba 12 (resaltada en rosa) minuto 330 se observa una caída considerable de los parámetros de la batería y parámetros para el funcionamiento de Raspberry Pi, debido al bajo voltaje de nuestra batería era imposible que el cargador reconociera la presencia de la batería para poder recargar la misma, dejando de esta manera obsoleta nuestra batería de pruebas.

Según las pruebas obtenidas, se recomienda que el uso del dispositivo está limitado a 270 minutos de funcionamiento de autonomía por carga completa para garantizar el correcto funcionamiento y el cuidado de los componentes del proyecto.

5.1.2. Pruebas de control

5.1.2.1. Entrenamiento de imágenes para reconocimiento facial

Para la detección de objetos o rasgos faciales actualmente existen redes neuronales y clasificadores pre entrenados que facilitan el proceso. Para el desarrollo del proyecto nos basaremos en Python y librería de OpenCV que, gracias a los clasificadores en cascada basados en características Haar, desde los años 2000 dieron sus primeros pasos en la detección rápida de objetos. El archivo Haar se entrena a partir de una gran cantidad de imágenes positivas y negativas (32).

Para el entrenamiento del archivo Haar se requiere lo siguiente:

- Computadora con sistema operativo Linux.
- Computadora instalada con Python y OpenCV.
- Una carpeta llamada “Negative_Images” con imágenes en blanco y negro que no contengan la imagen que se desea reconocer. Aproximadamente una cantidad de 500 imágenes en formato “ppm”.
- Una carpeta llamada “Positive_Images” con imágenes a colores que contengan la imagen que se desea reconocer. Aproximadamente una cantidad de 1000 imágenes en formato “.png”.

Una vez cumplido con los requerimientos, se procede a descargar los siguientes archivos de OneDrive: “Haar_Training.zip” (33); para continuar con la creación de Haar, debemos de realizar los pasos establecidos por el creador del archivo descargado, los cuales se detallarán en los anexos.

A continuación, en la figura 74 se muestran los pasos de para la generación de los archivos Haar que servirán de base para el proyecto.

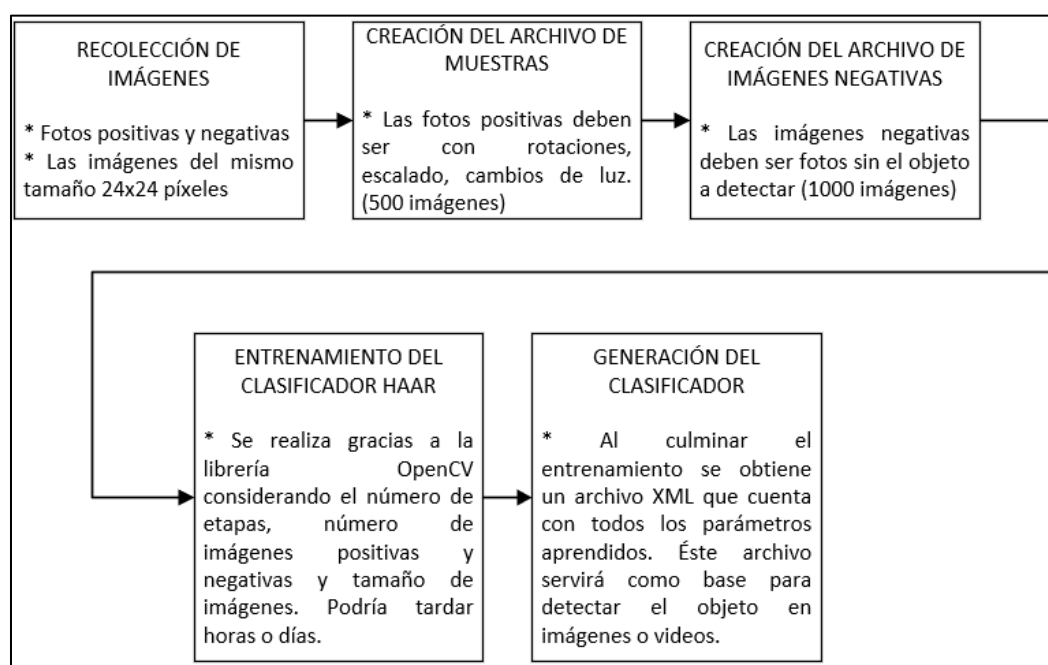


Figura 74. Diagrama de bloques de la creación de archivos Haar.

5.1.2.2. Pruebas de desempeño del software en reconocimiento facial e identificación de personas

Cuando se obtiene el archivo Haar, se procede a la creación del software que será capaz de identificar y comparar las imágenes en tiempo real con las imágenes ya entrenadas para su detección rápida.

El software se desarrolló en Python 3 con la ayuda de la librería OpenCV 4.5.1 Para el proyecto se cuentan con 2 archivos desarrollados, que son una para introducir o agregar una persona nueva a la base de datos del prototipo de gafas, y otra que sirve para la identificación de la base de datos de las personas agregadas.

Se observa en la figura 74 el diagrama de bloques del proceso para el funcionamiento de la identificación de personas delante del usuario que usa el dispositivo.

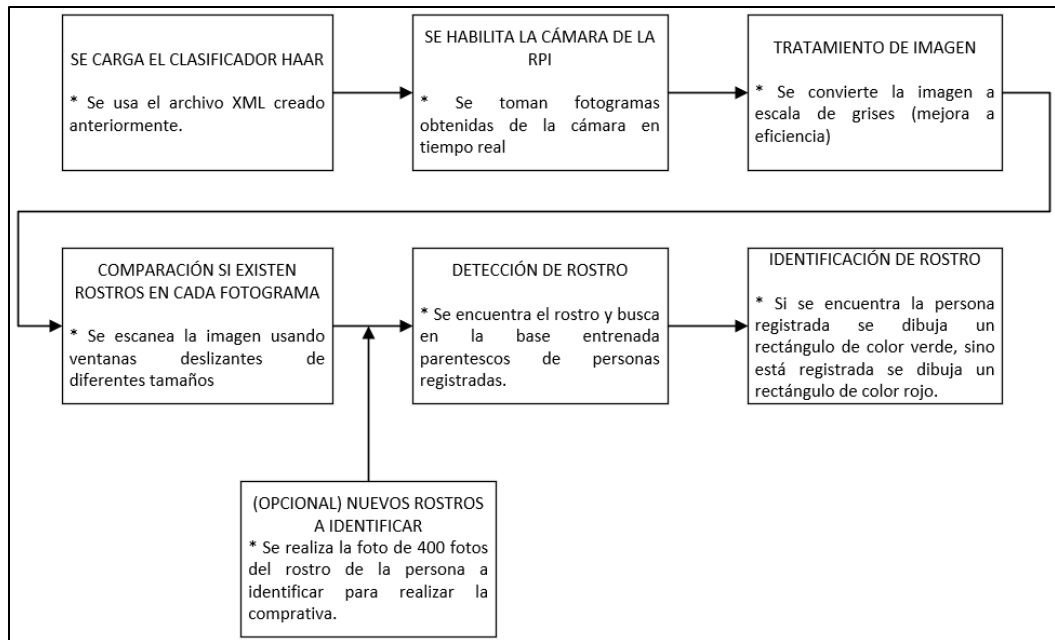


Figura 75. Diagrama de bloques de funcionamiento de identificación de rostros.

Basados en el diagrama de bloques, se desarrolló un script de Python específico para la detección de rostros de personas y por lo tanto a la persona. Además de agregar una opción ADICIONAL para agregar nuevos rostros y poder registrarlos. Dicha función incluye la toma de 450 fotos con variación de intensidad de luz, que cuente o no con gafas o gorra para que el sistema pueda aprender e identificar el rostro de la persona y brindar su nombre en señal de audio.

A continuación, se aprecia en la figura 75 la detección de rostros y encuadre de los mismos. La prueba se realizó después de la generación de archivo Haar sin hacer uso de la función del bloque NUEVOS ROSTROS A IDENTIFICAR.



Figura 76. Personas no registradas ni identificadas, con reconocimiento de rostros.

Para el registro de las personas que queremos identificar, es necesario tomar 450 fotos en diferentes ángulos y variaciones de luz, posterior a ello almacenar en una carpeta y colocar el nombre que se desea mostrar y escuchar al momento de la identificación de la persona. Posterior a ello, se reinicia el script para la verificación del proceso de identificación de personas.

Dentro de las pruebas la identificación de rostros de personas, al colocar una persona delante de la persona que usa el dispositivo, en pantalla se encuadra de color verde con el nombre de la persona en la parte superior izquierda como se muestra en la figura 78 y esta escena se repite 2 veces en menos de 2 segundos entonces se mandará una señal de audio al usuario que entienda quien de sus amistades o familiares está delante suyo.

En la figura 77 se aprecia la lógica de control para la salida de audio en caso de identificación de rostro de la persona registrada o no sea positiva. Si cualquier persona está en frente del usuario y no ha sido registrada, el sistema no emitirá señal de audio como se muestra en la figura 78.

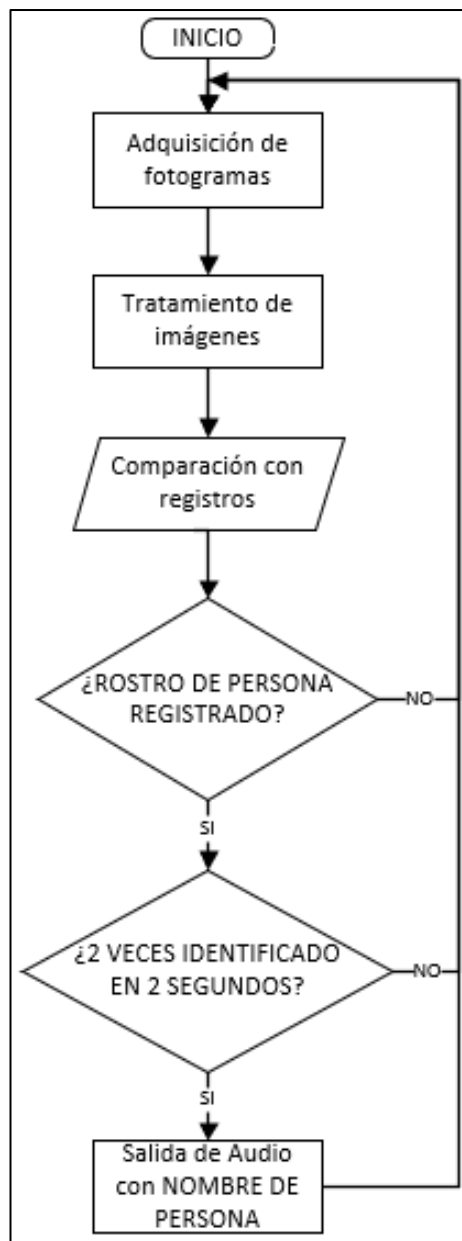


Figura 77. Diagrama de flujo para activación de audio.

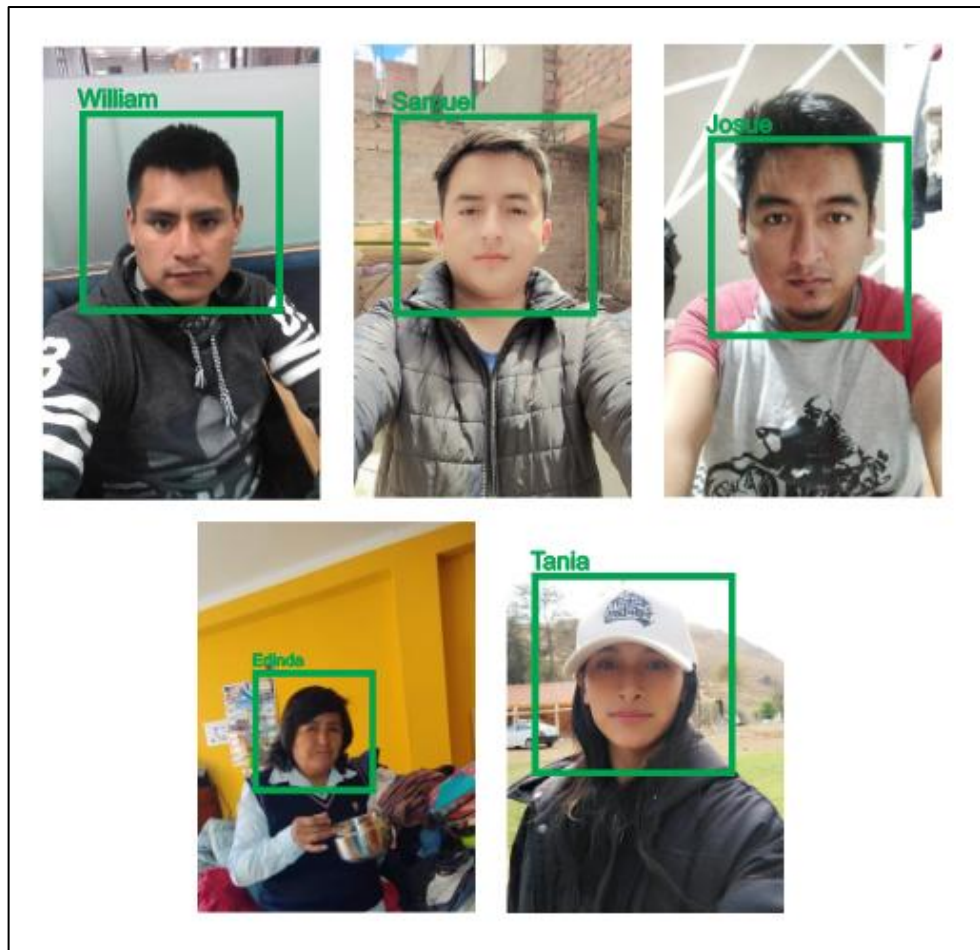


Figura 78. Identificación de rostros de personas registradas.

La identificación de rostros de personas se logró en entornos adecuados e iluminados. El usuario del dispositivo se va a someter a distintos horarios durante el día, con poca o demasiada luz artificial o solar, es por ello que se diseñó el dispositivo con leds blancos que varían la intensidad de luminosidad de acuerdo al entorno.

Frente a lo expuesto anteriormente, se realizaron pruebas en horario DIURNO / NOCTURNO con el fin de conocer de identificar parámetros de funcionamiento. A continuación, se presenta la tabla 15 con pruebas realizadas de las 5 personas en diferentes horarios del día y cuántos de ellos fueron identificados de manera correcta. Es necesario saber el nivel de confianza de la detección de las pruebas realizadas en porcentaje para llegar a una conclusión.

Tabla 15. Identificación de rostros de personas a diferentes distancias.

PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS A DIFERENTES DISTANCIAS							
N°	N° GRUPAL DE PRUEBA	PERSONA EN FRENTE	DISTANCIA DE MEDICIÓN (cm)	HORARIO	PERSONA DETECTADA	¿COINCIDENCIA? (SI/NO)	PORCENTAJE DE COINCIDENCIA
1	1	Tania	200	DIURNO	no detectado	NO	0%
2		Erlinda		DIURNO	no detectado	NO	
3		Samuel		DIURNO	no detectado	NO	
4		William		DIURNO	no detectado	NO	
5		Josue		DIURNO	no detectado	NO	
6	2	Tania	180	DIURNO	no detectado	NO	0%
7		Erlinda		DIURNO	no detectado	NO	
8		Samuel		DIURNO	no detectado	NO	
9		William		DIURNO	no detectado	NO	
10		Josue		DIURNO	no detectado	NO	
11	3	Tania	160	DIURNO	no detectado	NO	0%
12		Erlinda		DIURNO	no detectado	NO	
13		Samuel		DIURNO	no detectado	NO	
14		William		DIURNO	no detectado	NO	
15		Josue		DIURNO	no detectado	NO	
16	4	Tania	140	DIURNO	Giulliana	NO	20%
17		Erlinda		DIURNO	no detectado	NO	
18		Samuel		DIURNO	no detectado	NO	
19		William		DIURNO	William	SI	
20		Josue		DIURNO	no detectado	NO	
21	5	Tania	120	DIURNO	Giulliana	NO	60%
22		Erlinda		DIURNO	Erlinda	SI	
23		Samuel		DIURNO	no detectado	NO	
24		William		DIURNO	William	SI	
25		Josue		DIURNO	Josue	SI	
26	6	Tania	100	DIURNO	Giulliana	NO	80%
27		Erlinda		DIURNO	Erlinda	SI	
28		Samuel		DIURNO	Samuel	SI	
29		William		DIURNO	William	SI	
30		Josue		DIURNO	Josue	SI	
31	7	Tania	15	DIURNO	fuera de rango	NO	0%
32		Erlinda		DIURNO	fuera de rango	NO	
33		Samuel		DIURNO	fuera de rango	NO	
34		William		DIURNO	fuera de rango	NO	
35		Josue		DIURNO	fuera de rango	NO	
36	1	Tania	200	NOCTURNO	no detectado	NO	0%
37		Erlinda		NOCTURNO	no detectado	NO	
38		Samuel		NOCTURNO	no detectado	NO	
39		William		NOCTURNO	no detectado	NO	
40		Josue		NOCTURNO	no detectado	NO	
41	2	Tania	160	NOCTURNO	no detectado	NO	0%
42		Erlinda		NOCTURNO	no detectado	NO	
43		Samuel		NOCTURNO	no detectado	NO	
44		William		NOCTURNO	no detectado	NO	
45		Josue		NOCTURNO	no detectado	NO	
46	3	Tania	120	NOCTURNO	no detectado	NO	0%
47		Erlinda		NOCTURNO	no detectado	NO	
48		Samuel		NOCTURNO	no detectado	NO	
49		William		NOCTURNO	no detectado	NO	
50		Josue		NOCTURNO	no detectado	NO	
51	4	Tania	80	NOCTURNO	no detectado	NO	0%
52		Erlinda		NOCTURNO	no detectado	NO	
53		Samuel		NOCTURNO	no detectado	NO	
54		William		NOCTURNO	no detectado	NO	
55		Josue		NOCTURNO	no detectado	NO	
56	5	Tania	50	NOCTURNO	Giulliana	NO	20%
57		Erlinda		NOCTURNO	no detectado	NO	
58		Samuel		NOCTURNO	no detectado	NO	
59		William		NOCTURNO	William	SI	
60		Josue		NOCTURNO	no detectado	NO	
61	6	Tania	30	NOCTURNO	Giulliana	NO	80%
62		Erlinda		NOCTURNO	Erlinda	SI	
63		Samuel		NOCTURNO	Samuel	SI	
64		William		NOCTURNO	William	SI	
65		Josue		NOCTURNO	Josue	SI	
66	7	Tania	15	NOCTURNO	fuera de rango	NO	0%
67		Erlinda		NOCTURNO	fuera de rango	NO	
68		Samuel		NOCTURNO	fuera de rango	NO	
69		William		NOCTURNO	fuera de rango	NO	
70		Josue		NOCTURNO	fuera de rango	NO	

En la tabla 15 se observan los datos obtenidos a diferentes medidas de la cámara teniendo un intervalo de 20 cm entre cada medición, además se realizó en 2 horarios de trabajo y obteniendo como resultado porcentajes de coincidencia que indican a que distancia se identificaron los billetes de manera correcta.

A continuación, se muestran gráficas en las figuras 79 y 80 correspondientes a los resultados de la tabla 15.

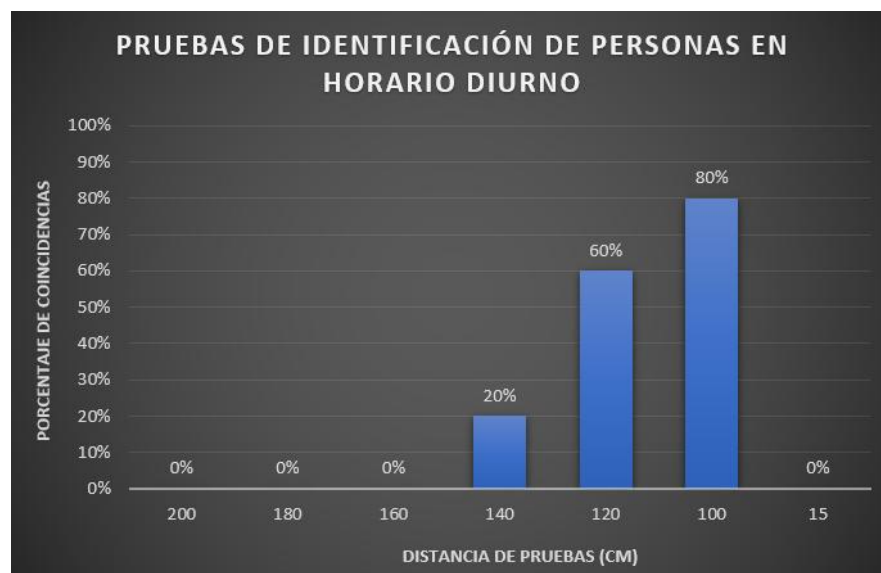


Figura 79. Gráfica de pruebas de identificación de personas diurno.

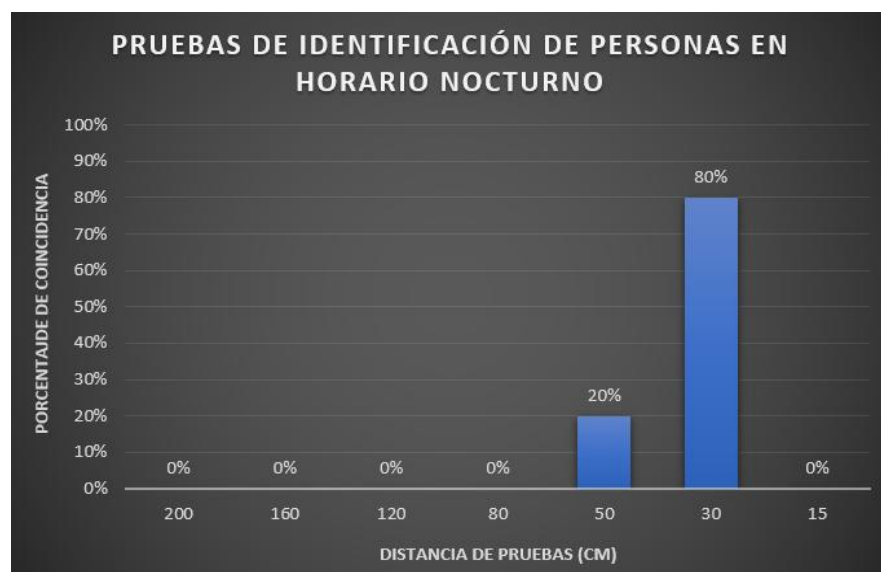


Figura 80. Gráfico de pruebas de identificación de personas nocturno.

Se observa en la figura 79 que para el horario DIURNO el rango de detección con mayor coincidencia de 100 % es entre 100 - 120 cm o valores mayores a 15 cm debido a la cercanía de la cámara. Mientras que, para el

horario NOCTURNO, como se observa en la figura 80, el rango de detección con mayor coincidencia de 100 % es de entre 50 - 30 cm o valores mayores a 15 cm.

Estos datos, o intervalos obtenidos de las pruebas, sirven para limitar el sistema a las siguientes medidas a su aplicación. Conociendo las distancias ideales para el funcionamiento 100 % se precisa conocer el NIVEL DE ACIERTO de las identificaciones de rostros de personas. Por lo tanto, es necesario realizar nuevas pruebas de identificación de rostros de personas dentro de los rangos de los horarios DIURNO y NOCTURNO obtenidos de la primera prueba en las distancias obtenidas como intervalos superiores e inferiores.

A continuación, se muestra la tabla 16 que evidencia 7 repeticiones de 5 personas de las pruebas en el horario DIURNO para obtener un porcentaje de coincidencia por cada repetición. De igual manera, se realizan repeticiones de 5 personas de las pruebas en el horario NOCTURNO obteniendo porcentajes de coincidencia por cada repetición.

De los porcentajes de coincidencias obtenidos de cada horario de ambas pruebas se realiza un promedio para obtener el nivel de acierto de la funcionalidad de identificación de rostros de personas, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. *Pruebas de identificación de rostros de personas.*

PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS A DISTANCIA MENORES A 100 CM / DIURNO						
N°	N° GRUPAL DE PRUEBA	PERSONA PRESENTADA	HORARIO	PERSONA DETECTADA	¿COINCIDENCIA? (SI/NO)	PORCENTAJE DE COINCIDENCIA
1	1	Tania	DIURNO	Tania	SI	100%
2		Erlinda	DIURNO	Erlinda	SI	
3		Samuel	DIURNO	Samuel	SI	
4		William	DIURNO	William	SI	
5		Josue	DIURNO	Josue	SI	
6	2	Tania	DIURNO	no detectado	NO	80%
7		Erlinda	DIURNO	Erlinda	SI	
8		Samuel	DIURNO	Samuel	SI	
9		William	DIURNO	William	SI	
10		Josue	DIURNO	Josue	SI	
11	3	Tania	DIURNO	Tania	SI	100%
12		Erlinda	DIURNO	Erlinda	SI	
13		Samuel	DIURNO	Samuel	SI	
14		William	DIURNO	William	SI	
15		Josue	DIURNO	Josue	SI	
16	4	Tania	DIURNO	Tania	SI	100%
17		Erlinda	DIURNO	Erlinda	SI	
18		Samuel	DIURNO	Samuel	SI	
19		William	DIURNO	William	SI	
20		Josue	DIURNO	Josue	SI	
21	5	Tania	DIURNO	Tania	SI	100%
22		Erlinda	DIURNO	Erlinda	SI	
23		Samuel	DIURNO	Samuel	SI	
24		William	DIURNO	William	SI	
25		Josue	DIURNO	Josue	SI	
26	6	Tania	DIURNO	no detectado	NO	60%
27		Erlinda	DIURNO	Erlinda	SI	
28		Samuel	DIURNO	Samuel	SI	
29		William	DIURNO	no detectado	NO	
30		Josue	DIURNO	Josue	SI	
PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS A DISTANCIA MENORES A 30 CM / NOCTURNO						
31	1	Tania	NOCTURNO	no detectado	NO	60%
32		Erlinda	NOCTURNO	Erlinda	SI	
33		Samuel	NOCTURNO	no detectado	NO	
34		William	NOCTURNO	William	SI	
35		Josue	NOCTURNO	Josue	SI	
36	2	Tania	NOCTURNO	Tania	SI	100%
37		Erlinda	NOCTURNO	Erlinda	SI	
38		Samuel	NOCTURNO	Samuel	SI	
39		William	NOCTURNO	William	SI	
40		Josue	NOCTURNO	Josue	SI	
41	3	Tania	NOCTURNO	Tania	SI	80%
42		Erlinda	NOCTURNO	Erlinda	SI	
43		Samuel	NOCTURNO	Samuel	SI	
44		William	NOCTURNO	William	SI	
45		Josue	NOCTURNO	no detectado	NO	
46	4	Tania	NOCTURNO	Tania	SI	100%
47		Erlinda	NOCTURNO	Erlinda	SI	
48		Samuel	NOCTURNO	Samuel	SI	
49		William	NOCTURNO	William	SI	
50		Josue	NOCTURNO	Josue	SI	
51	5	Tania	NOCTURNO	no detectado	NO	60%
52		Erlinda	NOCTURNO	Erlinda	SI	
53		Samuel	NOCTURNO	no detectado	NO	
54		William	NOCTURNO	William	SI	
55		Josue	NOCTURNO	Josue	SI	
56	6	Tania	NOCTURNO	Tania	SI	80%
57		Erlinda	NOCTURNO	Erlinda	SI	
58		Samuel	NOCTURNO	Samuel	SI	
59		William	NOCTURNO	William	SI	
60		Josue	NOCTURNO	no detectado	NO	

NIVEL DE ACIERTO DIURNO (100cm)	NIVEL DE ACIERTO NOCTURNO (30cm)
90.00%	80.00%

De acuerdo a las 2 pruebas realizadas anteriormente se obtienen limitantes que a continuación se van a describir para el uso adecuado del proyecto que se debe incluir en la capacitación al usuario.

- Distancia para identificación de personas DIURNO: 100 - 120 cm.
- Distancia para identificación de personas NOCTURNO: 30 - 50 cm.
- Nivel de acierto para identificación de personas DIURNO: 90 %.
- Nivel de acierto para identificación de personas NOCTURNOS: 80 %.

5.1.2.3. Pruebas de identificación de billetes

Para la detección de billetes se diseñó un script de Python para solo detectar 5 valores de billetes (antiguos y nuevos) que se posee en nuestro país. El proceso de identificación de billetes se realizó aprovechando que cada billete cuenta con un personaje peruano destacado como se muestra en la figura 81, y que nuestro proyecto cuenta con un rostro que ya tenemos desarrollado para la identificación de personas. Es por ello que vamos a usar el mismo proceso que se muestra en el diagrama de bloques de la figura 83.



Figura 81. Billetes peruanos.

Al realizar otro script para identificación de billetes es necesario realizar otro entrenamiento de clasificador Haar para la detección de billetes peruanos, nos basamos en el diagrama de bloques de la figura 83.

Se realiza una prueba de reconocimiento de rostros antes de agregar nuevos rostros a identificar, obteniendo lo mostrado en la figura 82, sin agregar los nuevos rostros de los billetes, como resultado de la prueba 1 con los billetes peruanos se obtuvo los presentados en la figura 81, es decir, se reconoce el rostro de los personajes de los billetes más aún no se logran identificar el valor o distinguir uno del otro billete.



Figura 82. Billetes peruanos no identificados, con reconocimiento de rostros.

Para poder realizar la identificación del rostro de cada billete y por lo tanto la identificación del mismo, es necesario utilizar el bloque OPCIONAL del diagrama de bloques de la figura 77. Se logran almacenar 450 fotos de cada rostro de billete y guardando en una carpeta con el nombre del valor del billete. Posterior a ello, se realiza nuevamente la ejecución del script para verificar la identificación de billetes peruanos y el resultado se muestra en la figura 84 a diferencia de la figura 82.

La identificación del billete se encuadra de color verde con el valor del mismo en la parte superior izquierda del recuadro, cuando se identifica al billete en 2 ocasiones seguidas en un mínimo tiempo de 2 segundos, entonces se manda una señal de audio para que el usuario pueda escuchar como el diagrama de flujo presentado en la figura 83. Al no identificar o reconocer otro rostro de billete no registrado, no se mandará ningún audio.

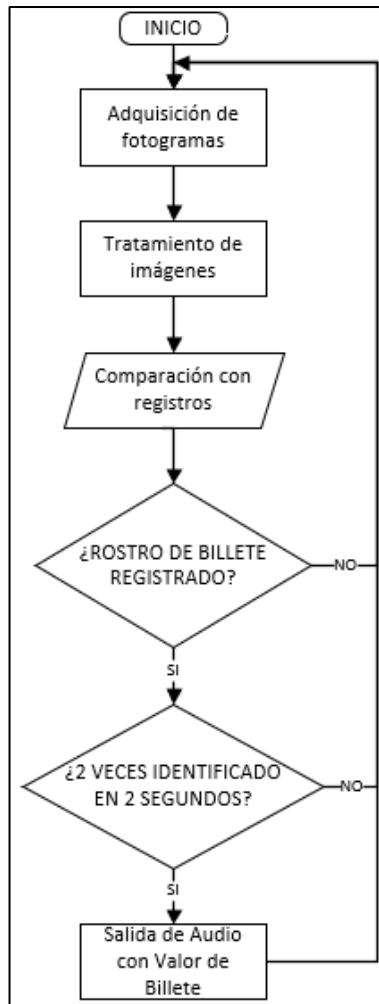


Figura 83. Diagrama de flujo de identificación de billete.



Figura 84. Billetes peruanos identificados.

La identificación de billetes se logró en entornos adecuados e iluminados. El usuario del dispositivo se va a someter a distintos horarios durante el día con poca o demasiada luz artificial o solar, es por ello que se diseñó el dispositivo con leds blancos que varían la intensidad de luminosidad de acuerdo al entorno.

Frente a lo expuesto anteriormente, se realizaron pruebas en horario DIURNO / NOCTURNO con el fin de conocer de identificar parámetros de funcionamiento. A continuación, se presenta la tabla 17 con pruebas realizadas de los 5 billetes en diferentes horarios del día y cuántos de ellos fueron identificados de manera correcta. Es necesario saber el nivel de confianza de la detección de las pruebas realizadas en porcentaje para llegar a una conclusión.

Tabla 17. Identificación de billetes a diferentes distancias.

PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN DE BILLETES PERUANOS A DIFERENTES DISTANCIAS							
N°	N° GRUPAL DE PRUEBA	BILLETE PRESENTADO (SOLES)	DISTANCIA DE MEDICIÓN (cm)	HORARIO	BILLETE DETECTADO (SOLES)	¿COINCIDENCIA? (SI/NO)	PORCENTAJE DE COINCIDENCIA
1	1	10	100	DIURNO	no detectado	NO	0%
2		20		DIURNO	no detectado	NO	
3		50		DIURNO	no detectado	NO	
4		100		DIURNO	no detectado	NO	
5		200		DIURNO	no detectado	NO	
6	2	10	80	DIURNO	no detectado	NO	0%
7		20		DIURNO	no detectado	NO	
8		50		DIURNO	no detectado	NO	
9		100		DIURNO	no detectado	NO	
10		200		DIURNO	no detectado	NO	
11	3	10	60	DIURNO	10	SI	20%
12		20		DIURNO	no detectado	NO	
13		50		DIURNO	no detectado	NO	
14		100		DIURNO	no detectado	NO	
15		200		DIURNO	no detectado	NO	
16	4	10	40	DIURNO	10	SI	80%
17		20		DIURNO	20	SI	
18		50		DIURNO	50	SI	
19		100		DIURNO	no detectado	NO	
20		200		DIURNO	200	SI	
21	5	10	20	DIURNO	10	SI	100%
22		20		DIURNO	20	SI	
23		50		DIURNO	50	SI	
24		100		DIURNO	100	SI	
25		200		DIURNO	200	SI	
26	6	10	10	DIURNO	10	SI	100%
27		20		DIURNO	20	SI	
28		50		DIURNO	50	SI	
29		100		DIURNO	100	SI	
30		200		DIURNO	200	SI	
31	7	10	5	DIURNO	fuera de rango	NO	0%
32		20		DIURNO	fuera de rango	NO	
33		50		DIURNO	fuera de rango	NO	
34		100		DIURNO	fuera de rango	NO	
35		200		DIURNO	fuera de rango	NO	
36	1	10	100	NOCTURNO	no detectado	NO	0%
37		20		NOCTURNO	no detectado	NO	
38		50		NOCTURNO	no detectado	NO	
39		100		NOCTURNO	no detectado	NO	
40		200		NOCTURNO	no detectado	NO	
41	2	10	80	NOCTURNO	no detectado	NO	0%
42		20		NOCTURNO	no detectado	NO	
43		50		NOCTURNO	no detectado	NO	
44		100		NOCTURNO	no detectado	NO	
45		200		NOCTURNO	no detectado	NO	
46	3	10	60	NOCTURNO	no detectado	NO	0%
47		20		NOCTURNO	no detectado	NO	
48		50		NOCTURNO	no detectado	NO	
49		100		NOCTURNO	no detectado	NO	
50		200		NOCTURNO	no detectado	NO	
51	4	10	40	NOCTURNO	no detectado	NO	0%
52		20		NOCTURNO	no detectado	NO	
53		50		NOCTURNO	no detectado	NO	
54		100		NOCTURNO	no detectado	NO	
55		200		NOCTURNO	no detectado	NO	
56	5	10	20	NOCTURNO	10	SI	40%
57		20		NOCTURNO	20	SI	
58		50		NOCTURNO	no detectado	NO	
59		100		NOCTURNO	no detectado	NO	
60		200		NOCTURNO	no detectado	NO	
61	6	10	10	NOCTURNO	10	SI	100%
62		20		NOCTURNO	20	SI	
63		50		NOCTURNO	50	SI	
64		100		NOCTURNO	100	SI	
65		200		NOCTURNO	200	SI	
66	7	10	5	NOCTURNO	fuera de rango	NO	0%
67		20		NOCTURNO	fuera de rango	NO	
68		50		NOCTURNO	fuera de rango	NO	
69		100		NOCTURNO	fuera de rango	NO	
70		200		NOCTURNO	fuera de rango	NO	

En la tabla 17 se observan los datos obtenidos a diferentes medidas de la cámara teniendo un intervalo de 20 cm entre cada medición, además se realizó en 2 horarios de trabajo y obteniendo como resultado porcentajes de coincidencia que indican a que distancia se identificaron los billetes de manera correcta.

A continuación, se muestran las gráficas de las figuras 85 y 86 que corresponden a los resultados de la tabla 17.

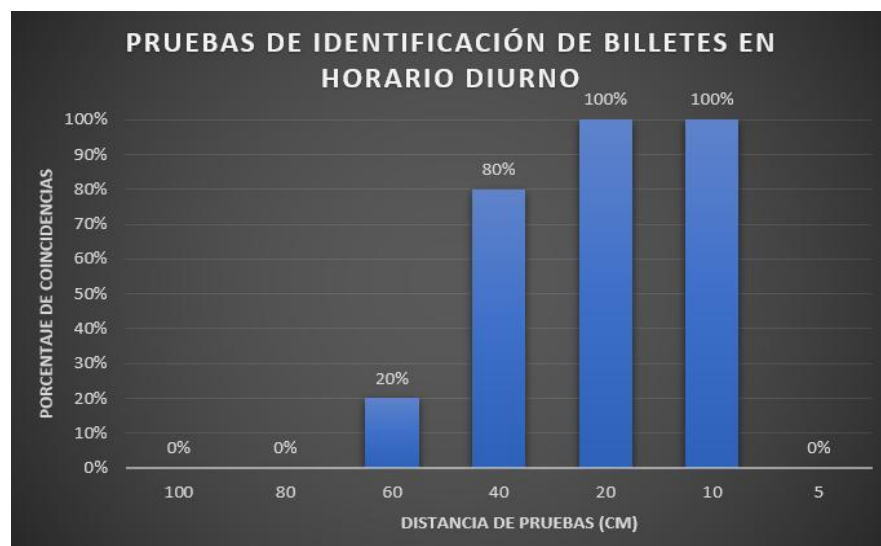


Figura 85. Gráfica de pruebas de identificación de billetes diurno.

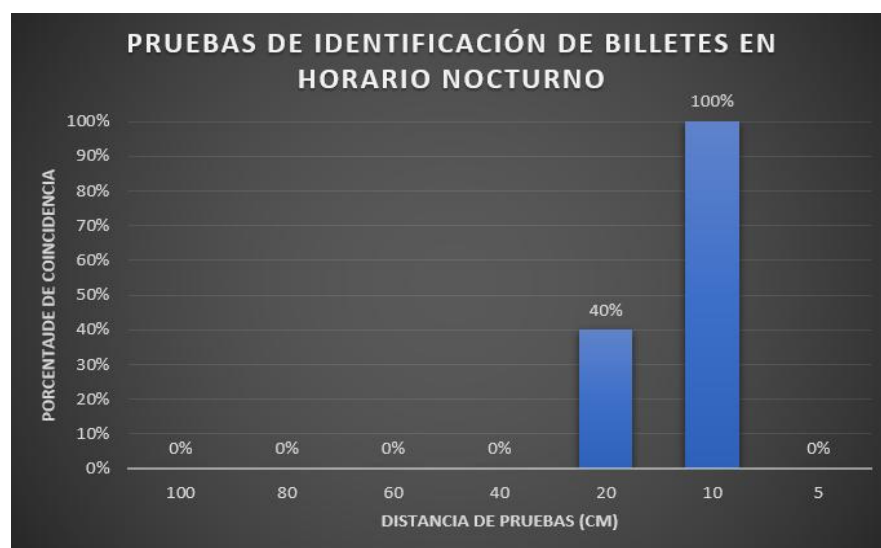


Figura 86. Gráfico de pruebas de identificación de billetes nocturno.

Se observa en la figura 85 que para el horario DIURNO el rango de detección con mayor coincidencia de 100 % es entre 10 - 20 cm. Mientras que para el horario NOCTURNO, como se observa en la figura 86, el rango de detección con mayor coincidencia de 100 % es de 10 cm.

Estos datos o intervalos obtenidos de las pruebas sirven para limitar el sistema a las siguientes medidas a su aplicación. Conociendo las distancias ideales para el funcionamiento 100 % se precisa conocer el NIVEL DE ACIERTO de las identificaciones de billetes. Por lo tanto, es necesario realizar nuevas pruebas de identificación de billetes dentro de los rangos de los horarios DIURNO y NOCTURNO obtenidos de la primera prueba.

A continuación, se muestra la tabla 18 donde se muestran 6 repeticiones de los 5 billetes de las pruebas en el horario DIURNO para obtener un porcentaje de coincidencia por cada repetición. De igual manera se realizan repeticiones de los 5 billetes de las pruebas en el horario NOCTURNO obteniendo porcentajes de coincidencia por cada repetición.

De los porcentajes de coincidencias obtenidos de cada horario de ambas pruebas, se realiza un promedio para obtener el nivel de acierto de la funcionalidad de identificación de billetes, como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. *Pruebas de identificación de billetes.*

PRUEBAS DE IDENTIFICACION DE BILLETES A DISTANCIA MENORES A 20 CM						
N°	N° GRUPAL DE PRUEBA	BILLETE PRESENTADO	HORARIO	BILLETE DETECTADO	¿COINCIDENCIA? (SI/NO)	PORCENTAJE DE COINCIDENCIA
1	1	10	DIURNO	10	SI	100%
2		20	DIURNO	20	SI	
3		50	DIURNO	50	SI	
4		100	DIURNO	100	SI	
5		200	DIURNO	200	SI	
6	2	10	DIURNO	10	SI	80%
7		20	DIURNO	20	SI	
8		50	DIURNO	50	SI	
9		100	DIURNO	100	SI	
10		200	DIURNO	no detectado	NO	
11	3	10	DIURNO	10	SI	100%
12		20	DIURNO	20	SI	
13		50	DIURNO	50	SI	
14		100	DIURNO	100	SI	
15		200	DIURNO	200	SI	
16	4	10	DIURNO	10	SI	100%
17		20	DIURNO	20	SI	
18		50	DIURNO	50	SI	
19		100	DIURNO	100	SI	
20		200	DIURNO	200	SI	
21	5	10	DIURNO	10	SI	80%
22		20	DIURNO	20	SI	
23		50	DIURNO	50	SI	
24		100	DIURNO	100	SI	
25		200	DIURNO	no detectado	NO	
26	6	10	DIURNO	10	SI	100%
27		20	DIURNO	20	SI	
28		50	DIURNO	50	SI	
29		100	DIURNO	100	SI	
30		200	DIURNO	200	SI	
31	1	10	NOCTURNO	10	SI	60%
32		20	NOCTURNO	20	SI	
33		50	NOCTURNO	50	SI	
34		100	NOCTURNO	no detectado	NO	
35		200	NOCTURNO	no detectado	NO	
36	2	10	NOCTURNO	10	SI	100%
37		20	NOCTURNO	20	SI	
38		50	NOCTURNO	50	SI	
39		100	NOCTURNO	100	SI	
40		200	NOCTURNO	200	SI	
41	3	10	NOCTURNO	10	SI	80%
42		20	NOCTURNO	no detectado	NO	
43		50	NOCTURNO	50	SI	
44		100	NOCTURNO	100	SI	
45		200	NOCTURNO	200	SI	
46	4	10	NOCTURNO	no detectado	NO	80%
47		20	NOCTURNO	20	SI	
48		50	NOCTURNO	50	SI	
49		100	NOCTURNO	100	SI	
50		200	NOCTURNO	200	SI	
51	5	10	NOCTURNO	10	SI	80%
52		20	NOCTURNO	20	SI	
53		50	NOCTURNO	50	SI	
54		100	NOCTURNO	100	SI	
55		200	NOCTURNO	no detectado	NO	
56	6	10	NOCTURNO	10	SI	100%
57		20	NOCTURNO	20	SI	
58		50	NOCTURNO	50	SI	
59		100	NOCTURNO	100	SI	
60		200	NOCTURNO	200	SI	

NIVEL DE ACIERTO DIURNO	NIVEL DE ACIERTO NOCTURNO
93.33%	83.33%

De acuerdo a las 2 pruebas realizadas anteriormente, se obtienen limitantes que a continuación se van a describir para el uso adecuado del proyecto que se debe incluir en la capacitación al usuario.

- Distancia para identificación de billetes DIURNO: 10 - 20 cm.
- Distancia para identificación de billetes NOCTURNO: 10 cm.
- Nivel de acierto para identificación de billetes DIURNO: 93 %.
- Nivel de acierto para identificación de billetes NOCTURNOS: 83 %.

5.1.2.4. Pruebas de detección de colores primarios y secundarios

Para la detección de colores se desarrolló un script de Python que tiene la función cerrada de detectar colores primarios y secundarios. El método por usar es mediante la conversión de imágenes a formato HSV y medición de áreas de color. A continuación, en la figura 87 se aprecia un diagrama que bloques que explica paso a paso cada etapa de la detección de colores.

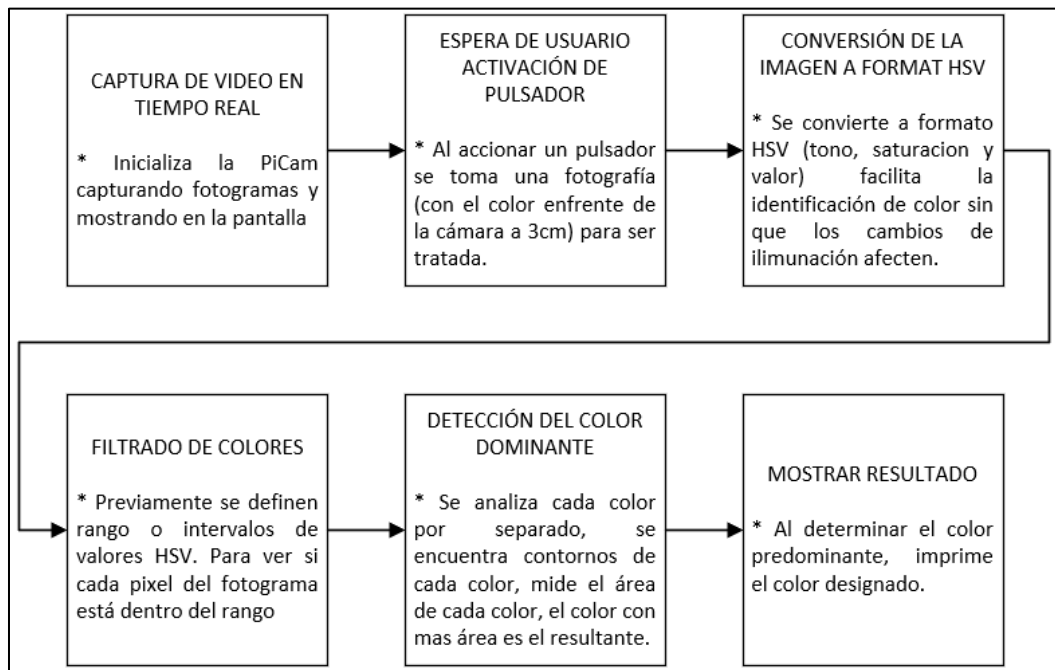


Figura 87. Diagrama de bloques de detección de color.

Recordando las divisiones de los colores, existen múltiples colores y degradados creados a partir de los colores primarios, posterior a ellos la primera combinación de éstos nacen los colores secundarios, es ahí donde nuestra investigación se basa, en la detección de colores primarios y secundarios que son los que se muestran en la figura 88.

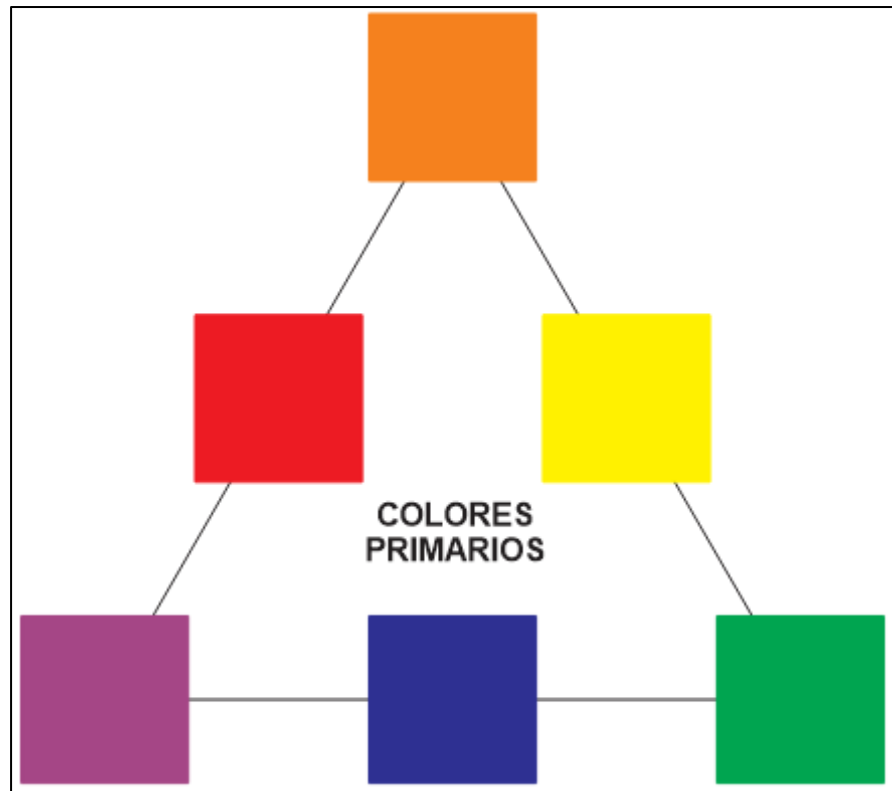


Figura 88. Colores primarios y secundarios.

Al trabajar con el formato HSV, es necesario identificar el rango de los colores mostrados en la figura 88, A continuación, se muestran los valores de los rangos obtenidos de la página Web libre PEKO-STEP de cada color, adicional a ello se consideró la inclusión de los colores Negro y Blanco, debido a que son colores muy comunes en la vida cotidiana. La figura 89 detalla lo antes expuesto.

"rojo":	([170, 150, 100], [180, 255, 255])
"azul":	([100, 100, 100], [140, 255, 255])
"verde":	([40, 50, 50] , [90, 255, 255])
"amarillo":	([20, 100, 100] , [30, 255, 255])
"naranja":	([10, 150, 100] , [25, 255, 255])
"morado":	([140, 100, 100], [160, 255, 255])
"negro":	([0, 0, 0] , [180, 50, 30])
"blanco":	([0, 0, 225] , [180, 30, 255])

Figura 89. Intervalos de colores formato HSV.

Conociendo los valores de los intervalos en HSV y el código desarrollado anteriormente expuesto, es necesario realizar pruebas para verificar en que ambientes la distancia se puede realizar la detección de colores y el nivel de acierto de detección de colores. A continuación, se muestra los resultados de la primera prueba en la tabla 19.

Tabla 19. *Detección de colores a diferentes distancias y horarios.*

PRUEBAS DE DETECCIÓN DE COLORES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS DIFERENTES DISTANCIAS							
N°	N° GRUPAL DE PRUEBA	COLOR PRESENTADO	DISTANCIA DE MEDICIÓN (cm)	HORARIO	COLOR DETECTADO	¿COINCIDENCIA? (SI/NO)	PORCENTAJE DE COINCIDENCIA
1	1	rojo	18	DIURNO	negro	NO	13%
2		amarillo			negro	NO	
3		azul			negro	NO	
4		verde			negro	NO	
5		naranja			negro	NO	
6		morado			negro	NO	
7		blanco			negro	NO	
8		negro			negro	SI	
9	2	rojo	15	DIURNO	negro	NO	25%
10		amarillo			blanco	NO	
11		azul			negro	NO	
12		verde			negro	NO	
13		naranja			negro	NO	
14		morado			negro	NO	
15		blanco			blanco	SI	
16		negro			negro	SI	
17	3	rojo	12	DIURNO	negro	NO	38%
18		amarillo			amarillo	SI	
19		azul			negro	NO	
20		verde			negro	NO	
21		naranja			rojo	NO	
22		morado			negro	NO	
23		blanco			blanco	SI	
24		negro			negro	SI	
25	4	rojo	9	DIURNO	rojo	SI	50%
26		amarillo			amarillo	SI	
27		azul			negro	NO	
28		verde			negro	NO	
29		naranja			rojo	NO	
30		morado			negro	NO	
31		blanco			blanco	SI	
32		negro			negro	SI	
33	5	rojo	6	DIURNO	rojo	SI	88%
34		amarillo			amarillo	SI	
35		azul			azul	SI	
36		verde			verde	SI	
37		naranja			naranja	SI	
38		morado			negro	NO	
39		blanco			blanco	SI	
40		negro			negro	SI	
41	6	rojo	3	DIURNO	rojo	SI	100%
42		amarillo			amarillo	SI	
43		azul			azul	SI	
44		verde			verde	SI	
45		naranja			naranja	SI	
46		morado			morado	SI	
47		blanco			blanco	SI	
48		negro			negro	SI	
49	1	rojo	18	NOCTURNO con luz led 1W	negro	NO	13%
50		amarillo			negro	NO	
51		azul			negro	NO	
52		verde			negro	NO	
53		naranja			negro	NO	
54		morado			negro	NO	
55		blanco			negro	NO	
56		negro			negro	SI	
57	2	rojo	15	NOCTURNO con luz led 1W	negro	NO	13%
58		amarillo			negro	NO	
59		azul			negro	NO	
60		verde			negro	NO	
61		naranja			negro	NO	
62		morado			negro	NO	
63		blanco			negro	NO	
64		negro			negro	SI	
65	3	rojo	12	NOCTURNO con luz led 1W	negro	NO	25%
66		amarillo			negro	NO	
67		azul			negro	NO	
68		verde			negro	NO	
69		naranja			negro	NO	
70		morado			negro	NO	
71		blanco			blanco	SI	
72		negro			negro	SI	
73	4	rojo	9	NOCTURNO con luz led 1W	negro	NO	25%
74		amarillo			negro	NO	
75		azul			negro	NO	
76		verde			negro	NO	
77		naranja			negro	NO	
78		morado			negro	NO	
79		blanco			blanco	SI	
80		negro			negro	SI	
81	5	rojo	6	NOCTURNO con luz led 1W	morado	NO	63%
82		amarillo			amarillo	SI	
83		azul			azul	SI	
84		verde			negro	NO	
85		naranja			rojo	NO	
86		morado			morado	SI	
87		blanco			blanco	SI	
88		negro			negro	SI	
89	6	rojo	3	NOCTURNO con luz led 1W	rojo	SI	75%
90		amarillo			amarillo	SI	
91		azul			azul	SI	
92		verde			azul	NO	
93		naranja			rojo	NO	
94		morado			morado	SI	
95		blanco			blanco	SI	
96		negro			negro	SI	

Se observan en la tabla 19 las pruebas realizadas con 6 repeticiones de los 8 colores en el horario DIURNO / NOCTURNO a distintas distancias con un intervalo de 3 cm cada repetición, además se observa que se realizó un porcentaje de coincidencia en la detección de color a cada distancia, el cual ayudará a decidir los rangos distancia de la detección de color y la precisión.

A continuación, se muestran en las gráficas de las figuras 90 y 91 el porcentaje de coincidencia cada detección de los 8 colores en cada distancia testeada de cada horario.

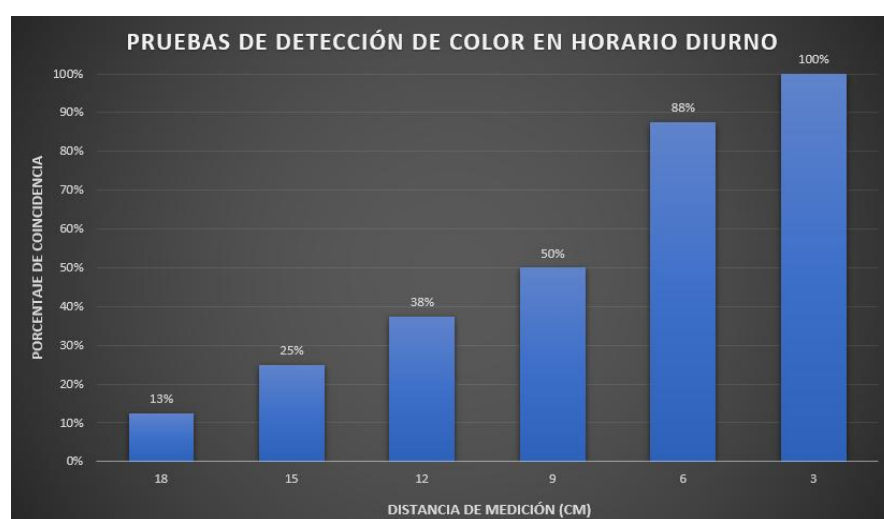


Figura 90. Gráfica de detección de color horario diurno.

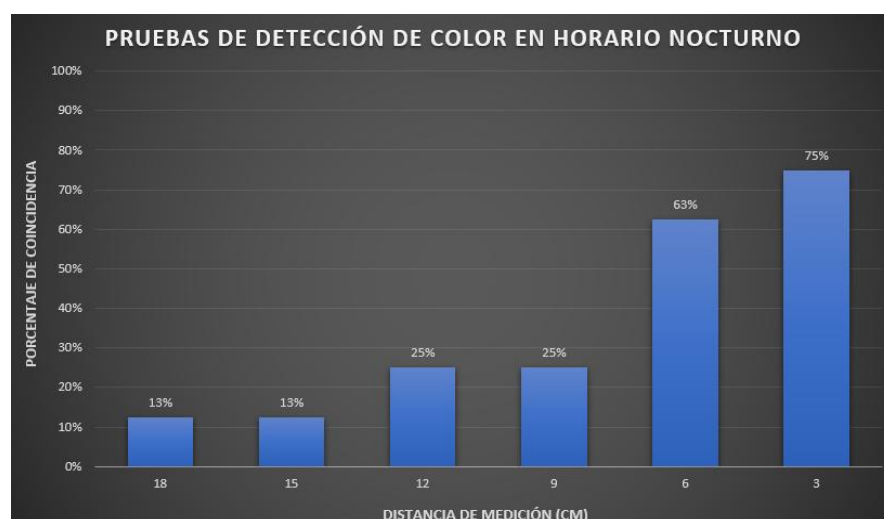


Figura 91. Gráfico de detección de color horario nocturno.

De las gráficas anteriores, tenemos el porcentaje de coincidencia que varía para cada horario, por lo que vamos a basarnos en 2 horarios y aquella distancia que obtuvo mayor coincidencia para garantizar una buena detección de colores durante su funcionamiento diario.

Para el horario DIURNO el valor más alto es 100 % de coincidencia a una distancia 3 cm y para el horario NOCTURNO el valor más alto es 75 % de coincidencia una distancia de 3 cm. Posterior a ello, se realizó una segunda prueba con la finalidad de obtener el nivel de acierto de cada HORARIO en la distancia de 3 cm para cada uno.

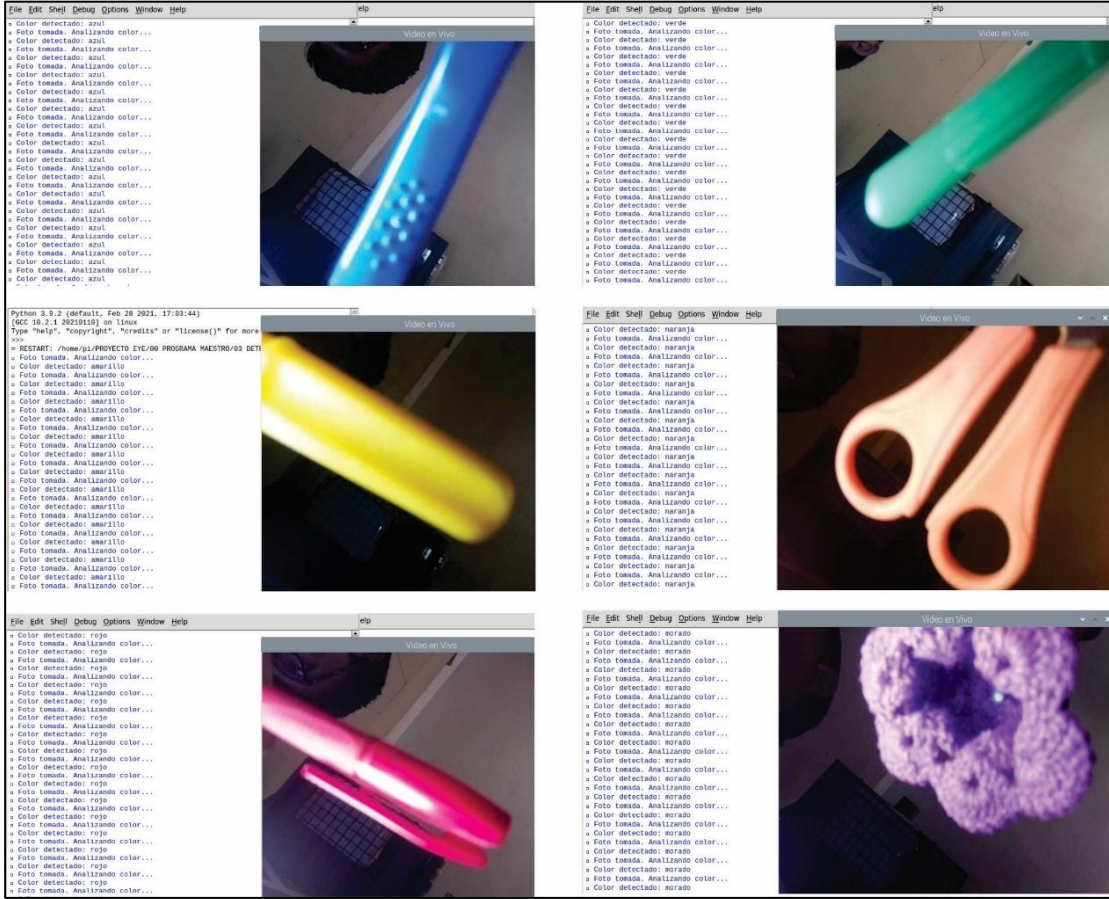


Figura 92. Detección de colores.

En la figura 92 se muestra la detección de colores primario y secundario, posterior a ello se realizaron las pruebas expuestas en la tabla 20.

Tabla 20. Pruebas de detección de colores a 3 cm.

PRUEBAS DE DETECCIÓN DE COLORES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS A 3CM							
N°	N° GRUPAL DE PRUEBA	COLOR PRESENTADO	HORARIO	COLOR DETECTADO	¿COINCIDENCIA? (SI/NO)	PORCENTAJE DE COINCIDENCIA	
1	1	rojo	DIURNO	rojo	SI	100%	NIVEL DE ACIERTO DIURNO 93.75%
2		amarillo	DIURNO	amarillo	SI		
3		azul	DIURNO	azul	SI		NIVEL DE ACIERTO NOCTURNO 79.17%
4		verde	DIURNO	verde	SI		
5		naranja	DIURNO	naranja	SI		
6		morado	DIURNO	morado	SI		
7		blanco	DIURNO	blanco	SI		
8		negro	DIURNO	negro	SI		
9	2	rojo	DIURNO	rojo	SI	88%	
10		amarillo	DIURNO	amarillo	SI		
11		azul	DIURNO	azul	SI		
12		verde	DIURNO	verde	SI		
13		naranja	DIURNO	naranja	SI		
14		morado	DIURNO	rojo	NO		
15		blanco	DIURNO	blanco	SI		
16		negro	DIURNO	negro	SI		
17	3	rojo	DIURNO	rojo	SI	100%	
18		amarillo	DIURNO	amarillo	SI		
19		azul	DIURNO	azul	SI		
20		verde	DIURNO	verde	SI		
21		naranja	DIURNO	naranja	SI		
22		morado	DIURNO	morado	SI		
23		blanco	DIURNO	blanco	SI		
24		negro	DIURNO	negro	SI		
25	4	rojo	DIURNO	rojo	SI	100%	
26		amarillo	DIURNO	amarillo	SI		
27		azul	DIURNO	azul	SI		
28		verde	DIURNO	verde	SI		
29		naranja	DIURNO	naranja	SI		
30		morado	DIURNO	morado	SI		
31		blanco	DIURNO	blanco	SI		
32		negro	DIURNO	negro	SI		
33	5	rojo	DIURNO	rojo	SI	75%	
34		amarillo	DIURNO	amarillo	NO		
35		azul	DIURNO	azul	SI		
36		verde	DIURNO	verde	SI		
37		naranja	DIURNO	rojo	NO		
38		morado	DIURNO	morado	SI		
39		blanco	DIURNO	blanco	SI		
40		negro	DIURNO	negro	SI		
41	6	rojo	DIURNO	rojo	SI	100%	
42		amarillo	DIURNO	amarillo	SI		
43		azul	DIURNO	azul	SI		
44		verde	DIURNO	verde	SI		
45		naranja	DIURNO	naranja	SI		
46		morado	DIURNO	morado	SI		
47		blanco	DIURNO	blanco	SI		
48		negro	DIURNO	negro	SI		
49	1	rojo	NOCTURNO	rojo	SI	88%	
50		amarillo	NOCTURNO	amarillo	SI		
51		azul	NOCTURNO	azul	SI		
52		verde	NOCTURNO	verde	SI		
53		naranja	NOCTURNO	rojo	NO		
54		morado	NOCTURNO	morado	SI		
55		blanco	NOCTURNO	blanco	SI		
56		negro	NOCTURNO	negro	SI		
57	2	rojo	NOCTURNO	rojo	SI	75%	
58		amarillo	NOCTURNO	amarillo	SI		
59		azul	NOCTURNO	azul	SI		
60		verde	NOCTURNO	azul	NO		
61		naranja	NOCTURNO	rojo	NO		
62		morado	NOCTURNO	morado	SI		
63		blanco	NOCTURNO	blanco	SI		
64		negro	NOCTURNO	negro	SI		
65	3	rojo	NOCTURNO	rojo	SI	63%	
66		amarillo	NOCTURNO	amarillo	SI		
67		azul	NOCTURNO	azul	SI		
68		verde	NOCTURNO	azul	NO		
69		naranja	NOCTURNO	rojo	NO		
70		morado	NOCTURNO	morado	SI		
71		blanco	NOCTURNO	negro	NO		
72		negro	NOCTURNO	negro	SI		
73	4	rojo	NOCTURNO	rojo	SI	88%	
74		amarillo	NOCTURNO	amarillo	SI		
75		azul	NOCTURNO	azul	SI		
76		verde	NOCTURNO	verde	SI		
77		naranja	NOCTURNO	rojo	NO		
78		morado	NOCTURNO	morado	SI		
79		blanco	NOCTURNO	blanco	SI		
80		negro	NOCTURNO	negro	SI		
81	5	rojo	NOCTURNO	rojo	SI	88%	
82		amarillo	NOCTURNO	amarillo	SI		
83		azul	NOCTURNO	azul	SI		
84		verde	NOCTURNO	negro	NO		
85		naranja	NOCTURNO	naranja	SI		
86		morado	NOCTURNO	morado	SI		
87		blanco	NOCTURNO	blanco	SI		
88		negro	NOCTURNO	negro	SI		
89	6	rojo	NOCTURNO	rojo	SI	75%	
90		amarillo	NOCTURNO	amarillo	SI		
91		azul	NOCTURNO	azul	SI		
92		verde	NOCTURNO	azul	NO		
93		naranja	NOCTURNO	rojo	NO		
94		morado	NOCTURNO	morado	SI		
95		blanco	NOCTURNO	blanco	SI		
96		negro	DIURNO	negro	SI		

De acuerdo a las 2 pruebas realizadas anteriormente se obtienen limitantes que a continuación se van a describir para el uso adecuado del proyecto que se debe incluir en la capacitación al usuario para la detección de colores.

- Distancia para detección colores DIURNO: 3 cm.
- Distancia para detección colores NOCTURNO: 3 cm.
- Nivel de acierto para detección colores DIURNO: 93.75 %.
- Nivel de acierto para detección colores NOCTURNOS: 79.17 %.

5.1.2.5. Detección de obstáculos con sensor láser

Los láser son dispositivos que se basan en la mecánica cuántica, emisión inducida para poder generar ondas luminosas coherentes llamada luz coherente permitiendo que el haz de luz se mantenga concentrado, poseen gran intensidad de brillo, son monocromáticos, alta intensidad (muchas energía en un punto pequeño), polarización controlada, direccionalidad, 2 formas de trabajo continuo o pulsantes. Mencionadas características del láser, hacen que sean aplicados para distintos trabajos como: corte, cirugía, grabado, sensores de medición de distancias cortas, terapias, soldadura, proyectores láser, fusión nuclear con láser, uso militar miras y telémetros, punteros láser etc.

Una de las funciones del láser es la medición de distancias cortas mediante sensores, existen métodos a usar para que los sensores láser pero los principales métodos es la triangulación y el ToF (Time-Of-Flight). Para el desarrollo del proyecto usaremos el ToF que emite un haz estrecho de luz que viaja hacia algún objeto que se desea medir la distancia y rebota el haz de luz retornando al receptor, dicho tiempo se mide para calcular la distancia real.

El cálculo de la conversión de tiempo de vuelo de retorno de láser a distancia es directo, como se muestra en la figura 93.

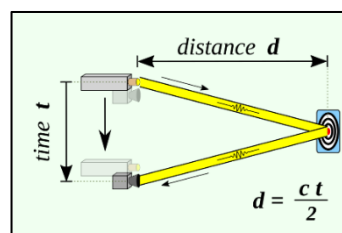


Figura 93. Fórmula de conversión de tiempo de vuelo láser a distancia.

Fuente: Yellowscan (34).

El sensor láser VL53L0X es un sensor de distancia de precisión y está basado en láser y comunicación I2C, es por ello que vamos a realizar un código base para verificar la medición de distancia de 1 sensor láser, mencionado código se muestra en la figura 94, desarrollado en Arduino.

```
#include <Wire.h>

#define VL53L0X_ADDR 0x29 // Dirección I2C del VL53L0X
#define SYSRANGE_START 0x00
#define RESULT_RANGE_STATUS 0x14
#define TIME_OF_FLIGHT 0x1C // Registro del tiempo de vuelo en microsegundos

#define SPEED_OF_LIGHT 299702547 // Velocidad de la luz en m/s

void writeRegister(uint8_t reg, uint8_t value) {
    Wire.beginTransmission(VL53L0X_ADDR);
    Wire.write(reg);
    Wire.write(value);
    Wire.endTransmission();
}

uint16_t readRegister16(uint8_t reg) {
    Wire.beginTransmission(VL53L0X_ADDR);
    Wire.write(reg);
    Wire.endTransmission(false);
    Wire.requestFrom(VL53L0X_ADDR, (uint8_t)2);
    uint16_t value = (Wire.read() << 8) | Wire.read();
    return value;
}

void startMeasurement() {
    writeRegister(SYSRANGE_START, 0x01); // Iniciar medición
}

float getDistance() {
    delay(20); // Esperar medición (~20ms)
    uint16_t timeOfFlight = readRegister16(TIME_OF_FLIGHT); // Tiempo de vuelo en microsegundos
    float distance = (timeOfFlight * (SPEED_OF_LIGHT / 2.0)) / 1000000.0; // Convertir a mm
    return distance;
}

void setup() {
    Wire.begin();
    Serial.begin(115200);
    startMeasurement();
}

void loop() {
    float distance = getDistance();
    Serial.print("Distancia: ");
    Serial.print(distance);
    Serial.println(" mm");
    delay(100);
}
}
```

Figura 94. Código de adquisición de distancia desde un haz de luz láser.

Se realizaron pruebas de medición con respecto a la medición dada del sensor y la distancia real medida por un flexómetro, se realizaron 20 pruebas en un rango de 10 cm - 200 cm debido a que la medida máxima para nuestra investigación es de 150 cm. Se obtuvieron datos que se presentan en la tabla 21, donde se expresa también el porcentaje de error.

Tabla 21. *Pruebas de medición de distancias hacia un objeto.*

PRUEBA DE MEDICIÓN DE DISTANCIAS SENSOR LÁSER			
Nº	Distancia Medida Real de muestra (cm)	Distancia Obtenida Láser (cm)	Porcentaje Error
1	Fuera de Rango	10	-
2	20.0	17.95	11.42%
3	30.0	28.47	5.37%
4	40.0	39.28	1.83%
5	50.0	47.59	5.06%
6	60.0	58.21	3.08%
7	70.0	66.45	5.34%
8	80.0	78.94	1.34%
9	90.0	89.12	0.99%
10	100.0	96.40	3.73%
11	110.0	106.27	3.51%
12	120.0	117.05	2.52%
13	130.0	126.21	3.00%
14	140.0	136.89	2.27%
15	150.0	148.25	1.18%
16	160.0	156.17	2.45%
17	170.0	167.09	1.74%
18	180.0	177.14	1.61%
19	190.0	188.46	0.82%
20	200.0	196.85	1.60%

Se observa que las medidas dadas por el sensor de láser tienen un mínimo porcentaje de error, demostrando que el sensor VL53L0X brinda mediciones son precisas, pero no tan exactas.

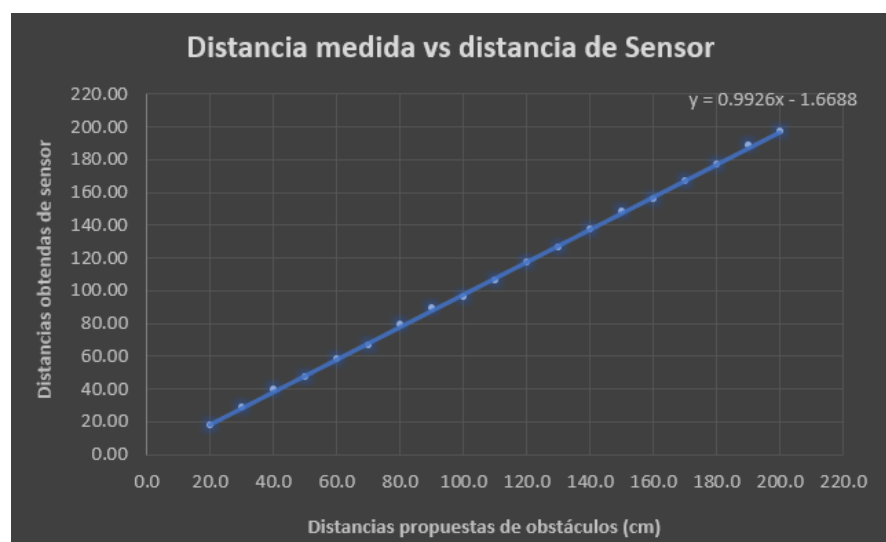


Figura 95. Gráfica de distancia sensor láser vs distancia real.

Según la gráfica mostrada, los datos tienen una tendencia lineal de las medidas obtenidas y las reales son prácticamente iguales. Se observa que entre el rango de 20 cm - 150 cm las medidas no varían y su comportamiento es lineal, asegurando y garantizando la medición precisa del sistema.

El sensor láser VL53L0X, según su datasheet (hoja de datos), el ángulo de apertura de trabajo es de 15°, por lo que a 150 mm se abre dicho ángulo y cubre cierta distancia que es necesaria conocer.

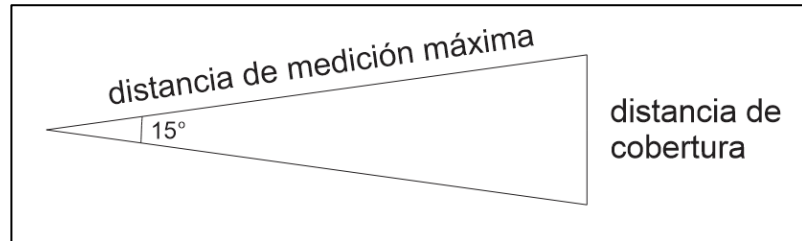


Figura 96. Ángulo de distancia de cobertura.

$$D = 2 * d * \tan \frac{\theta}{2}$$

$$D = 2 * 150 * \tan \frac{15^\circ}{2}$$

$$D = 39.5 \text{ cm}$$

Del resultado obtenido 39.5 mm que es 3.95 cm de cobertura para la detección de obstáculos frente al usuario. Se propuso para el desarrollo del proyecto la disposición de 3 sensores.

$$3.95 \text{ cm} * 3 = 11.85 \text{ cm}$$

De la suma obtenida se obtuvo 11.85 cm de cobertura al frente del usuario, lo cual indica que se tiene que hacer una disposición de los 3 sensores para cubrir una mayor distancia.

Según un estudio realizado en cuanto a rotación cervical en hombre y mujeres, se obtuvo resultados promedios expresados en las gráficas mostradas en las figuras 97 y 98.

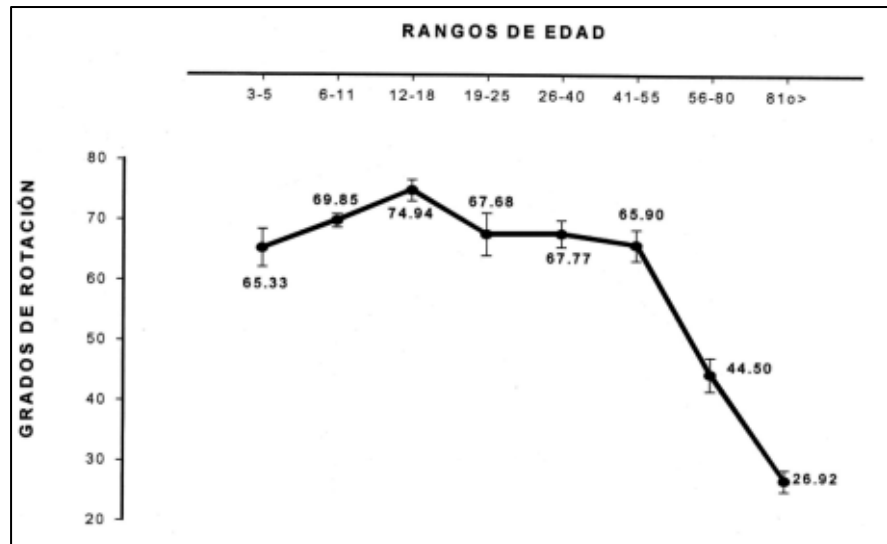


Figura 97. Promedios de rotación c ervico-capital en mujeres.

Fuente: Duque *et al.* (35).

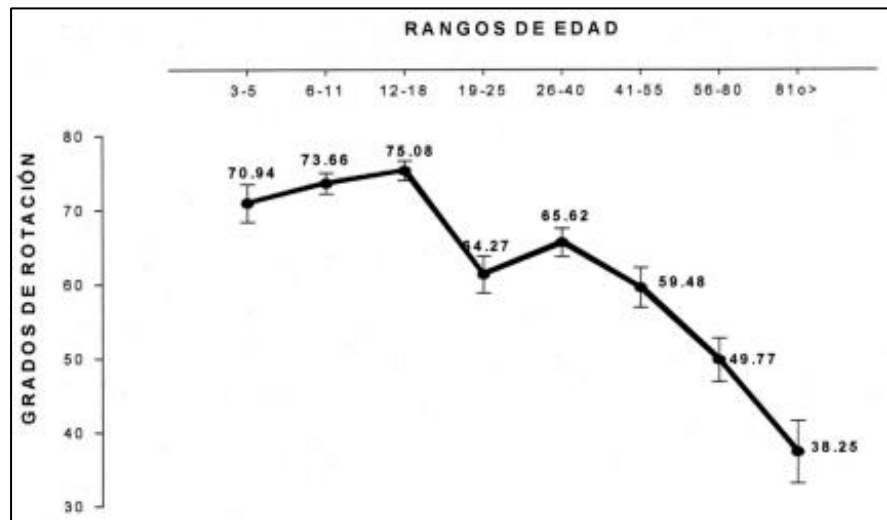


Figura 98. Promedio de rotación c ervico-capital en hombres.

Fuente: Duque *et al.* (35).

Como resultado de la mencionada investigación (35), se indica que el ángulo de rotación promedio del cuello para hombres y mujeres es de 60 a 80 grados. Dicha conclusión de la investigación nos brinda mayor alcance para cubrir mayor ángulo de testeo de los sensores y por consiguiente mayor cobertura de censado de obstáculos frente al usuario.

En la figura 99 se aprecia a una persona dentro de un diámetro de cobertura de 150 cm con un solo sensor. La línea roja indica 15  y 3.95 cm de cobertura de detección de objetos para el uso de un sensor, lo cual es completamente deficiente.

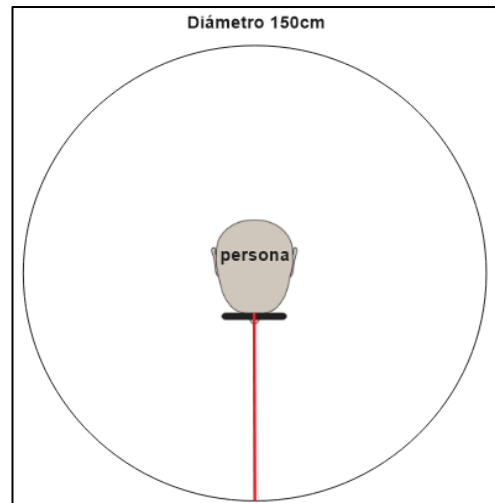


Figura 99. Persona con un solo sensor en las gafas.

En la figura 99 se aprecia una persona que cubre un mayor ángulo de detección de obstáculos, la línea roja indica el sensor láser y las líneas celestes movimiento del haz de luz del sensor al rotar el cuello cumpliendo con el límite de 60° de los estudios realizados (35). Anteriormente, se explicó que se trabajaría con 3 sensores, la siguiente prueba será con 3 sensores sumado a la rotación del cuello de 60° .

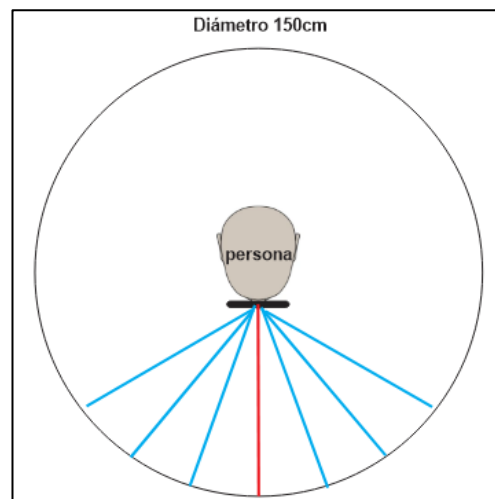


Figura 100. Persona con un sensor, con ángulo de rotación del cuello 60° .

Para la disposición de los 3 sensor láser y considerando los 15° de apertura, se dispondrá a la misma altura y al lado izquierdo, central y derecho de las gafas con una variación de 20° cada uno como se muestra en la figura 101 las líneas de color rojo. Y las líneas de color celeste son la representación de los 3 sensores a una rotación del cuello de 60° logrando una mayor cobertura de ángulo para la detección de obstáculos y evitar que el usuario choque con cualquier de ellos.

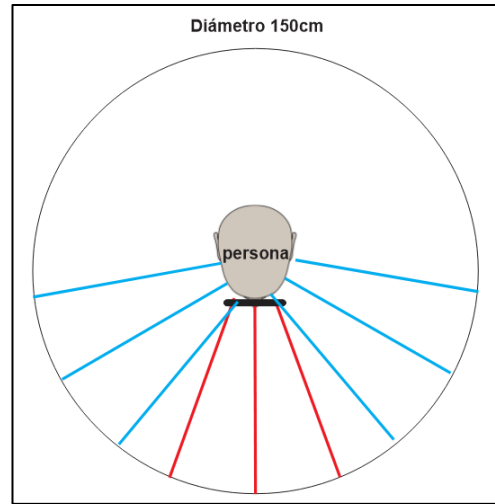


Figura 101. Persona con 3 sensores láser y ángulo de rotación de 60°.

El ángulo de rotación del cuello es de 60° y mediante la distribución de los 3 sensores a 20° cada uno, el ángulo aumenta a 80° a ambos lados, es decir:

$$80^\circ + 80^\circ = 160^\circ$$

La disposición de sensores cuando el individuo está mirando hacia adelante es de:

$$7.5^\circ + 20^\circ + 20^\circ + 7.5^\circ = 55^\circ$$

Para la distancia de cobertura de los 3 sensores en una posición de la cabeza es de:

$$D = 2 * d * \tan \frac{\theta}{2}$$

$$D = 15.6 \text{ m}$$

De la suma obtenida y a disposición y cálculos de ángulos de medición se obtiene 160° sumado a 7.5° lado derecho y 7.5° lado izquierdo de cobertura de detección de obstáculos se obtiene:

$$\text{Ángulo de cobertura de censado} = 7.5^\circ + 80^\circ + 80^\circ + 7.5^\circ$$

$$\text{Ángulo de cobertura de censado} = 175^\circ$$

De las pruebas y cálculos realizados se concluye que:

- Distribución de 3 sensores ángulo de desfase: 20°.
- Ángulo mínimo de cobertura para detección de obstáculos: 55°.
- Ángulo máximo de cobertura para detección de obstáculos: 175°.

5.1.2.6. Pruebas de conversión de texto a voz

Para la buena relación del usuario con discapacidad visual con el dispositivo diseñado se consideraron señales de audio, es por ello que, conociendo la capacidad del microcomputador utilizado y la versatilidad de Python, se diseñó un script que realice la conversión de TEXTO A AUDIO de las funciones de reconocimiento de rostros de personas, reconocimiento de billetes y detección de colores. De igual manera, la presencia de obstáculos con datos enviados desde las gafas hacia el dispositivo maestro.

Las señales de audio se plantearon de 2 maneras altavoz y salida mediante auricular alámbrico del tipo de entrada de plug de 3 mm.

Python cuenta con librerías que ayudan a la función de lo planteado de conversión de texto a voz. A continuación, se describirán algunas librerías de Python disponibles que realicen la conversión de texto a voz sin conexión a internet:

- Espeak: liviano y rápido, baja calidad de audio.
- Pyttsx3: liviano y voz robótica, baja calidad de audio.
- Pico2wave: sistema mejorado que Espeak, media calidad de audio.
- Coqui TTS: alto consumo de recursos de CPU y RAM ralentiza la RPI.

De los ejemplos planteados, vamos a elegir aquella librería que mantenga una calidad media de conversión de texto a audio para no sobrecargar el sistema con los 4 scripts que posee el sistema para su funcionamiento.

Características de librería PCO2WAVE:

Ventajas:

- Funciona sin conexión a internet.
- Ligero y eficiente.
- Bajo consumo de recursos.
- Calidad de audio media.
- Soporta los idiomas: Español, Alemán, Francés, Inglés e Italiano.
- Conversión fluida de a archivo audio.
- Instalación sencilla.

Limitaciones:

- Voz sintética, es decir robotizada.

- Poco soporte de idiomas.
- No hay opciones avanzadas de personalización.

Se conoce las ventajas y limitaciones de la librería, dentro de ellas con respecto a las limitaciones no son impedimento para la funcionalidad del proyecto. Con respecto a las ventajas se apega a lo que se busca de para el proyecto: calidad media y eficiencia de bajo consumo de recursos de procesamiento, memoria y almacenamiento de la librería.

A continuación, se muestra en la figura 102 la adquisición de datos de los diferentes modos de trabajo que son gobernados por un selector de 3 estados y como se relacionan en la conversión de datos de texto a audio para poder informar al usuario.

El script desarrollado para este proceso será gobernado por el diagrama de flujo presentado en la figura 102.

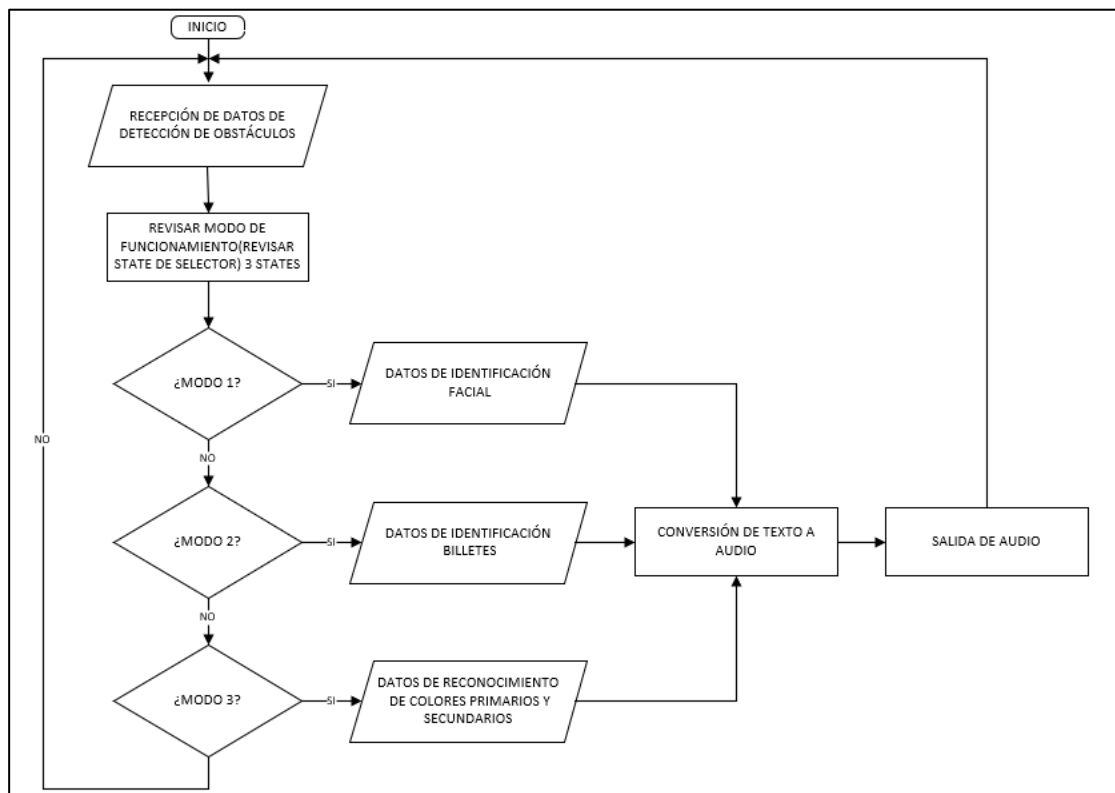


Figura 102. Diagrama de flujo 4 funciones y salida a audio.

5.2. Resultados

A continuación, se muestra en la figura 103 el prototipo de las gafas culminadas con la funcionalidad de acuerdo a las pruebas realizadas y parámetros definidos según cálculos en el ítem 5.1.



Figura 103. Prototipo de gafas para personas invidentes.

Las restricciones del prototipo se describen a continuación en la tabla 22. En todo momento se garantiza el ideal funcionamiento teniendo en cuenta lo siguiente.

Tabla 22. Resultados de las pruebas.

IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS	
1	Distancia para Identificación de Personas horario DIURNO 100cm - 120cm
2	Nivel de Acierto para Identificación de Personas horario DIURNO 90%
3	Distancia para Identificación de Personas horario NOCTURNO 30cm - 50cm
4	Nivel de Acierto para Identificación de Personas horario NOCTURNO 80%
IDENTIFICACIÓN DE BILLETES	
1	Distancia para Identificación de Billetes horario DIURNO 10cm - 20cm
2	Nivel de Acierto para Identificación de Billetes horario DIURNO 93%
3	Distancia para Identificación de Billetes horario NOCTURNO 10cm
4	Nivel de Acierto para Identificación de Billetes horario NOCTURNO 83%
DETECCIÓN DE COLORES	
1	Distancia de Detección de Colores horario DIURNO 3cm
2	Nivel de Acierto para Detección de Colores horario DIURNO 93.75%
3	Distancia de Detección de Colores horario DIURNO 3cm
4	Nivel de Acierto para Detección de Colores horario NOCTURNO 79.71%
DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS	
1	Distribución de 3 sensores, ángulo de desfase entre c/u 20° (gafas)
2	Ángulo mínimo rango de medición para detección de obstáculos 55°
3	Ángulo máximo rango de medición para detección de obstáculos 175°

Seguidamente, se va a mostrar una prueba de funcionalidad completa del prototipo con una persona voluntaria, desde el arranque de script general, funciones y terminales, modos de funcionamiento y detección de colores.

Arranque de script - código general:

Para el inicio de la script, es necesario realizar desde la terminal de Debian y con el comando “sudo” (Super User SO) que indica un comando de “super-usuario” que permite acceder a los privilegios de administrados del sistema, esto debido a que se están usando comandos de comunicación UART, manejo de puerto CSI y GPIO de la Raspberry Pi.

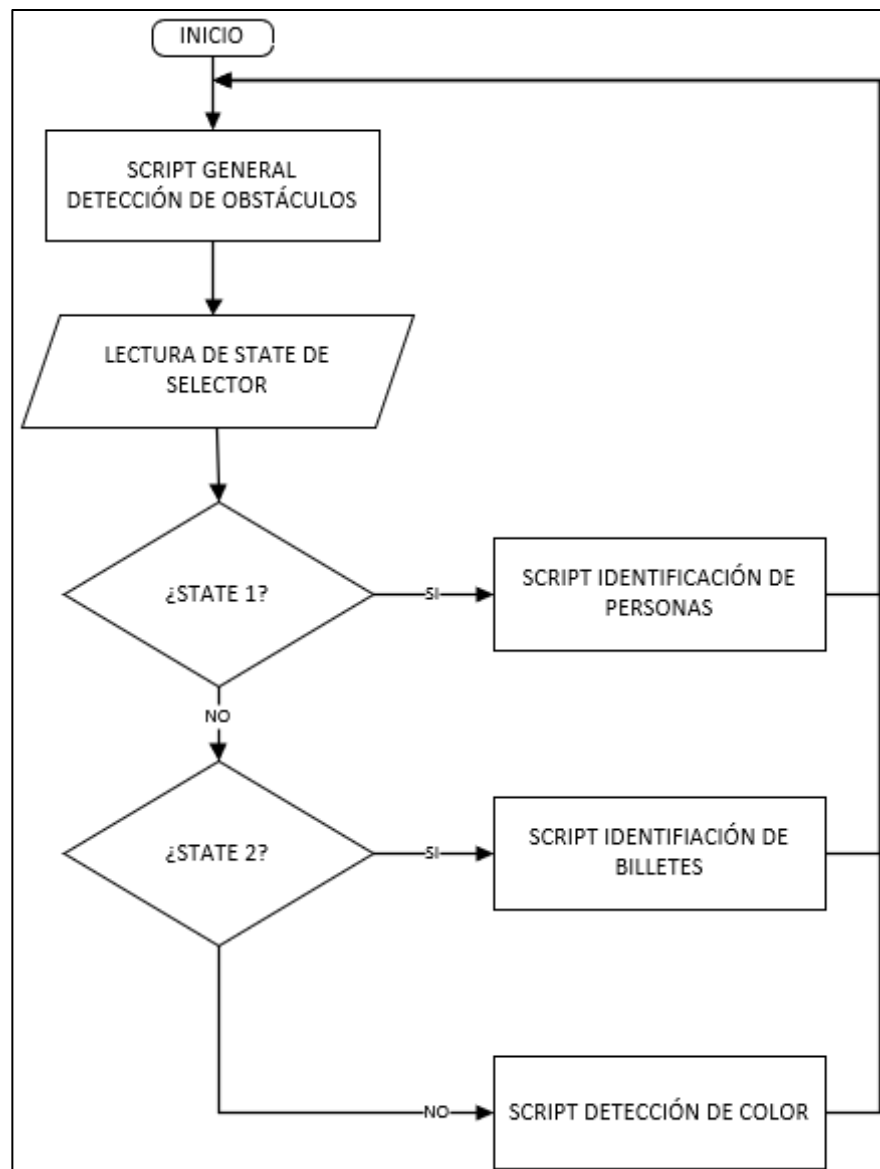


Figura 105. Script general y script secundario.

Detección de personas - STATE 1 del selector:

Al iniciar el script secundario STATE 1 se emite una señal de audio indicando el modo de funcionamiento actual.

En la figura 106, se muestra el encuadre correcto al identificar a una persona registrada con las 450 fotos en el proceso de entrenamiento.

Se tiene que reconocer 2 veces en menos de 2 segundos para poder emitir la señal de audio que indica si una persona está en frente del usuario o no, mencionada lógica podemos apreciar en la figura 102.

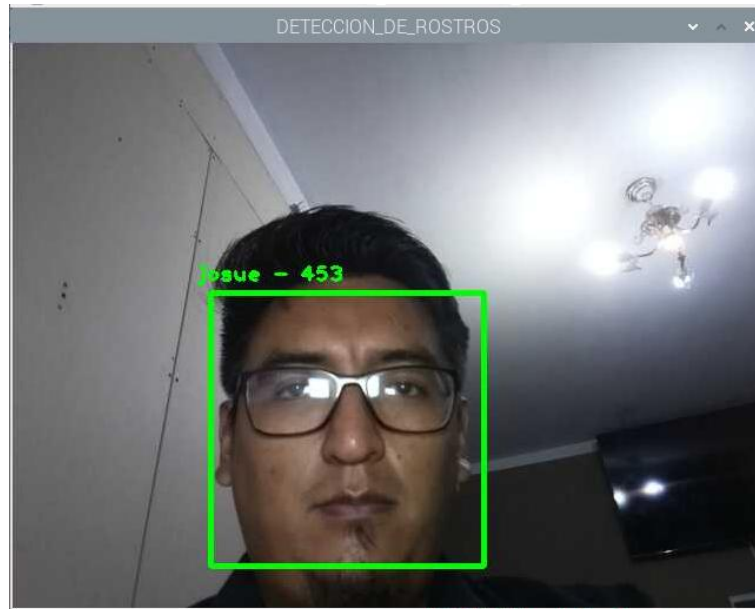


Figura 106. Identificación del rostro de Josué.

Detección de billetes - STATE 2 del selector:

Al iniciar el script secundario STATE 2 se emite una señal de audio indicando el modo de funcionamiento actual.

En la figura 107 se muestra el proceso de registro del billete en la base de datos para posteriormente identificar este billete en particular. Cuando se realiza el proceso de adición de un nuevo billete o persona el encuadre se muestra de color rojo sin ningún texto, eso indica que se están tomando fotografías del rostro para tener en el registro. Para el proceso de adición se recomienda realizar las fotos en distintas variaciones de intensidad de luz.

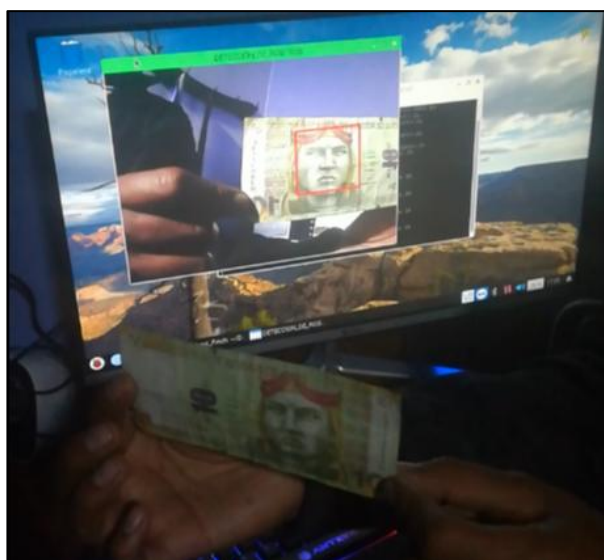


Figura 107. Terminal - activación y llamado de código.

Posterior a ello, se reinicia el script general para considerar el nuevo billete y persona según el modo de funcionamiento seleccionado.

En la figura 108 se muestra a una persona vidente voluntaria que cuenta con el kit completo del proyecto para realizar las pruebas necesarias si el registro del proceso anterior identifica al billete. Se realizaron las pruebas en un ambiente iluminado comprobando los 5 billetes.



Figura 108. Prueba de reconocimiento de billetes.

En la figura 109, se muestra la capacidad de reconocimiento y adecuado registro del billete. Se muestra a diferencia de la figura 106 que el cuadro que rodea la imagen es de color verde, que indica el reconocimiento del billete de 10 soles y que el proceso de adición es el correcto.



Figura 109. Identificación correcta del billete.

En la figura 110 se realizó la función de detección de colores y se aprecia la detección de un plumón de color verde.

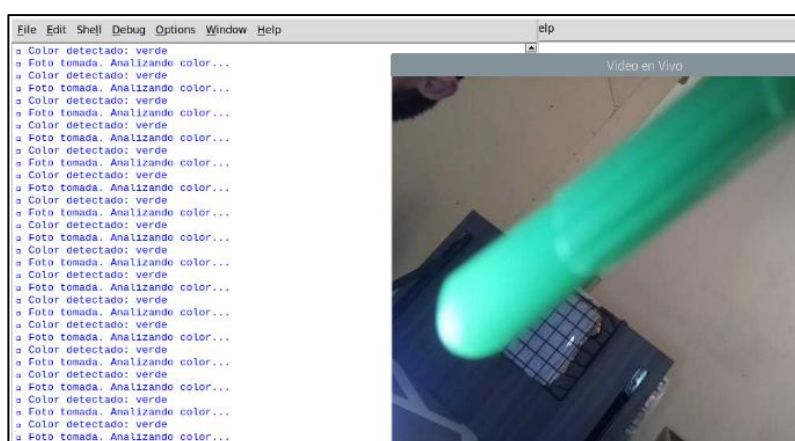


Figura 110. Detección de color verde.

Detección de obstáculos:

El código de programación para la detección de obstáculos se encuentra en el script general, debido a que constantemente se está censando la presencia de obstáculos frente y a la altura de la cabeza el usuario.

Respecto a la detección de obstáculos, en la figura 111 se puede observar a una persona voluntaria usando las gafas de detección de obstáculos para no impactar con muros y obstáculos dentro de una habitación. Debido al amplio ángulo de detección de obstáculos (suma la rotación de la cabeza) el usuario logra evadir los obstáculos.



Figura 111. Persona voluntaria pruebas de obstáculos.

Kit completo de prototipo desarrollado:

El kit completo cuenta con correas de sujeción en la cabeza para las gafas y sujeción a la altura del pecho para el procesamiento de visión por computador. Mencionada sujeción es de nylon para evitar daños al usuario.

En la figura 112 se aprecia el dispositivo maestro y esclavo colocados de manera correcta en una persona voluntaria, durante los resultados se probaron en conjunto scripts desarrollados para verificar el funcionamiento del sistema en general.

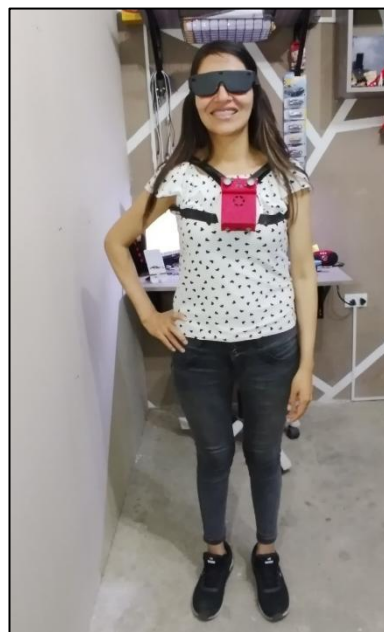


Figura 112. Usuario voluntario para las pruebas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. Se diseñó e implementó un sistema inteligente en el software desarrollado en programa estructurado Python 3.9 con la ayuda de la librería OpenCv 4.5.1, que cumple con las exigencias de Inteligencia Artificial, específicamente la detección, reconocimiento e identificación de rostros de individuos previamente entrenados; de igual manera, se logró implementar el reconocimiento de billetes peruanos en tiempo real. Este sistema es de gran ayuda para la persona no vidente, ya que le facilita el reconocimiento de personas de su entorno, la denominación de un billete que pueda recibir y en la selección del color de prendas que desee usar, facilitando así su desenvolvimiento diario.
2. Se implementó el prototipo de gafas con las funciones descritas anteriormente para el uso de las personas con discapacidad visual, en un lente que cumple con las características mecánicas, electrónicas y de control requeridas. Estas gafas cuentan con sensores láser VL53L0X que brinda mayor fiabilidad en comparación con sensores infrarrojos y ultrasónicos. Con estos tres sensores, dispuestos estratégicamente, logramos un ángulo de detección de 175°, ampliando gracias al movimiento lateral de la cabeza y una distancia de detección de obstáculos de hasta 150 cm demostrando así la eficacia del software en detección de obstáculos y el gran apoyo que brinda a una persona invidente.
3. El software que se desarrolló según las pruebas realizadas tiene el nivel de seguridad en reconocimiento facial e identificación de billetes en un 90 %; durante el día y de un 80 % durante un horario nocturno, además el minicomputador utilizado cuenta con una velocidad de 1.8 GHz en su procesador, por lo que el funcionamiento del sistema con respecto a la Inteligencia Artificial tiene un retraso de 1.5 segundos en sus procesos. Actualmente la tecnología que se brinda en el mercado se encuentra en desarrollo, así que según el avance de la tecnología se podría eliminar este tiempo muerto de 1.5 segundos y considerar reducir prototipos, haciéndolos cada vez más ergonómicos.
4. Ante el software diseñado con Inteligencia Artificial sometido a personas con discapacidad visual, se implementó un asistente de voz amigable para intercambiar la información necesaria entre hombre - máquina; se informa a la persona invidente sobre el entorno que le rodea, personas y billetes que se encuentran frente al prototipo de gafas mediante un auricular.

5. Se diseñó el hardware y el sistema electrónico del prototipo pensando en la comodidad para el usuario final, que en nuestro caso viene a ser una persona invidente, el hardware se dividió en dos partes la parte de las gafas con la detección de obstáculos y la párate de microcomputador con la visión artificial, ésta se dispuso de esta forma por lo antes mencionado; las gafas con los sensores nos ayuda a ampliar el rango de detección de obstáculos y la párate del microcomputador que incorpora la visión artificial en la parte del pecho para brindar estabilidad al momento de realizar el proceso de reconocimiento seleccionado por el usuario.
6. Se diseñó el sistema de control de gafas inteligentes para personas invidentes con la capacidad de comunicación de los dos sistemas por módulos bluetooth HC05, que por su diseño compacto es accesible, esto pensando que este prototipo sirva para todo tipo personas de cualquier edad y condición económica, por su bajo costo, simplicidad de operación y peso cómodo para su transporte.

6.2. Recomendaciones

1. El desarrollo de dos softwares implica dos hardware, se recomienda incluir todo el proceso a un hardware (Raspberry Pi4B) para realizar a futuro actualizaciones de software de la nube para mejora de funcionalidades y trabajos de respaldo en caso de pérdida o actualización de hardware, se debe aprovechar al máximo la ventaja de la conexión inalámbrica Wi-Fi de la Raspberry Pi 4B.
2. A medida que avanzan los años, avanza la tecnología y las personas gustan de dispositivos pequeños y portátiles, se recomienda usar microcomputador ligero y compacto actualizado la Raspberry Pi Zero que se actualizará entre 2025 - 2026, que tendrá mayor capacidad en su gama de microcontroladores para ahorrar espacio hasta un 1/3 del tamaño actual del prototipo, peso, consumo de corriente y por lo tanto aumento de capacidad de autonomía y diseño de un dispositivo más portátil. De igual manera, se recomienda utilizar el BT de la propia Raspberry para evitar cableado en los auriculares e instalar auriculares inalámbricos para evitar enredarse o hasta generar un accidente. Se podría implementar GPS para poder mandar ubicación o generar una ruta para que la persona invidente pueda desplazarse de un punto A a un punto B.
3. De acuerdo a la recomendación 2 con respecto a utilización de BT del microcomputador y auriculares inalámbricos (actualmente todos incorporados con micrófonos), se recomienda desarrollar un asiste de voz o conversión a voz a texto para interactuar con la persona ya sea desde indicar la hora hasta poder solicitar la ubicación y ruta que pueda necesitar la persona con discapacidad visual para no depender de un perro lazarillo o persona cuidadora.

6.3. Trabajos futuros

1. Se implementará el software de reconocimiento e identificación de rostros con visión artificial para posteriores proyectos desarrollados en Python 3.9. Además, la creación y entrenamiento de nuevos Haar para futuros clasificadores de cualquier tipo de imágenes u objetos, siendo inicio de proyectos como identificación de personas sospechosas, identificación de letreros y señalizaciones, detección de animales, detección de número de placas de vehículos, etc.
2. El desarrollo del proyecto puede servir como base a desarrolladores interesados en la visión por computador ampliando el reconocimiento de rostros humanos para seguridad en espacio públicos. Además de mejoras en la detección de colores terciarios y derivados logrando desarrollar una gama de colores que pueden ser utilizados para detección o selección de objetos por visión por computador o máquinas para detección de colores matizados de pintura para tiendas de abastecimiento.
3. El desarrollo del proyecto da el primer paso con el manejo voz e interacción de hombre-máquina, se implementarán nuevos proyectos de conversión de audio o conversión de voz a texto para desarrollos de reconocimiento de voz o asistentes de voz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. *Primera encuesta nacional especializada sobre discapacidad 2012*. Lima: INEI, 2014.
2. CONSEJO NACIONAL PARA LA INTEGRACIÓN DE LA PERSONA CON DISCAPACIDAD [En línea]. Plataforma única de la discapacidad del CONADIS, 2022 [Fecha de consulta: 6 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://pud.conadisperu.gob.pe/principal>
3. QUINTANA, J. Diseño de un sistema electrónico para la detección de líneas de advertencia amarilla y baches en veredas para personas con discapacidad visual dentro de un centro de salud, Lima. Tesis (Título de Ingeniero Electrónico). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2022.
4. ESPINOZA, J. Diseño de un sistema de visión artificial de reconocimiento de pastillas para personas con discapacidad visual. Tesis (Título de Ingeniero Mecatrónico). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2023.
5. MARQUINA, D. Bastón inteligente basado en sensores para mejorar el desplazamiento de personas con discapacidad visual de la Asociación Fe y Esperanza de la ciudad de Tarapoto. Tesis (Título de Ingeniero de Sistemas e Informática). Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 2021.
6. MALDONADO, K., y otros. Gafas electrónicas con sensores ultrasónicos para personas no videntes. *Sinapsis*, 2020, 1(16). ISSN: 1390-9770.
7. ARIAS, M. Diseño e implementación de gafas inteligentes como herramienta de asistencia para lectura y reconocimiento del entorno para personas con discapacidad visual utilizando inteligencia artificial. Tesis. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas, 2020.
8. MIÑO, J. Diseño de un dispositivo de apoyo para la movilidad de personas con discapacidad visual. Tesis (Título de Ingeniero en Mecatrónica). Ecuador: Universidad Técnica del Norte, 2020.
9. VILLACRESES, A. Desarrollo de un prototipo de gafas electrónicas con sensores ultrasónicos orientado a personas no videntes para el laboratorio de robótica en la carrera de Ingeniería en Computación y Redes. Tesis (Título de Ingeniero en Computación y Redes). Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí, 2019.
10. APOYARTE PERÚ [En línea]. Personas con discapacidad en el Perú, 2023. Disponible en: <https://apoyarteperu.org.pe/personas-con-discapacidad-en-el-peru/>
11. AMAZON [En línea]. ¿Qué es el reconocimiento facial?, 2023. Disponible en: <https://aws.amazon.com/es/what-is/facial-recognition/>

12. LLAMAS, L. [En línea]. ¿Que es un sensor de ultrasonidos?, 2024. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>
13. LLAMAS, L. [En línea]. Sensor láser VL53L0X y VL6180X, 2024. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-distancia-vl53l0x/>
14. ROUHIAINEN, L. *Inteligencia artificial - 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. España: Editorial Planeta, 2018. ISBN: 978-84-17568-08-5.
15. ALONSO, F., MARTÍNEZ, L. y SEGOVIA, J. *Introducción a la Ingeniería del Software - Modelos de desarrollo de programas*. España: Delta Publicaciones, 2005. ISBN: 84-96477-00-2.
16. GONZÁLEZ, R. *Python para todos*. España, 2011.
17. WARREN, J., ADAMS, J. y MOLLE, H. *Arduino robotics*. Estados Unidos: Springer, 2011. ISBN: 978-1-4302-3184-4 .
18. ENGINEERING SOFTWARE [En línea]. Proteus 8.9, 2023. Disponible en: <https://engineeringsoftware.net/electronics/download-proteus-8-9-pro/>
19. CAICEDO, A. *Arduino para principiantes*. IT Campus Academy, 2017. ISBN: 978-1546479437.
20. CORONA, L., ABARCA, G. y MARES, J. *Sensores y actuadores - Aplicaciones con Arduino*. México: Patria, 2014. ISBN: 978-607-438-936-4.
21. BORDIGNON, F., IGLESIAS, A. y HAHN, A. *Diseño e impresión de objetos 3D: una guía de apoyo a escuelas*. Argentina: UNIPE, 2018. ISBN: 978-987-3805-35-6.
22. LÓPEZ, E. *Raspberry Pi - Fundamentos y aplicaciones*. Colombia: Ediciones de la U, 2018. ISBN: 9789587628999.
23. SANCHÍS, E. *Sistemas electrónicos digitales: fundamentos y diseño de aplicaciones*. España: Universidad de Valencia, 2002. ISBN: 84-370-5517-2.
24. ALBORNOZ, E. *Metodología de la investigación aplicada a las ciencias de la salud y la educación*. Ecuador: Mawil, 2023. ISBN: 978-9942-622-59-41.
25. BEHAR, D. *Metodología de la investigación*. Ediciones Shalom, 2008. ISBN: 978-959-212-783-7.
26. BAENA, G. *Metodología de la investigación*. México: Patria, 2017. ISBN: 978-607-744-748-1.
27. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE [En línea]. VDI/VDE 2206 Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme, 2004. Disponible en: <https://engrxiv.org/preprint/download/2452/4716>
28. FERNÁNDEZ, J. [En línea]. Asociación de generadores de corriente. Disponible en: <https://www.fisicalab.com/apartado/asociacion-generadores-electricos>

29. SOSA, J. Análisis y determinación de propiedades a tracción de productos fabricados de material fundido ABS utilizando una impresora 3D. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
30. CLIMATE [En línea]. Clima Huancayo, 2022. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/juin/huancayo-3326/>
31. LIZANA, C. *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación manual de cargas*. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1997.
32. OPENSOURCE [En línea]. OpenCV, 2018. Disponible en: https://www.docs.opencv.org/trunk/d7/d8b/tutorial_py_face_detection.html
33. KUMAR, D. [En línea]. OneDrive, 2011. Disponible en: <https://onedrive.live.com/?authkey=%21ANleIfNFxo67s7A&cid=124EC5B5BC117437&id=124EC5B5BC117437%21145&parId=124EC5B5BC117437%21107&action=locate>
34. YELLOWSCAN [En línea]. Tres formas de determinar la distancia con LiDAR, 2020. Disponible en: <https://www.yellowscan.com/es/knowledge/three-ways-to-determine-distance-using-lidar/>
35. DUQUE, J., BARCO, J. y MOSCOSO, O. Grados de rotación cervico-capital de la población de Caldas, Colombia. *International Journal of Morphology*, 2010, 28(4), 1125-1129 pp. ISSN: 0717-9502.

ANEXOS

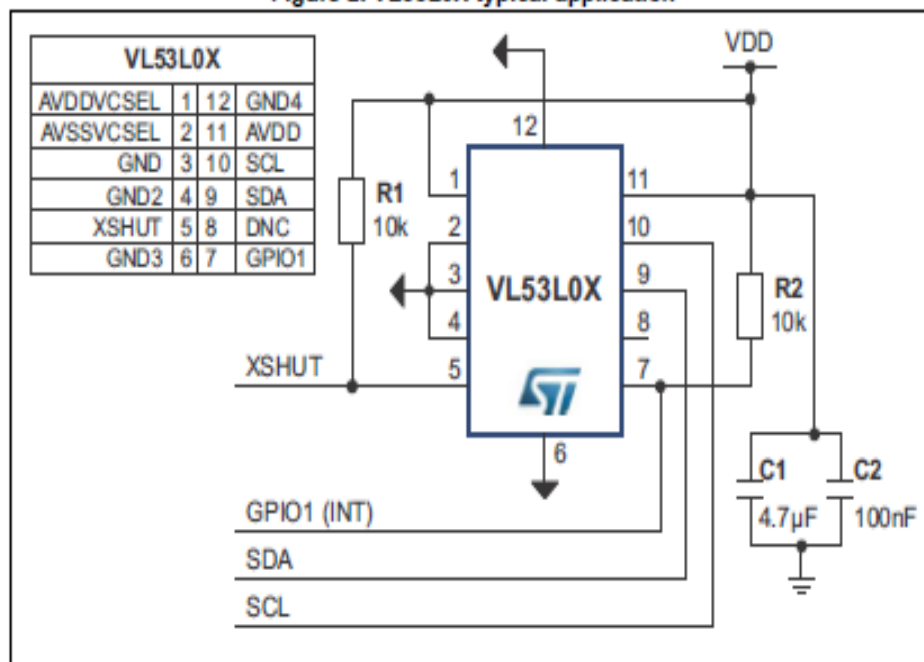
Anexo 1. Matriz de consistencia.

Título de la investigación:	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE GAFAS CON VISIÓN ARTIFICIAL Y DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL EN LA CIUDAD DE HUANCAYO - JUNÍN - PERÚ”
Autores:	➤ BUENDIA APONTE Willian Alfredo. ➤ ESTEBAN CRISTOBAL Phool Josue.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general			
¿Cómo diseñar e implementar un sistema inteligente y electrónico para personas invidentes para su fácil movilidad?	Diseñar e implementar gafas detección de obstáculos y visión artificial para personas con discapacidad visual.	El sistema inteligente de visión artificial y detección de obstáculos es funcional para personas con discapacidad visual.	<i>Variable independiente</i> 1. Gafas con visión artificial y detector de obstáculos. <i>Variable dependiente</i> 2. Interacción efectiva usuario - sistema gafas.	1.1. Reconocimiento facial. 1.2. Detección de obstáculos. 1.3. Identificación de valor nominal de billetes. 1.4. Detección de colores primarios y secundarios. 2.1. Prototipo Intuitivo. 2.2. Diseño ergonómico. 2.3. Portátil y ligero.	Enfoque: Mixto Tipo de investigación: Aplicada Alcance: Descriptivo - Explicativo. Diseño: Experimental. Unidad de investigación: Individual.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		Indicadores	Fuente de información
¿Cómo desarrollar el software con detección de obstáculos y visión artificial para personas invidentes?	Desarrollar un software con visión artificial que permita la identificación de personas, billetes y colores primarios - secundarios.	El software con visión artificial detecta óptimamente a personas, billetes y colores primarios en menos de 2 segundos.	<i>Variables intervinientes</i> - Ley N° 28612 Ley que norma el uso, adquisición de software en la administración pública. - Constitución Política del Perú, Inciso 5 del Artículo 2° (uso de datos de personas inscritas en CONADIS). - Constitución Política del Perú, Inciso 6 del Artículo 2° (servicio informático privado o público no afecten la intimidad personal o familiar).	Reconocimiento facial. *Sensor 8 Mpx. *Tiempo de testeo de 30 ms. *Rango de luz para detección máxima 50000 lux. Detector de obstáculos. *Tiempo de testeo de 40 ms. *Distancia de detección 0.30 m a 1.5 m. *Sensor láser de presión de +/- 0.33 mm. Identificación de valor nominal de billetes. *Tiempo de testeo de 150 ms.	

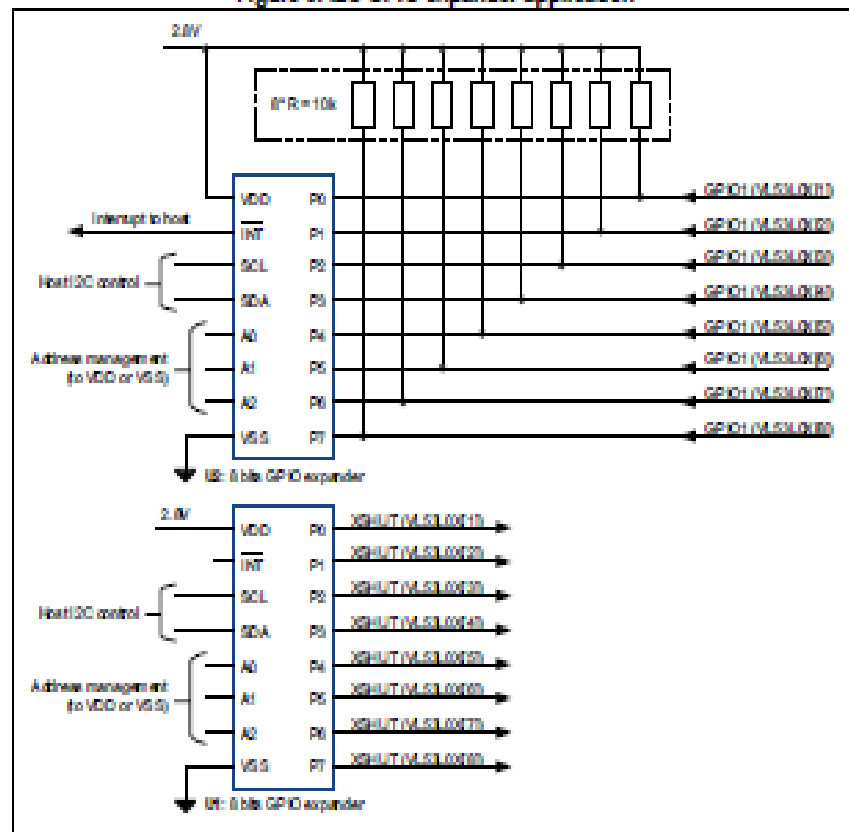
¿Cómo diseñar el hardware y sistema electrónico del prototipo para personas invidentes?	Implementar un sistema electrónico de detección de obstáculos basado en sensores laser.	La implementación de gafas con sistema electrónico basado en sensores laser detecta obstáculos en un rango de 0.30 – 1.50m mejorando el andar de las personas con discapacidad visual	- NTP 228: Peso máximo en la cabeza - R.M. 375:2008 T.R: Ley de ergonomía - peso máximo que debe transportar una persona - LEY N°28376: Uso de productos tóxicos al contacto con la piel, para la fabricación de case para el prototipo en ABS (material no tóxico)	*Billetes de Perú (antiguos y nuevos 2024). *Audio de valor de billete identificado parlante de 8ohm 3W. Detección de colores primarios y secundarios. *Colores primarios y secundarios. *Audio de color detectado 2 repeticiones. *Tiempo de testeo de 100 ms.	
¿Cómo diseñar el sistema de control capaz de ayudar personas invidentes?	Diseñar un sistema de control para facilitar la comunicación del sistema de gafas con el centro de procesamiento de la información.	El software tiene una interfaz intuitiva para la persona con discapacidad.	- Ley N°28612: Ley que norma el uso, adquisición de software en la administración pública.	Prototipo intuitivo. *Aprendizaje general entre 5 - 9 entrenamientos guiados (10 min c/u). *Modos de funcionalidad y controles con mini selector de 3 estados. *Encendido y apagado del prototipo selector unipolar. Diseño ergonómico. *Ubicación de prototipo altura del pecho. *Esquinas y bordes redondeados con radio mínimo de 3 mm *Material de fabricación no tóxico 90 % biodegradable Portátil y ligero. *Peso máximo entre 80 - 100g Prototipo de Gafas. *Peso máximo entre 300 - 500g Prototipo de Procesamiento. *Dimensiones de 140 x 50 x 20 mm Prototipo de gafas. Dimensiones de 110 x 65 x 40 mm Prototipo de Procesamiento.	

Figure 2. VL53LOX typical application



2. For a board with multiple VL53LOX used in the design, if there are a limited number of GPIO pins available on the microprocessor, the recommended options for the use of these GPIO pins available are:
 - a) If only one GPIO is available from the micro-processor with multiple VL53LOX devices, then two I2C GPIO expanders would be used, where the first would be for resetting the devices (XSHUT) and the second would be used for the interrupts. An example schematic is shown in [Figure 3](#).
 - b) If (x) VL53LOX devices are being used, and (x+1) GPIOs are available, then it is recommended to use a GPIO expander for the resetting (XSHUT) of the VL53LOX devices, and connect each individual interrupt to the microprocessor. Since the interrupt of each VL53LOX is going directly to the microprocessor, time is saved when an interrupt is triggered directly to the microprocessor instead of going through a GPIO expander IC.
 - c) If (x) VL53LOX devices are being used, and (2x) GPIOs are available, then no GPIO expander chips are needed, and all reset (XSHUT) and interrupts pins would be connected directly to the microprocessor.

Figure 3. I2C GPIO expander application



2.2 VL53L0X API management

See also "VL53L0X_API_Integration_Guide.pdf" on www.st.com/VL53L0X in "Design Resources" page.

In vl53l0x_platform.h API file

- Set VL53L0X_SINGLE_DEVICE_DRIVER macro to 0 so that API Implementation will be automatically adapted to a multi-device context.
- Define VL53L0xDev_t type as a structure pointer holding any data required for multi-device management. A mandatory field is an instance of VL53L0xDevData containing ST API private data.
- Then
 - define, "N" the number of VL53L0X (Struct MyVL53L0xDev_t BoardDevs[N])
 - Put all devices under reset
 - Enable VL53L0X one after the other and set their I2C address through VL53L0X_SetDeviceAddress (&BoardDevs[i], FinalI2cAddr)

Features

- High Performance, Low Power AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - 612/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 8-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V for ATmega48P/88P/168PV
 - 2.7 - 5.5V for ATmega48P/88P/168P
 - 1.8 - 5.5V for ATmega328P
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - ATmega48P/88P/168PV: 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V
 - ATmega48P/88P/168P: 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
 - ATmega328P: 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48P/88P/168P:
 - Active Mode: 0.3 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.8 µA (including 32 kHz RTC)



**8-bit AVR®
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

**ATmega48P/V
ATmega88P/V
ATmega168P/V
ATmega328P**

**Preliminary
Summary**

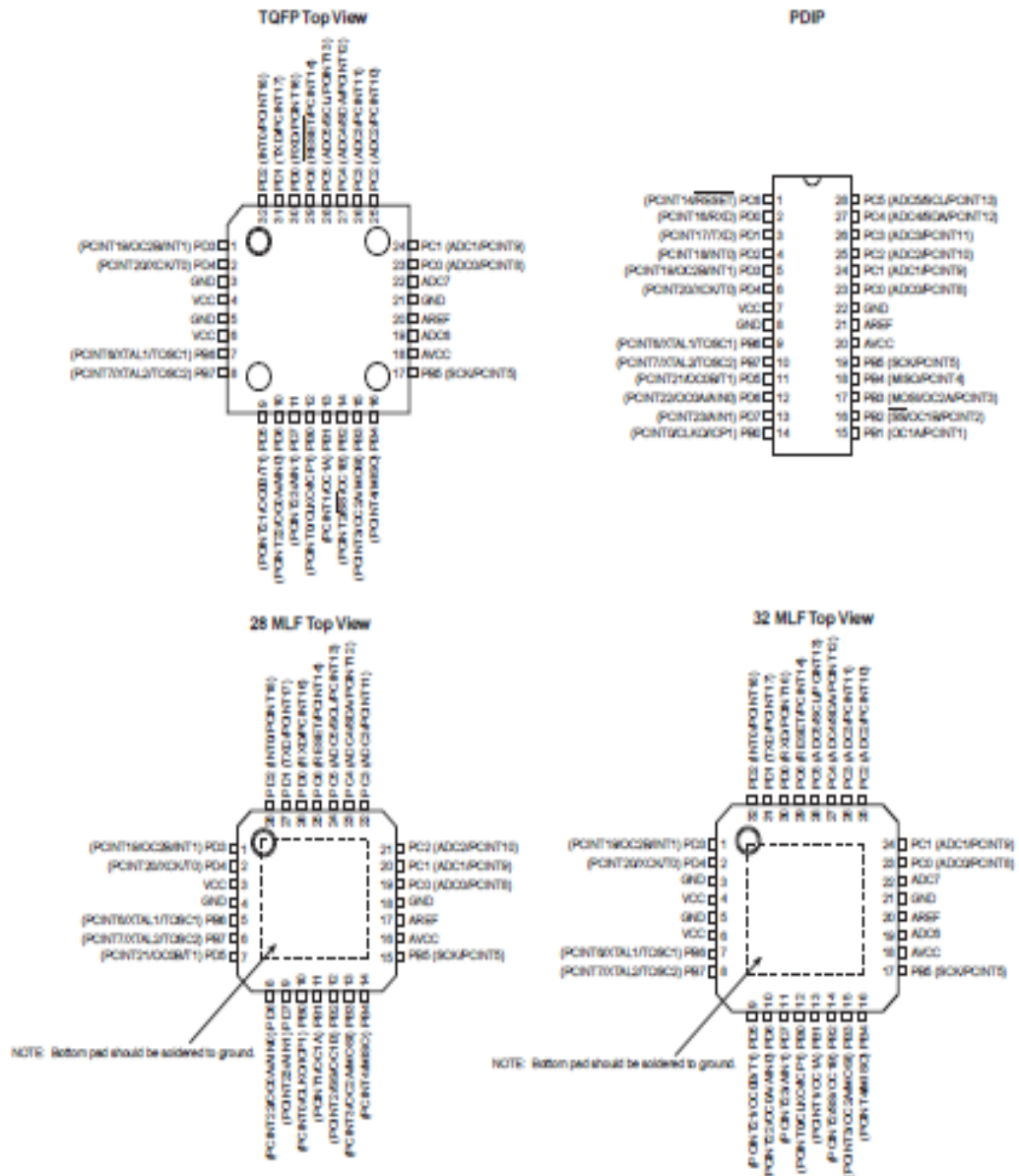
Rev. 6325FS-AVR-08/08



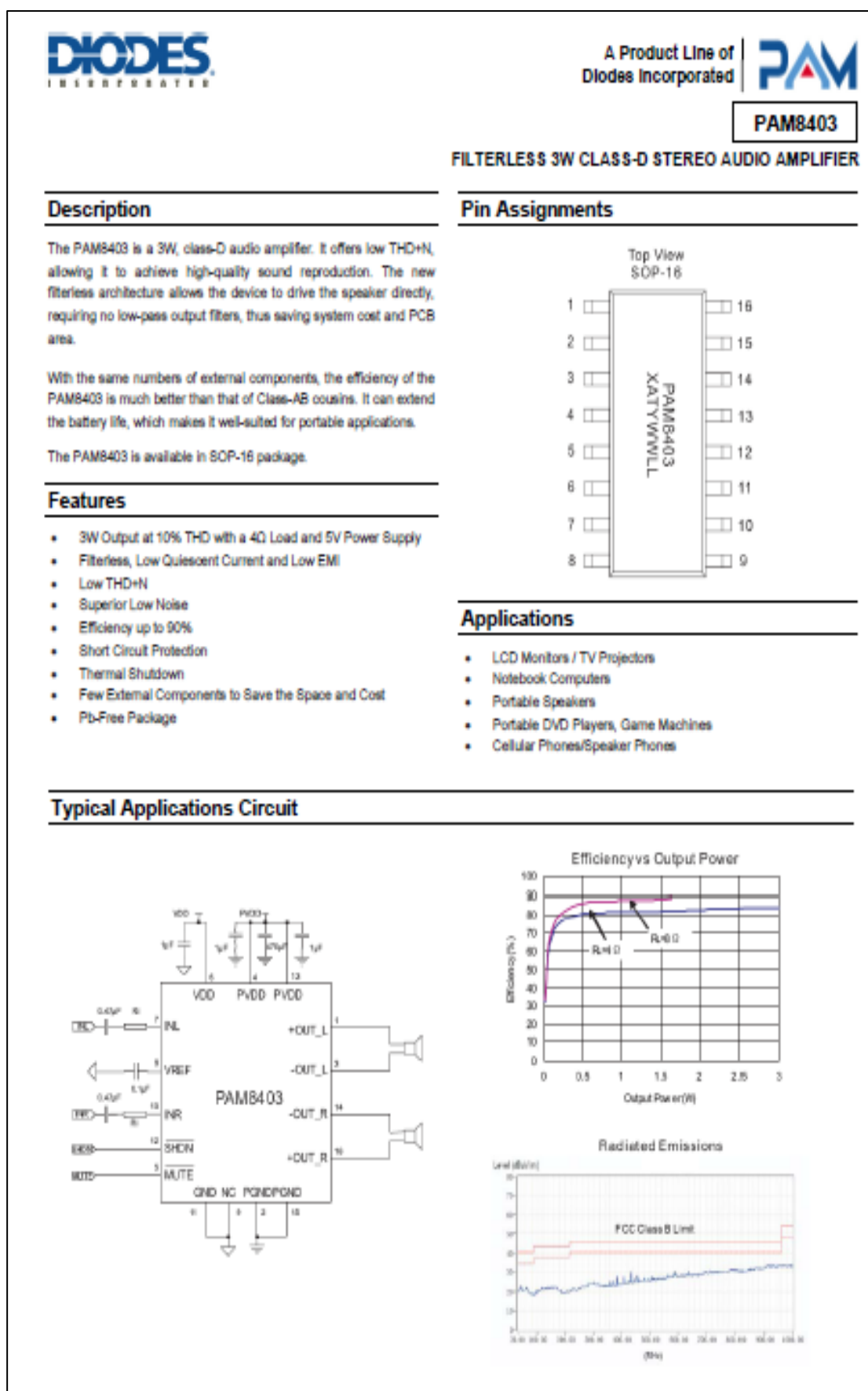


1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48P/88P/168P/328P



Anexo 4. Datasheet de amplificador de audio.



1

**ITead Studio**
Make Innovation easier

Tech Support: info@iteadstudio.com

HC-05

-Bluetooth to Serial Port Module

Overview



HC-05 module is an easy to use Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) module, designed for transparent wireless serial connection setup.

Serial port Bluetooth module is fully qualified Bluetooth V2.0+EDR (Enhanced Data Rate) 3Mbps Modulation with complete 2.4GHz radio transceiver and baseband. It uses CSR Bluecore 04-External single chip Bluetooth system with CMOS technology and with AFH(Adaptive Frequency Hopping Feature). It has the footprint as small as 12.7mmx27mm. Hope it will simplify your overall design/development cycle.

Specifications

Hardware features

- Typical -80dBm sensitivity
- Up to +4dBm RF transmit power
- Low Power 1.8V Operation ,1.8 to 3.6V I/O
- PIO control
- UART interface with programmable baud rate
- With integrated antenna
- With edge connector

HC-05 Bluetooth module

iteadstudio.com

06.18.2010



PIN Name	PIN #	Pad type	Description	Note
GND	13 21 22	VSS	Ground pot	
3.3 VCC	12	3.3V	Integrated 3.3V (+) supply with On-chip linear regulator output within 3.15-3.3V	
AIO0	9	Bi-Directional	Programmable input/output line	
AIO1	10	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO0	23	Bi-Directional RX EN	Programmable input/output line, control output for LNA(if fitted)	
PIO1	24	Bi-Directional TX EN	Programmable input/output line, control output for PA(if fitted)	

PIO2	25	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO3	26	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO4	27	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO5	28	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO6	29	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO7	30	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO8	31	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO9	32	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO10	33	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO11	34	Bi-Directional	Programmable input/output line	



2 Features

2.1 Hardware

- Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 running at 1.5GHz
- 1, 2 and 4 Gigabyte LPDDR4 RAM options
- H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)
- H.264 hardware decode (up to 1080p60)
- VideoCore VI 3D Graphics
- Supports dual HDMI display output up to 4Kp60

2.2 Interfaces

- 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- Bluetooth 5.0 with BLE
- 1x SD Card
- 2x micro-HDMI ports supporting dual displays up to 4Kp60 resolution
- 2x USB2 ports
- 2x USB3 ports
- 1x Gigabit Ethernet port (supports PoE with add-on PoE HAT)
- 1x Raspberry Pi camera port (2-lane MIPI CSI)
- 1x Raspberry Pi display port (2-lane MIPI DSI)
- 28x user GPIO supporting various interface options:
 - Up to 6x UART
 - Up to 6x I2C
 - Up to 5x SPI
 - 1x SDIO interface
 - 1x DPI (Parallel RGB Display)
 - 1x PCM
 - Up to 2x PWM channels
 - Up to 3x GPCLK outputs

2.3 Software

- ARMv8 Instruction Set
- Mature Linux software stack
- Actively developed and maintained



- Recent Linux kernel support
- Many drivers upstreamed
- Stable and well supported userland
- Availability of GPU functions using standard APIs

3 Mechanical Specification

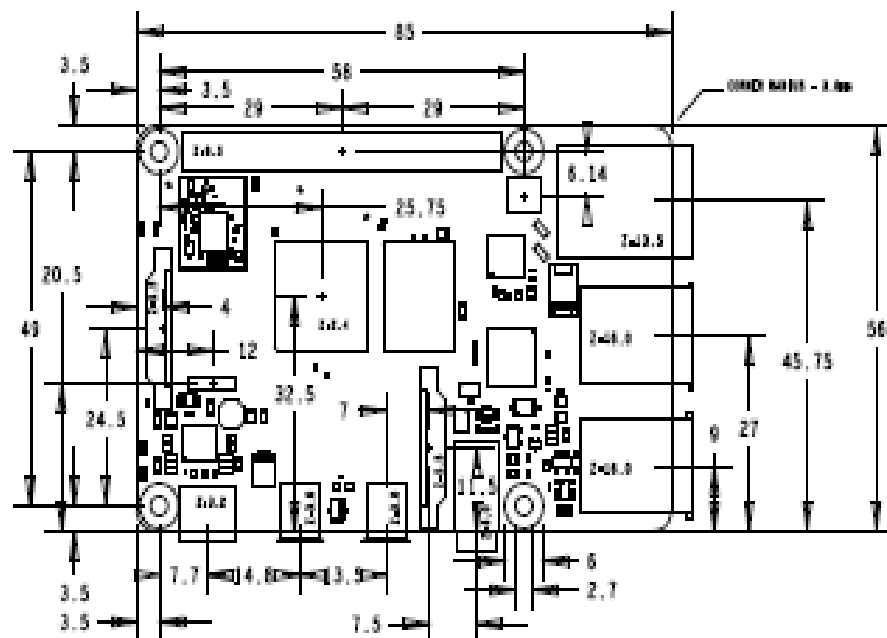


Figure 1: Mechanical Dimensions

4 Electrical Specification

Caution! Stresses above those listed in Table 2 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
VIN	5V Input Voltage	-0.5	6.0	V

Table 2: Absolute Maximum Ratings

Please note that VDD_IO is the GPIO bank voltage which is tied to the on-board 3.3V supply rail.



5. BASIC CHARACTERISTICS

5.1 Capacity ($25 \pm 5^{\circ}\text{C}$)	Nominal Capacity: 2600mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Typical Capacity: 2550mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Minimum Capacity: 2500mAh (0.52A Discharge, 2.75V)
5.2 Nominal Voltage	3.7V
5.3 Internal Impedance	$\leq 70\text{m}\Omega$
5.4 Discharge Cut-off Voltage	3.0V
5.5 Max Charge Voltage	$4.20 \pm 0.05\text{V}$
5.6 Standard Charge Current	0.52A
5.7 Rapid Charge Current	1.3A
5.8 Standard Discharge Current	0.52A
5.9 Rapid Discharge Current	1.3A
5.10 Max Pulse Discharge Current	2.6A
5.11 Weight	$46.5 \pm 1\text{g}$
5.12 Max. Dimension	Diameter($\varnothing$): 18.4mm Height (H): 65.2mm
5.13 Operating Temperature	Charge: $0 \sim 45^{\circ}\text{C}$ Discharge: $-20 \sim 60^{\circ}\text{C}$
5.14 Storage Temperature	During 1 month: $-5 \sim 35^{\circ}\text{C}$ During 6 months: $0 \sim 35^{\circ}\text{C}$

6. Standard conditions for test

All the tests need to be done within one month after the delivery date under the following conditions :
Ambient Temperature: $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$; Relative Humidity: $65 \pm 20\%$

Standard Charge	Constant Current and Constant Voltage (CC/CV) Current = 0.52A Final charge voltage = 4.2V Final charge Current = 0.052A
Standard Discharge	Constant Current (CC) Current = 0.52A End Voltage = 3.0V

7. Appearance

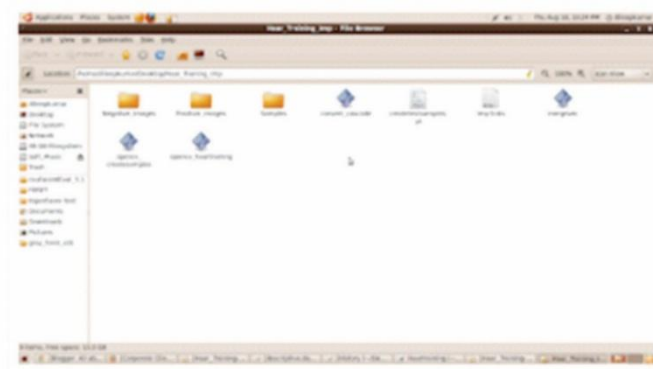
All surfaces must be clean, without damages, leakage and corrosion. Each product will have a product label identifying the model.

Anexo 8. Pases de creación de archivos Haar so Linux.

From here on the procedure is simple. As I told you at the starting of post, after downloading the necessary linux executables, keep them in a separate folder named "Haar_Training", where you need to carry on your experimentations. Now inside that folder, create three folders and fill them with the necessary data, as explained below

1. Positive_Images : In this folder, I kept all my seven cropped images
2. Negative_Images : In this folder, I kept some other images (99 in total), which can be any image that you have, except, they should be of like genre and should not contain any where the cropped part i.e., pen
3. Samples : Keep it empty

Now, your Haar_Training folder looks like this



Now, navigate into that Haar_training folder through terminal. In the folder named "Positive_Images", the images are in png format and in "Negative_Images", they are in ppm format. So accordingly, I collected the information about those files in two text files named positives.dat and negatives.dat respectively using the below two commands

```
find ./Negative_Images -name '*.ppm' >negatives.dat
find ./Positive_Images -name '*.png' >positives.dat
```

In the next step, I used the samples folder, to store the training samples, by issuing it as argument, along with positives.dat and negatives.dat using the below command

```
perl createtrainsamples.pl positives.dat negatives.dat samples 250 ./opencv_createsamples
```

The important arguments in the above command, to be discussed are

positives.dat - Contains the list of positive image paths

negatives.dat - Contains the list of negative image paths

samples - The folder that is used to store the data of training samples

250 - No. of training samples

-w 160 -h 20 - These two signify the width and height ratio of the pen. Originally it's -w 20 -h 20 for face. But, since I am using a pen here which is long and thin unlike face I made it 160 and 20

The next two commands use the data in samples folder to create a unified training data, that is used for haar training

```
find samples/ -name '*.vec' > samples.dat
./mergevec samples.dat samples.vec
```

Finally, run this command

```
opencv_haartraining -data haarcascade -vec samples.vec -bg negatives.dat -nstages 20 -nsplits 2 -minhit
```

This creates the haarcascade xml file desired by us in the same Haar_training folder, keeping all the meta data, that is forms in the meanwhile in the haarcascade folder, which is created automatically. The arguments to be noted in the above command are

haarcascade : The folder in which meta data can be kept
 samples.vec : The unified training data, that we created just a while ago, before this command
 negatives.dat : The list of negative image paths
 20 - Stages, the more, the better, but great time consumer
 99 - No. of negative images
 2048 - The RAM memory that can be used

It took me five hours for this process to complete and generate my final pen detector. If you are a bit skeptic about the final outcome, instead of waiting for five hours, at any time, when the above command is running, you can issue the below command, to generate a intermediate haar cascade xml file, from the data available.

```
./convert_cascade --size="160x20" haarcascade haarcascade-inter.xml
```

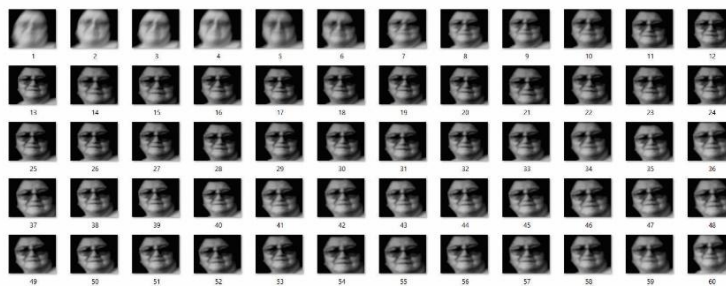
Now finally after five hours, I got the haar cascade xml file. As I have shown you, in the previous posts, the way to use haar cascade xml files. I experimented on some pens of my own. Below is the youtube video for it.

Anexo 9. Carpetas de personas registradas y billetes (450 fotos c/u). Registro de 5 personas y 5 billetes para pruebas.

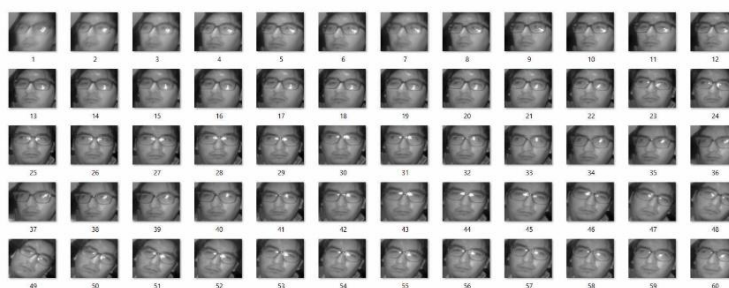


Anexo 10. Fotografías de 5 personas registradas.

Persona 1: ERLINDA



Persona 2: JOSUE



Persona 3: SAMUEL



Persona 4: TANIA



Persona 5: WILLIAN

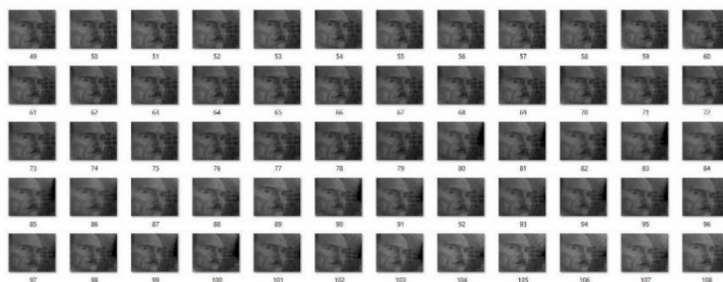


Anexo 11. Fotografías de 5 billetes registrados.

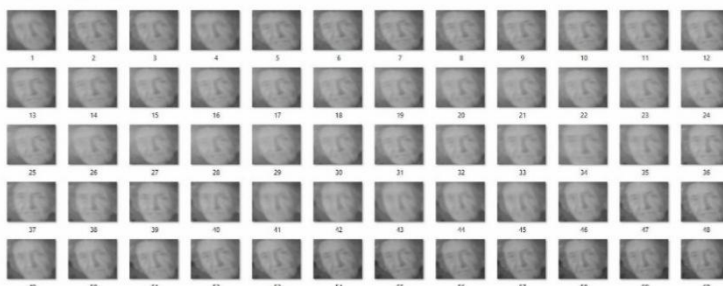
Billete 1: 10 SOLES



Billete: 20 SOLES



Billete: 50 SOLES



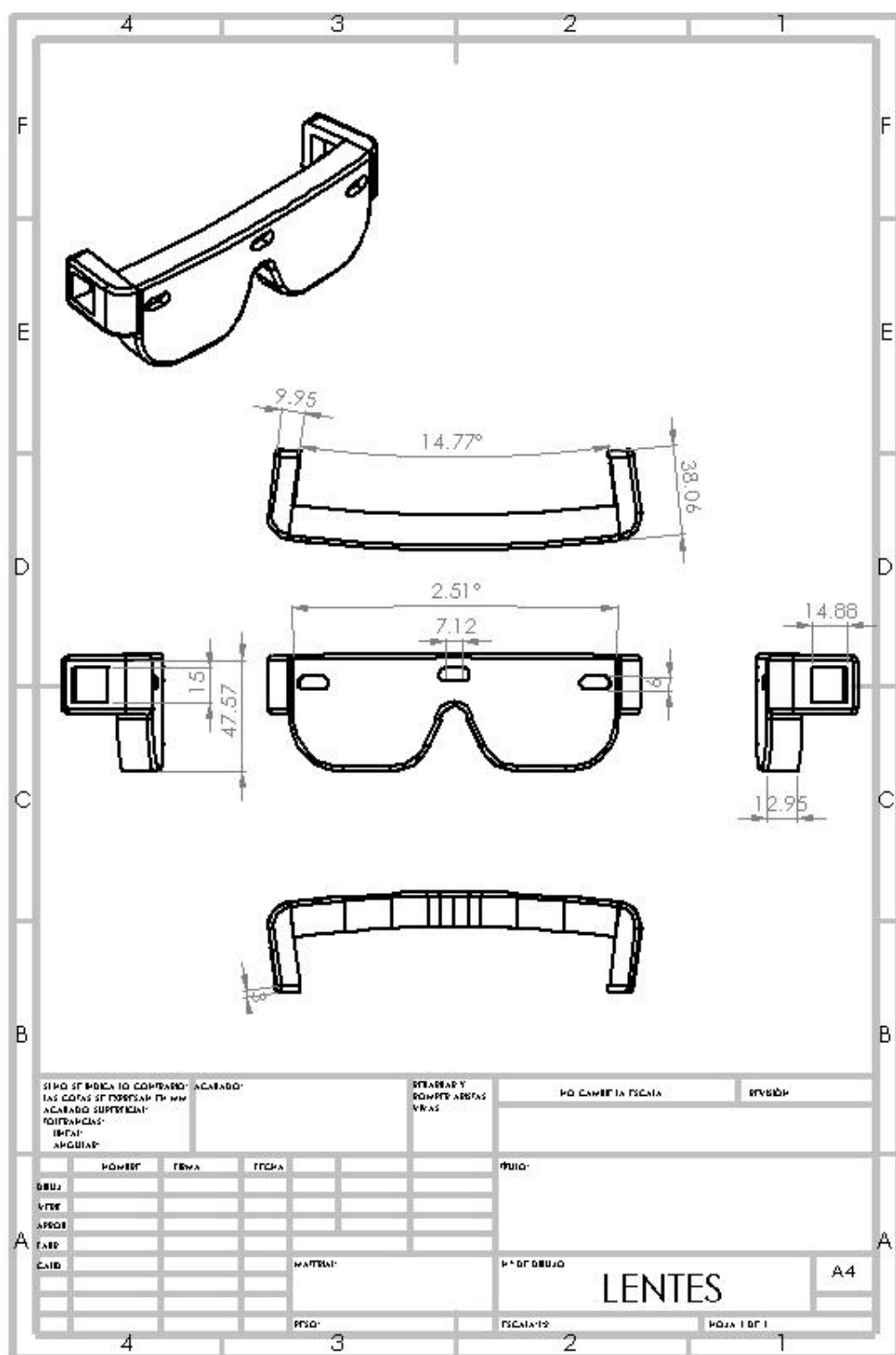
Billete: 100 SOLES



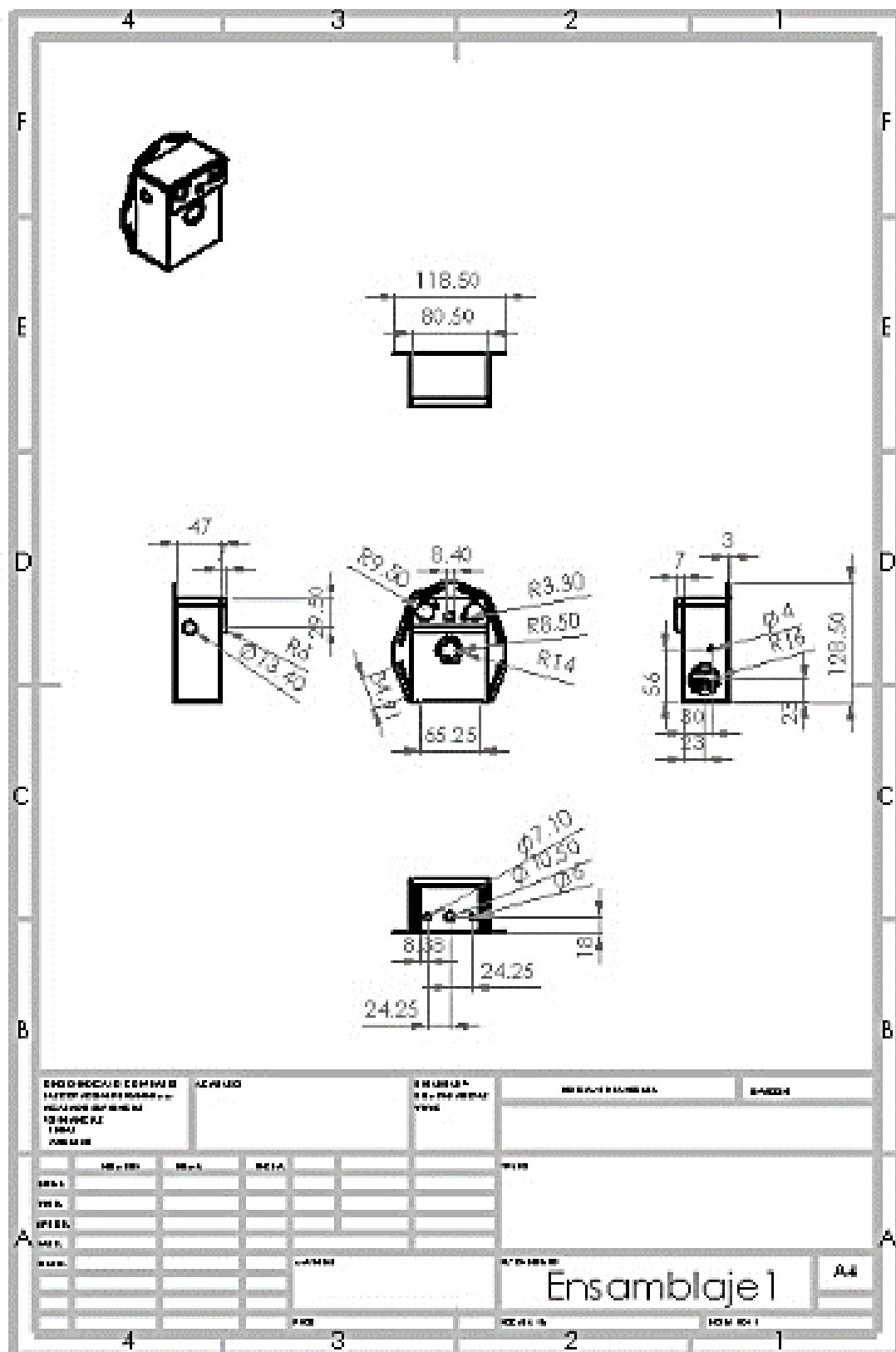
Billete: 200 SOLES



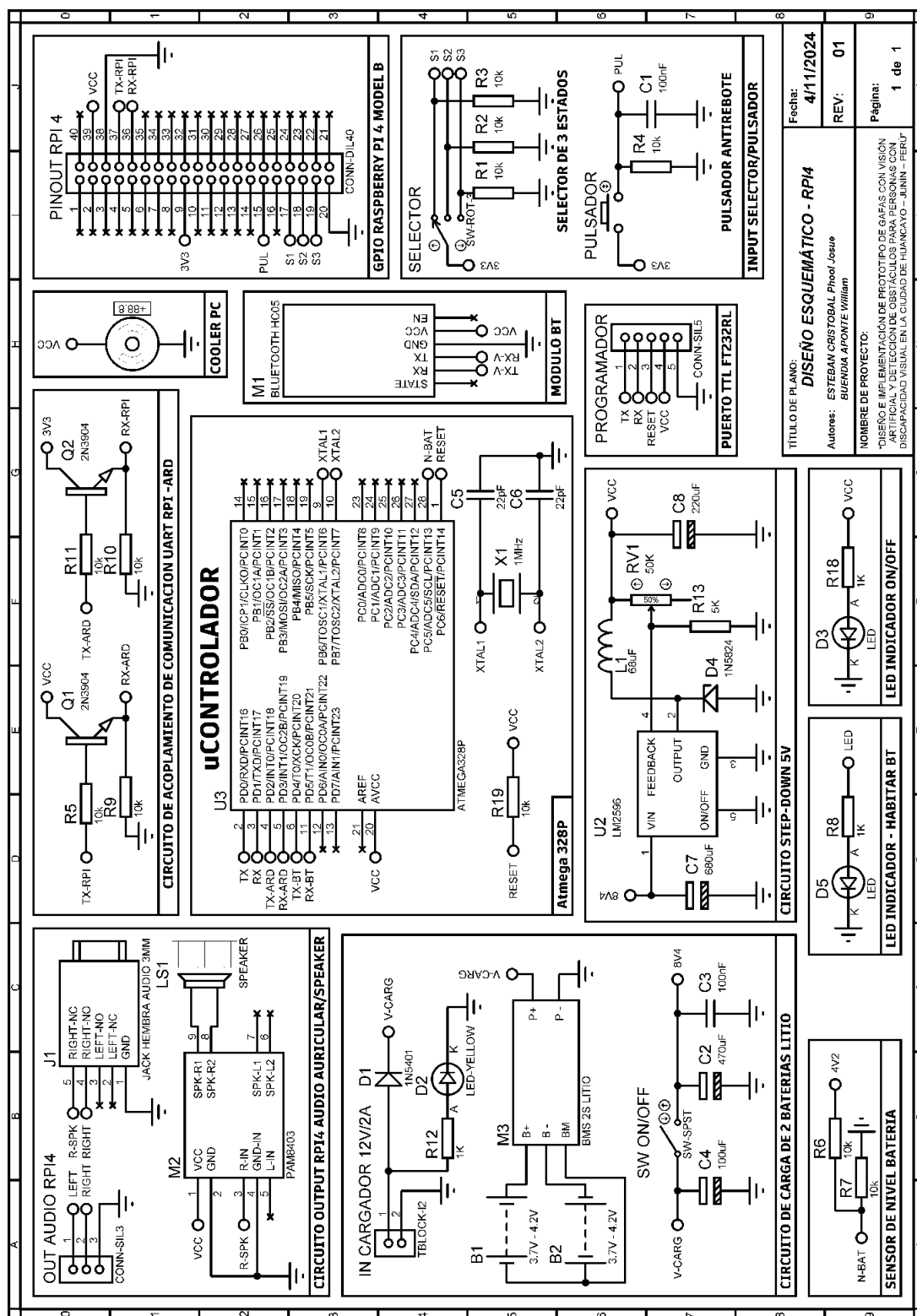
Anexo 12. Plano y vistas de gafas - Dispositivo esclavo.



Anexo 13. Plano y vistas de case dispositivo maestro.



Anexo 14. Diagrama esquemático dispositivo maestro - receptor de datos inalámbricos y alimentación de RPI.



Anexo 15. Diagrama esquemático dispositivo esclavo.

